Artigo Científico

Micropoluentes antineoplásicos e saneamento: limites do modelo brasileiro na Baixada Santista[1]

Microcontaminantes antineoplásicos y saneamiento: limitaciones del modelo brasileño en la región de Baixada Santista

Antineoplastic micropollutants and sanitation: limitations of the Brazilian model in the Baixada Santista region

Microinquinanti antineoplastici e servizi igienico-sanitari: limiti del modello brasiliano nella regione della Baixada Santista

Juliana dos Santos Tavares[2]
Mestranda, PPG em Direito, Universidade Santa Cecília (Santos, SP, Brasil)

Andrea Sander[3]
Mestranda, PPG em Direito, Universidade Santa Cecília (Santos, SP, Brasil)

Marcelo Lamy[4]
Pós-Doutor, PPG em Direito, Universidade Santa Cecília (Santos, SP, Brasil)

---

[1] Esse trabalho foi apresentado inicialmente no XXV Congresso de Direito Ambiental, realizado entre os dias 26 e 28 de maio de 2026, na Universidade Santa Cecília (Unisanta). Diante da recomendação de publicação, preparou-se a presente versão.

[2] Médica. Bacharel em Medicina (Faculdade de Ciências Médicas de Santos). Residência médica (Casa de Saúde Santa Marcelina). Especialista em Cuidados Paliativos (Instituto Paliar). Mestranda em Direito da Saúde no Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Santa Cecília (Unisanta). Membro do Grupo de Pesquisa CNPq\Unisanta Direitos Humanos, Desenvolvimento Sustentável e Tutela Jurídica da Saúde. Oncologista dínica na Santa Casa de Misericórdia de Santos. Oncologista e paliativista no Hospital Guilherme Álvaro. Supervisora de oncologia dínica da Santa Casa de Misericórdia de Santos. Supervisora da residência de dínica médica do Hospital Guilherme Álvaro. Preceptora da 12ª etapa do curso de medicina da Unaerp-Guarujá. Lattes: http://lattes.cnpq.br/2508751009402814. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-5956-5449. E-mail: julianag6@gmail.com.

[3] Médica. Bacharel em Medicina (Unifenas). Especialista em Clinica Medica (Santa Casa de Misericórdia de São Paulo), em Oncologia Clinica (Instituto do Câncer Arnaldo Vieira de Carvalho) e em Cuidados Paliativos (Instituto Paliar). Mestranda em Direito da Saúde no Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Santa Cecília (Unisanta). Membro do Grupo de Pesquisa CNPq\Unisanta Direitos Humanos, Desenvolvimento Sustentável e Tutela Jurídica da Saúde. Diretora Técnica da Divisão Médica do Hospital Guilherme Álvaro - Santos. Supervisora da residência médica em Oncologia Clínica no Hospital Guilherme Álvaro. Médica da Comissão Equipe de Cuidados Paliativos no Hospital Santo Amaro no Guarujá e no Hospital Guilherme Àlvaro em Santos. Preceptora do 12º período do curso de medicina da Unaerp-Guarujá. Lattes: http://lattes.cnpq.br/0348851860271263. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-1898-9411. E-mail: deasander@gmail.com.

[4] Advogado. Bacharel em Ciências Jurídicas (UFPR). Mestre em Direito Administrativo (USP). Doutor em Direito Constitucional (PUC-SP). Pós-doutor em Políticas Públicas em Saúde (Fiocruz-Brasília). Pós-doutor em Direitos Fundamentais e Acesso à Justiça (UFBA). Professor Permanente e Vice Coordenador do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu, Mestrado em Direito (Unisanta). Professor da Master of Science in Legal Studies, Emphasis in International Law (MUST University). Professor no curso Direito e no curso Relações Internacionais (Unisanta). Professor da Faculdade de Direito (ESAMC-Santos). Líder do Grupo de Pesquisa CNPq\Unisanta Direitos Humanos, Desenvolvimento Sustentável e Tutela Jurídica da Saúde. Diretor Geral do Observatório dos Direitos do Migrante (Unisanta). Coordenador do projeto de pesquisa, ensino e extensão "Laboratório de Políticas Públicas" (Unisanta). Lattes: http://lattes.cnpq.br/9347562683746206. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8519-2280. E-mail: marcelolamy@unisanta.br.

Revista Brasileira de Direito Constitucional - RBDC, Vol. 26, Jan./Dez. 2026, **e026012**.
São Paulo: ESDC, 2026. ISSN 1983-2303 (eletrônica). DOI: https://doi.org/10.62530/e026012.

RESUMO: Contextualização: A presença de fármacos antineoplásicos no ambiente evidencia um paradoxo da medicina contemporânea: substâncias terapêuticas, após excreção, tornam-se micropoluentes persistentes e potencialmente ecotóxicos, inserindo-se nos sistemas de esgotamento sanitário, que não foram projetados para sua remoção. **Problema:** Há uma dissociação entre o modelo de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, centrado em resíduos sólidos, e a gestão de efluentes líquidos contendo micropoluentes farmacológicos, cuja destinação é transferida ao sistema de saneamento sem adequada capacidade técnica. **Objetivos:** Analisar criticamente a adequação do modelo brasileiro de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde e de saneamento frente aos micropoluentes antineoplásicos, com ênfase na Baixada Santista. Especificamente, busca-se descrever o comportamento ambiental desses fármacos, examinar o arcabouço normativo (com destaque para a RDC nº 222/2018) e discutir a capacidade dos sistemas regionais por inferência indireta. **Métodos:** Pesquisa qualitativa, exploratória, baseada em revisão narrativa da literatura científica e análise documental de normas sanitárias e ambientais, no período de 2005 a 2025, com abordagem sistêmica. **Resultados:** Os antineoplásicos apresentam baixa biodegradabilidade, persistência ambiental e toxicidade, sendo detectados em corpos hídricos mesmo após tratamento de esgoto. A RDC nº 222/2018, embora reconheça seu risco, permite o lançamento de excretas em redes sanitárias. Na Baixada Santista, evidências indiretas indicam insuficiência dos sistemas de tratamento para remoção desses compostos. Há traços de ilegalidade e inconstitucionalidade na transferência de responsabilidade. **Conclusões:** O modelo vigente mostra-se insuficiente para enfrentar os micropoluentes farmacológicos, evidenciando uma lacuna entre regulação, tecnologia e realidade ambiental, o que demanda integração entre políticas de saúde, saneamento e meio ambiente.

Palavras-chave: Fármaco Antineoplásico; Poluentes Ambientais; Gerenciamento de Resíduos; Política de Saneamento; Regulamentação Governamental.

RESUMEN*: *Contexto: *La presencia de fármacos antineoplásicos en el medio ambiente pone de manifiesto una paradoja de la medicina contemporánea: las sustancias terapéuticas, tras su excreción, se convierten en microcontaminantes persistentes y potencialmente ecotóxicos, que ingresan a sistemas de alcantarillado no diseñados para su eliminación.* ***Problema****: Existe una desconexión entre el modelo de gestión de residuos sanitarios, centrado en los residuos sólidos, y la gestión de efluentes líquidos que contienen microcontaminantes farmacéuticos, cuya disposición se transfiere al sistema de saneamiento sin la capacidad técnica adecuada.* ***Objetivos****: Analizar críticamente la idoneidad del modelo brasileño de gestión de residuos sanitarios y de saneamiento frente a los microcontaminantes antineoplásicos, con énfasis en la región de Baixada Santista. Específicamente, el estudio busca describir el comportamiento ambiental de estos fármacos, examinar el marco regulatorio (con énfasis en la RDC n.° 222/2018) y analizar la capacidad de los sistemas regionales mediante inferencia indirecta.* ***Métodos****: Investigación cualitativa y exploratoria basada en una revisión narrativa de la literatura científica y un análisis documental de las normativas sanitarias y ambientales, que abarca el periodo de 2005 a 2025, utilizando un enfoque sistémico.* ***Resultados****: Los fármacos antineoplásicos presentan baja biodegradabilidad, persistencia ambiental y toxicidad, detectándose en cuerpos de agua incluso después del tratamiento de aguas residuales. El RDC n.º 222/2018, si bien reconoce el riesgo, permite el vertido de excretas a las redes sanitarias. En la comarca de Baixada Santista, la evidencia indirecta indica sistemas de tratamiento insuficientes para la eliminación de estos compuestos. Existen indicios de ilegalidad e inconstitucionalidad en la transferencia de responsabilidad.* ***Conclusiones****: El modelo actual resulta insuficiente para abordar los microcontaminantes farmacéuticos, lo que pone de manifiesto una brecha entre la normativa, la tecnología y la realidad ambiental, que exige la integración de las políticas de salud, saneamiento y medio ambiente.*

Palabras Clave*: Fármaco Antineoplásico; Contaminantes Ambientales; Administración de Residuos; Política de Saneamiento; Regulación Gubernamental.*

ABSTRACT*: *Context: *The presence of antineoplastic drugs in the environment highlights a paradox of contemporary medicine: therapeutic substances, after excretion, become persistent and potentially ecotoxic micropollutants, entering sewage systems that were not designed for their removal.* ***Problem****: There is a disconnect between the healthcare waste management model, centered on solid waste, and the management of liquid effluents containing pharmaceutical micropollutants, whose disposal is transferred to the sanitation system without adequate technical capacity.* ***Objectives****: To critically analyze the adequacy of the Brazilian healthcare waste and sanitation waste management model in the face of antineoplastic*

micropollutants, with emphasis on the Baixada Santista region. Specifically, the study aims to describe the environmental behavior of these drugs, examine the regulatory framework (with emphasis on RDC No. 222/2018), and discuss the capacity of regional systems through indirect inference. ***Methods****: Qualitative, exploratory research based on a narrative review of the scientific literature and documentary analysis of sanitary and environmental regulations, covering the period from 2005 to 2025, using a systemic approach.* ***Results****: Antineoplastic drugs exhibit low biodegradability, environmental persistence, and toxicity, being detected in water bodies even after sewage treatment. RDC No. 222/2018, while acknowledging the risk, allows the discharge of excreta into sanitary networks. In the Baixada Santista region, indirect evidence indicates insufficient treatment systems for the removal of these compounds. There are signs of illegality and unconstitutionality in the transfer of responsibility.* ***Conclusions****: The current model proves insufficient to address pharmaceutical micropollutants, highlighting a gap between regulation, technology, and environmental reality, which demands integration between health, sanitation, and environmental policies.*

Keywords*: Antineoplastic Drugs; Environmental Pollutants; Waste Management; Sanitation Policy; Government Regulation.*

RIASSUNTO*:* ***Contesto****: La presenza di farmaci antineoplastici nell'ambiente evidenzia un paradosso della medicina contemporanea: le sostanze terapeutiche, dopo l'escrezione, diventano microinquinanti persistenti e potenzialmente ecotossici, entrando nei sistemi fognari non progettati per la loro rimozione.* ***Problema****: Esiste una discrepanza tra il modello di gestione dei rifiuti sanitari, incentrato sui rifiuti solidi, e la gestione degli effluenti liquidi contenenti microinquinanti farmaceutici, il cui smaltimento viene trasferito al sistema fognario senza un'adeguata capacità tecnica.* ***Obiettivi****: Analizzare criticamente l'adeguatezza del modello brasiliano di gestione dei rifiuti sanitari e dei rifiuti fognari di fronte ai microinquinanti antineoplastici, con particolare attenzione alla regione della Baixada Santista. Nello specifico, lo studio si propone di descrivere il comportamento ambientale di questi farmaci, esaminare il quadro normativo (con particolare attenzione alla RDC n. 222/2018) e discutere la capacità dei sistemi regionali attraverso un'inferenza indiretta.* ***Metodi****: Ricerca qualitativa ed esplorativa basata su una revisione narrativa della letteratura scientifica e sull'analisi documentale delle normative sanitarie e ambientali, relative al periodo dal 2005 al 2025, utilizzando un approccio sistemico.* ***Risultati****: I farmaci antineoplastici presentano bassa biodegradabilità, persistenza ambientale e tossicità, essendo rilevabili nei corpi idrici anche dopo il trattamento delle acque reflue. Il RDC n. 222/2018, pur riconoscendo il rischio, consente lo scarico di escrementi nelle reti fognarie. Nella regione della Baixada Santista, evidenze indirette indicano sistemi di trattamento insufficienti per la rimozione di questi composti. Nel trasferimento di responsabilità emergono segnali di illegalità e incostituzionalità.* ***Conclusioni****: Il modello attuale si dimostra inadeguato ad affrontare il problema dei microinquinanti farmaceutici, evidenziando un divario tra regolamentazione, tecnologia e realtà ambientale, che richiede un'integrazione tra politiche sanitarie, igienico-sanitarie e ambientali.*

Parole chiave*: Farmaco Antineoplastico; Inquinanti Ambientali; Gestione dei Rifiuti; Politica Igienico-Sanitaria; Regolamentazione Governativa.*

Introdução

A relação entre práticas terapêuticas e impactos ambientais revela um dos paradoxos mais complexos da medicina contemporânea: substâncias desenvolvidas para salvar vidas podem, simultaneamente, atuar como agentes de degradação ambiental. No contexto da oncologia, esse paradoxo se torna particularmente evidente. Fármacos antineoplásicos, projetados para exercer citotoxicidade sobre células tumorais, mantêm suas propriedades biológicas após a administração, sendo parcialmente metabolizados e, em grande medida, excretados pelo organismo humano. Nesse contexto, a presença de antineoplásicos no ambiente — mesmo que em baixas concentrações — emerge como um problema ambiental de crescente relevância (Silva, 2019).

Esse processo inaugura uma segunda trajetória para essas substâncias, frequentemente invisível aos sistemas de saúde. Após sua excreção, resíduos de quimioterápicos ingressam diretamente na rede de esgotamento sanitário, onde passam a integrar o conjunto dos chamados micropoluentes orgânicos emergentes. Essas moléculas, presentes em concentrações reduzidas, apresentam elevada persistência ambiental e potencial ecotoxicológico, sendo capazes de afetar organismos aquáticos e alterar dinâmicas ecológicas mesmo em baixos níveis de exposição (Silva, 2019).

A problemática se agrava diante da limitação estrutural dos sistemas de tratamento de esgoto. As estações convencionais não foram projetadas para remover compostos farmacêuticos complexos, permitindo que esses resíduos atravessem as etapas de tratamento e sejam lançados em corpos hídricos (Pereira, 2016). No contexto brasileiro, essa fragilidade é amplificada por déficits históricos de saneamento básico, evidenciados por dados que indicam que parcela significativa dos municípios trata apenas uma fração de seus efluentes (Silva, 2019).

Sob a perspectiva normativa, a RDC nº 222/2018 reconhece o risco associado a substâncias químicas perigosas, incluindo quimioterápicos antineoplásicos, ao classificá-los como resíduos do Grupo B, exigindo manejo diferenciado em razão de suas propriedades de toxicidade, mutagenicidade e carcinogenicidade. Destaca-se, ainda, o artigo 63 da RDC nº 222/2018, que permite o lançamento de excretas de pacientes submetidos à quimioterapia em redes de esgoto sanitário conectadas a estações de tratamento, sem exigir tecnologias específicas para remoção de compostos citotóxicos. Tal previsão normativa evidencia uma transferência implícita da gestão desses resíduos ao sistema de saneamento, cuja infraestrutura atual não foi projetada para lidar com micropoluentes farmacológicos complexos.

No plano normativo, observa-se que a gestão de resíduos sólidos no Brasil foi significativamente reestruturada a partir da instituição da Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) e de sua regulamentação mais recente, o Dec. nº 10.936/2022 (Brasil, 2022). Todavia, embora esse arcabouço represente avanço relevante ao incorporar princípios como responsabilidade compartilhada e ciclo de vida dos produtos, sua estrutura permanece predominantemente voltada a resíduos materialmente identificáveis, o que sugere limitações na abordagem de micropoluentes farmacológicos excretados por pacientes e introduzidos nos sistemas de esgotamento sanitário (Silva, 2019).

Essa lacuna evidencia um limite importante da regulação sanitária tradicional: a dificuldade de incorporar externalidades ambientais difusas produzidas pelo próprio processo terapêutico. Nesse sentido, o problema dos quimioterápicos no ambiente não pode ser compreendido apenas como falha técnica, mas como expressão de uma dissociação estrutural entre os sistemas de saúde e os sistemas de saneamento.

Este artigo tem como objetivo geral analisar criticamente a adequação do modelo brasileiro de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde e de saneamento frente à presença de micropoluentes antineoplásicos excretados por pacientes, com ênfase na realidade da Baixada Santista, à luz da literatura científica e do Direito Ambiental contemporâneo.

Como objetivos específicos, busca-se: (a) descrever o comportamento ambiental dos fármacos antineoplásicos; (b) examinar o arcabouço normativo brasileiro, com destaque para a RDC nº 222/2018; e (c) discutir, por meio de inferência baseada em evidências indiretas, a capacidade dos sistemas de esgotamento sanitário da Baixada Santista em lidar com micropoluentes farmacológicos.

Parte-se da hipótese de que o modelo brasileiro de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, embora normativamente estruturado, mostra-se insuficiente para enfrentar a complexidade ambiental decorrente da excreção de fármacos antineoplásicos, ao transferir sua gestão ao sistema de saneamento, cuja infraestrutura atual não é tecnicamente projetada para a remoção de micropoluentes farmacológicos. Tal dinâmica resulta em potencial risco de contaminação ambiental, especialmente em regiões costeiras como a Baixada Santista.

Métodos

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão narrativa, qualitativa, de finalidade exploratória das relações entre as inovações farmacológicas da tecnologia médica e o manejo de seus resíduos no meio ambiente.

A investigação explorou componentes bibliográficos e documentais. No componente bibliográfico, foram selecionados artigos científicos na plataforma Google Acadêmico, no PubMed com os termos [(Ocean discharge) OR (ecological risk)] AND (Pharmaceuticals) AND (urbain drainage) publicados em periódicos revisados por pares, relatórios técnicos e literatura de referência teórica. No componente documental, foram selecionados instrumentos normativos do Direito Sanitário e Ambiental, com destaque para a RDC nº 222/2018, que estabelece a obrigatoriedade do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), bem como a Lei nº 12.305/2010 e seu decreto regulamentador, que estruturam o sistema nacional de gestão de resíduos sólidos. Esses instrumentos foram examinados à luz de sua capacidade de incorporar os riscos associados aos micropoluentes farmacológicos.

O recorte temporal foi de 2005 a 2025, a fim de avaliar literatura cinco anos antes e quinze anos depois da promulgação da Lei nº 12.305/2010, que estruturou o sistema jurídico brasileiro de gestão de resíduos sólidos, introduzindo princípios como responsabilidade compartilhada e ciclo de vida dos produtos e foi usada como ponto de referência.

A abordagem adotada foi a sistêmica, compreendendo o fenômeno estudado como um conjunto de relações interdependentes entre o desenvolvimento tecnológico farmacêutico, os sistemas de saneamento e o arcabouço normativo ambiental e sanitário. Nessa perspectiva, o problema dos micropoluentes farmacológicos não é analisado de forma isolada, mas como resultado da interação dinâmica entre diferentes subsistemas — científico, jurídico e ambiental — , em constante adaptação às transformações impostas pela inovação biomédica e pelos limites estruturais das políticas públicas. Tal abordagem permite evidenciar não apenas os mecanismos de funcionamento desses sistemas, mas também suas tensões e insuficiências na regulação de riscos ambientais emergentes.

Ressalta-se que não foram identificados, na literatura disponível, dados primários específicos sobre a presença de fármacos antineoplásicos nos sistemas aquáticos da Baixada Santista. Diante dessa limitação, adotou-se estratégia de inferência baseada em evidências indiretas. Nesse contexto, estudos realizados na região demonstram a presença de outros compostos farmacológicos e drogas de uso antrópico — como cafeína, atenolol, acetaminofeno e cocaína — em águas costeiras da Baía de Santos (Pereira, 2016). Esses achados funcionam como indicadores da incapacidade dos sistemas convencionais de tratamento de esgoto em remover micropoluentes orgânicos, permitindo inferir, com plausibilidade científica, comportamento semelhante para fármacos antineoplásicos, dadas suas características de persistência e baixa biodegradabilidade.

O ChatGPT Plus 5.3 e o Notebook LM foram utilizados para auxiliar na revisão gramatical e na estruturação inicial de ideias para o referencial teórico. Os autores revisaram todo o conteúdo gerado e assumem total responsabilidade pelo texto aqui apresentado.

Resultados

1 Estrutura normativa do gerenciamento de resíduos no Brasil

A normatização do gerenciamento de resíduos no Brasil estruturou-se a partir da consolidação de normas técnicas voltadas à classificação e ao manejo de resíduos sólidos, com destaque para o papel da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na construção desse referencial regulatório. Esse processo evidencia a centralidade histórica dos resíduos sólidos na organização da política ambiental brasileira (Vecchia, 2009).

Essa trajetória normativa resultou na instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabeleceu diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, atribuindo aos municípios papel central em sua implementação. A política estrutura instrumentos como planos de gestão (art. 14), responsabilidade compartilhada (art. 30 e ss.) e logística reversa (art. 33), evidenciando a organização sistêmica do gerenciamento de resíduos no país (Brasil, 2010).

Cumpre destacar, dessa normativa parlamentar (Brasil, 2010), algumas disposições: considera "disposição final ambientalmente adequada" de resíduos a que evita riscos à saúde (art. 3º, VIII); exige que a visão sistêmica da gestão de resíduos considere as variáveis da saúde (art. 6º, III); elenca como objetivo da política nacional, em primeiro plano, a proteção da saúde (art. 7º, I); considera "resíduos perigosos" àqueles que apresentam significativo risco à saúde pública (art. 13, II, a).

Além disso tudo, merece destaque especial a disposição do art. 29 que atribui a responsabilidade ao poder público em atuar com vistas a minimizar ou cessar o dano, logo que tome conhecimento de evento lesivo ao meio ambiente ou à saúde pública relacionado ao gerenciamento de resíduos (Brasil, 2010). O que não deixa de ser uma concretização do seu dever-poder de instituir políticas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos exigida pelo artigo 196 da Constituição (Brasil, 1988)

No âmbito da gestão, a lei (Brasil, 2010) considera os conselhos de saúde, um dos seus instrumentos (art. 8º, III). A regulamentação, de modo acertado, amplia a participação do Ministério da Saúde (art. 20, §2º, I e art. 46, IV a).

Em verdade, a integração do Sistema Único de Saúde (SUS) – e de toda a sua estrutura: Ministério da Saúde, Secretários Estaduais e Municipais de Saúde, Conselho Nacional de Saúde, Conselhos Estaduais e Municipais de Saúde, Agência Nacionall de Vigilância Sanitária, Agência Nacional de Saúde Suplementar – haveria de ser considerada na elaboração, gestão e avaliação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois a Constituição Federal, assim exige. Vejamos: "Art. 200. Ao sistema único de saúde compete, além de outras atribuições, nos termos da lei: [...] IV - participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico" (Brasil, 1988).

No âmbito dos resíduos de serviços de saúde, foi a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa, pelo artigo 4º e seguintes da RDC nº 222 (Brasil, 2018), quem estabeleceu algo mais concreto: exigiu a elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS).

Contudo, a análise documental revela que, embora esse arcabouço normativo (lei, decreto e resolução) represente um avanço relevante, sua estrutura permanece predominantemente voltada a resíduos materialmente identificáveis, o que sugere limitações na abordagem de micropoluentes farmacológicos excretados (Vecchia, 2009). A própria RDC nº 222/2018, em seu artigo 63, permite o lançamento de excretas de pacientes submetidos à quimioterapia em redes de esgoto sanitário conectadas a estações de tratamento, sem exigir tecnologias específicas para a remoção de compostos citotóxicos. Tal previsão normativa evidencia uma transferência implícita da gestão desses resíduos ao sistema de saneamento, cuja infraestrutura não foi projetada para lidar com micropoluentes complexos (Moura, 2016).

2 Comportamento ambiental dos fármacos antineoplásicos

A análise da literatura revela que os fármacos antineoplásicos, após sua administração clínica, são parcialmente excretados pelo organismo na forma inalterada ou como metabólitos ativos, sendo continuamente introduzidos nos sistemas de esgotamento sanitário (Silva, 2019). Essa dinâmica, impulsionada sobretudo pela rede de efluentes, configura uma das principais vias de contaminação ambiental contemporânea (Moura; Silva, 2016).

Uma vez inseridos nos ecossistemas aquáticos, esses compostos passam a integrar a categoria dos micropoluentes emergentes. Eles se caracterizam pela presença em baixas concentrações, mas com alta capacidade de persistência, ditada por suas propriedades químicas e pela limitação dos processos naturais de degradação (Silva, 2019; Moura; Silva, 2016). A capacidade de degradação — ou biodegradabilidade — constitui um fator crítico para a compreensão desse comportamento; estudos indicam que determinados antineoplásicos, como a ciclofosfamida, apresentam degradação mínima em condições ambientais, o que favorece sua permanência e inviabiliza sua remoção satisfatória por processos convencionais de tratamento de esgoto (Barreto, 2007).

Além da persistência temporal, o risco ecológico agrava-se em razão da toxicidade inerente a essas moléculas. Projetados com a finalidade terapêutica de promover a destruição celular, esses compostos mantêm seu potencial citotóxico mesmo quando presentes em efluentes diluídos, podendo gerar efeitos adversos agudos e crônicos nas espécies aquáticas (Moura; Silva, 2016).

No contexto de regiões litorâneas, como a Baixada Santista, esse comportamento ambiental ganha contornos ainda mais complexos. Evidências apontam que alterações nas propriedades físico-químicas dessas substâncias, quando em contato com o ambiente marinho, podem aumentar sua capacidade de interação com organismos vivos, favorecendo sua permanência em sistemas biológicos (Pereira, 2016).

Nesse sentido, os resultados apontam que o comportamento ambiental dos antineoplásicos é marcado por sua contínua introdução nas redes sanitárias e pelo binômio persistência-toxicidade (Silva, 2019; Moura; Silva, 2016). Tais características demonstram a complexidade toxicológica desses compostos e evidenciam as severas limitações dos atuais sistemas de tratamento de efluentes em atuar como barreiras efetivas de proteção ambiental.

3 Arcabouço normativo dos resíduos de serviços de saúde no Brasil

O gerenciamento de resíduos de serviços de saúde no Brasil está estruturado a partir de um conjunto de normas sanitárias e ambientais que visam reduzir riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Nesse contexto, destaca-se a Resolução da Diretoria Colegiada nº 222/2018, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que estabelece as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (Brasil, 2018).

A referida resolução define o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde como um conjunto de procedimentos baseados em fundamentos técnicos, científicos e normativos, com o objetivo de minimizar a geração de resíduos e assegurar sua destinação final ambientalmente adequada, com vistas à proteção da saúde pública e à preservação do meio ambiente (Brasil, 2018).

Nesse sentido, a RDC nº 222/2018 estabelece a obrigatoriedade da elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) por todos os geradores, abrangendo etapas como segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos. Tal instrumento representa o principal mecanismo de operacionalização da gestão de resíduos no âmbito dos serviços de saúde, estruturando uma lógica de controle baseada na identificação e no manejo diferenciado conforme os riscos envolvidos (Brasil, 2018).

No que se refere à classificação, a norma organiza os resíduos em diferentes grupos, destacando-se o Grupo B, que compreende resíduos químicos com potencial de risco à saúde pública e ao meio ambiente, incluindo substâncias com características de toxicidade, mutagenicidade e carcinogenicidade (Brasil, 2018). Nesse grupo estão inseridos os medicamentos antineoplásicos, reconhecidos por sua periculosidade química.

Contudo, a análise documental revela uma lacuna na norma em relação ao destino dos resíduos farmacológicos excretados pelos pacientes. O artigo 63 da RDC nº 222/2018 permite o lançamento de excretas de pacientes submetidos à quimioterapia em redes de esgoto sanitário conectadas a estações de tratamento, sem exigir tecnologias específicas para a remoção prévia desses compostos citotóxicos (Brasil, 2018):

> "Art. 63 As excretas de pacientes tratados com quimioterápicos antineoplásicos podem ser lançadas em rede coletora de esgotos sanitários, conectada à estação de tratamento, desde que atendam às normas e diretrizes da concessionária do sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários ou lançadas diretamente em corpos hídricos após tratamento próprio no serviço".

Tal previsão evidencia uma inadequada transferência de responsabilidade. Enquanto o manuseio do medicamento e o descarte de suas embalagens são rigorosamente controlados dentro do serviço de saúde, o fármaco que o paciente elimina pelo corpo escapa desse controle. A responsabilidade por tratar esse resíduo é, de forma inadequada, repassada ao sistema de saneamento básico, cuja infraestrutura atual não foi projetada para lidar com micropoluentes farmacológicos complexos, consolidando assim uma via direta de contaminação hídrica (Vecchia, 2009).

Em nosso ver, tal transferência de responsabilidade é inconstitucional, diante do dever estatuído para o Estado, no artigo 196 da Constituição (Brasil, 1988): de ele conduzir políticas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos.

O Estado, ao atuar (por sua agência reguladora, a Anvisa) na elaboração da RDC 222 (Brasil, 2018), cumprindo o papel que lhe cabia nos termos do art. 200, IV (Brasil, 1988), não poderia transferir a sua responsabilidade.

Espera-se que o resultado apresentado nessa investigação alerte o Estado, nos termos do artigo 29 da Lei nº 12.305 (Brasil, 2010), que ele tem o dever de atuar para minimizar ou cessar o dano, assim que tome conhecimento de situação lesiva à saúde pública relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos.

4 Capacidade dos sistemas de esgotamento sanitário da Baixada Santista frente aos micropoluentes farmacológicos: uma análise por inferência indireta.

A análise da capacidade dos sistemas de esgotamento sanitário da Baixada Santista em lidar com micropoluentes farmacológicos exige, metodologicamente, o uso de inferência baseada em evidências indiretas, uma vez que não há, no contexto local, dados sistemáticos de monitoramento contínuo desses compostos nos sistemas de tratamento. Ainda assim, a articulação entre indicadores de gestão ambiental, estrutura de saneamento e dados empíricos de contaminação permite construir um diagnóstico robusto.

No que se refere à estrutura de gestão ambiental municipal, o município de Santos apresenta desempenho elevado no cumprimento formal das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, atingindo 94,23% dos indicadores avaliados. A análise dos indicadores aponta, contudo, limitações, como a ausência de atualização de dados em sistemas nacionais (SINIR) e dificuldades na implementação de estratégias como educação ambiental e logística reversa (Mota, 2024).

Além disso, a gestão de resíduos na região funciona, há muitos anos, de forma centralizada e compartilhada. O modelo baseia-se na utilização do Aterro Sanitário Sítio das Neves para atender a múltiplos municípios da Baixada Santista, envolvendo também estações de transbordo e etapas terceirizadas (Ferreira, 2010; Mota, 2024). Esse sistema, no entanto, é estritamente direcionado ao lixo sólido convencional. Desde a sua concepção, essa infraestrutura não possui mecanismos para reter ou tratar micropoluentes farmacológicos, cuja principal via de entrada no ambiente costeiro ocorre pelo esgoto, e não pelos aterros (Mota, 2024).

Do ponto de vista técnico, estudos indicam que os sistemas de tratamento de esgoto não são projetados para a remoção de micropoluentes farmacológicos, sendo voltados predominantemente à redução de carga orgânica (Pereira, 2016). Nesse contexto, compostos com baixa biodegradabilidade, como determinados fármacos antineoplásicos, tendem a persistir no ambiente aquático, dificultando sua remoção por processos convencionais (Barreto, 2007). Além disso, alterações nas propriedades físico-químicas dessas substâncias em ambiente marinho podem aumentar sua capacidade de interação com organismos vivos, favorecendo sua permanência em sistemas biológicos (Pereira, 2016). Dessa forma, a literatura indica que, mesmo em cenários de coleta e tratamento de esgoto, micropoluentes farmacológicos podem permanecer no ambiente como resultado das limitações dos processos convencionais de tratamento.

Discussão

Apesar do desenvolvimento normativo consistente no campo dos resíduos sólidos, a literatura aponta a existência de uma lacuna estrutural no tratamento jurídico dos efluentes líquidos hospitalares. O aparato regulatório brasileiro mostra-se detalhado quanto ao manejo de resíduos sólidos, mas não contempla de forma explícita os efluentes líquidos contendo resíduos farmacológicos, o que revela uma insuficiência regulatória relevante frente aos riscos ambientais associados (Vecchia, 2009). Essa assimetria torna-se ainda mais sensível quando se considera a natureza dos efluentes gerados por serviços de saúde, que podem conter microrganismos patogênicos e resíduos de medicamentos excretados por pacientes, funcionando como potenciais vetores de contaminação hídrica quando lançados sem tratamento adequado (Vecchia, 2009).

Em perspectiva mais ampla, embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos tenha representado importante avanço na organização da gestão ambientalmente adequada dos resíduos, sua estrutura permanece centrada predominantemente em resíduos sólidos materialmente identificáveis, sem disciplinar de modo específico os efluentes líquidos contendo contaminantes farmacológicos (Pereira, 2016). Nesse sentido, a literatura sugere que a dificuldade regulatória não é episódica, mas estrutural e anterior mesmo à consolidação do marco normativo recente (Silva, 2019; Vecchia, 2009).

Entretanto, ao tratar especificamente do destino dos resíduos farmacológicos excretados por pacientes, a própria RDC nº 222/2018 admite o lançamento dessas substâncias na rede coletora de esgotos sanitários, desde que haja conexão com sistema de tratamento ou tratamento próprio no serviço de saúde (Brasil, 2018). Essa previsão normativa revela uma contradição importante no modelo regulatório, na medida em que parte significativa desses resíduos deixa de ser gerida no âmbito dos serviços de saúde, passando a ser absorvida pelo sistema de saneamento.

Tal dinâmica evidencia um deslocamento implícito de responsabilidade entre subsistemas regulatórios distintos. Embora o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde seja estruturado com base em princípios de controle e rastreabilidade, a etapa posterior à excreção dos fármacos escapa a esse regime, sendo incorporada a sistemas de tratamento de esgoto originalmente concebidos para a remoção de carga orgânica e não de compostos farmacologicamente ativos.

Nesse contexto, configura-se um descompasso estrutural entre o arcabouço normativo sanitário e a capacidade tecnológica dos sistemas de saneamento. A regulação reconhece a periculosidade dos fármacos antineoplásicos, mas não estabelece mecanismos específicos para o tratamento de seus resíduos após a excreção, o que resulta em uma lacuna operacional no enfrentamento de contaminantes emergentes. Esse descompasso não se limita a uma falha pontual de regulação, mas expressa uma dissociação mais ampla entre os sistemas de saúde, saneamento e regulação ambiental.

A análise da realidade da Baixada Santista permite observar como esse descompasso regulatório se manifesta concretamente em contextos territoriais. Embora o município de Santos apresente elevado desempenho formal no cumprimento das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, esse indicador não se traduz, necessariamente, em capacidade técnica para lidar com contaminantes emergentes. A persistência de limitações estruturais, como fragilidades na atualização de sistemas de informação e dificuldades na implementação de estratégias mais complexas de gestão ambiental, sugere a existência de um hiato entre conformidade normativa e efetividade operacional.

Esse cenário torna-se ainda mais evidente quando confrontado com dados empíricos da região. A detecção de compostos como cafeína, atenolol, acetaminofeno e cocaína em águas costeiras da Baía de Santos, conforme demonstrado por Pereira et al. (2016), evidencia que os

sistemas de tratamento de esgoto não são capazes de remover integralmente micropoluentes de origem antrópica. Nesse contexto, a presença ambiental dessas substâncias funciona como marcador indireto das limitações dos processos convencionais de tratamento, especialmente diante de compostos com características de persistência e baixa biodegradabilidade.

Dessa forma, a realidade da Baixada Santista permite identificar um paradoxo regulatório-operacional: coexistem, no mesmo território, um arcabouço normativo formalmente estruturado e uma infraestrutura de saneamento que não responde adequadamente à complexidade dos micropoluentes farmacológicos. Esse quadro reforça que a problemática não se restringe à existência de lacunas normativas, mas envolve a articulação insuficiente entre regulação, tecnologia e implementação de políticas públicas em contextos reais.

Por fim, a análise evidencia que a persistência de micropoluentes no ambiente não decorre apenas de falhas pontuais, mas de uma limitação sistêmica, que exige a reorientação das políticas de saneamento e a incorporação de estratégias específicas para contaminantes emergentes. Nesse sentido, torna-se necessária a integração entre políticas de saúde, meio ambiente e regulação farmacêutica, sob pena de manutenção de um modelo eficaz para poluentes clássicos, mas incapaz de responder aos desafios contemporâneos.

Considerações Finais

A análise desenvolvida neste estudo permitiu identificar que o modelo brasileiro de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, embora normativamente estruturado, apresenta limitações relevantes frente à presença de micropoluentes farmacológicos no ambiente. Evidenciou-se um descompasso entre o arcabouço regulatório vigente — especialmente no que se refere à RDC nº 222/2018 e à Política Nacional de Resíduos Sólidos — e a capacidade efetiva dos sistemas de saneamento em lidar com contaminantes emergentes oriundos da excreção de fármacos antineoplásicos.

Do ponto de vista ambiental, esses compostos apresentam características que dificultam sua remoção, como baixa biodegradabilidade e persistência em sistemas aquáticos, sendo detectados em corpos hídricos mesmo após processos convencionais de tratamento de esgoto. No caso da Baixada Santista, a presença de micropoluentes em águas costeiras, associada à estrutura regional de saneamento, indica que os sistemas existentes não foram projetados para responder a esse tipo de contaminação, operando de forma eficaz para poluentes clássicos, mas insuficiente para compostos farmacologicamente ativos.

Sob a perspectiva normativa, verificou-se que o modelo regulatório brasileiro permanece centrado no gerenciamento de resíduos sólidos, deixando em segundo plano os efluentes líquidos contendo substâncias químicas complexas. A previsão normativa que permite o lançamento de excretas em redes de esgoto sanitário evidencia um deslocamento implícito de responsabilidade para o sistema de saneamento, sem a correspondente adequação tecnológica.

Tal transferência é ilegal diante do conhecimento dos riscos ambientais e à saúde envolvidos (nos termos do art. 29 da Lei nº 12.305/2010), assim como inconstitucional, diante da responsabilidade estabelecida para o Estado nos artigos 196 e 200, IV da Constituição Federal.

A hipótese inicial do estudo foi confirmada: o modelo vigente, embora formalmente consistente, mostra-se insuficiente para enfrentar a complexidade ambiental associada aos

micropoluentes farmacológicos, especialmente em regiões costeiras densamente urbanizadas. Tal insuficiência não decorre apenas de lacunas normativas isoladas, mas de uma dissociação mais ampla entre os sistemas de saúde, saneamento e regulação ambiental.

Como contribuição, o estudo articula evidências científicas sobre o comportamento ambiental de fármacos, análise normativa e inferência territorial, evidenciando a necessidade de uma abordagem sistêmica no enfrentamento da poluição farmacológica. Ao deslocar o foco do gerenciamento de resíduos sólidos para a análise dos fluxos difusos de contaminantes no ambiente, amplia-se o campo de discussão no Direito Ambiental e na Saúde Coletiva.

Por fim, destacam-se limitações inerentes à abordagem adotada, especialmente a ausência de dados primários locais sobre a concentração e dinâmica de micropoluentes nos sistemas de esgotamento sanitário da Baixada Santista, o que impôs o uso de inferência baseada em evidências indiretas. Nesse contexto, recomenda-se o desenvolvimento de estudos empíricos regionais, com monitoramento sistemático de fármacos em efluentes e corpos hídricos, bem como o aprofundamento das análises sobre a interface entre inovação tecnológica em saúde e seus impactos ambientais.

Referências

BARRETO, Patrícia Sobierajski. *Biodegradabilidade do antineoplásico ciclofosfamida por processo anaeróbio*. 2007. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90306. Acesso em: 10 abr. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 mar. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-222-de-28-de-marco-de-2018-87873901. Acesso em: 10 abr. 2026.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 abr. 2026.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jan. 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm. Acesso em: 10 abr. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm . Acesso em: 10 abr. 2026.

FERREIRA, Viviane Amaral. *O sistema de destinação final dos resíduos urbanos do município de Santos*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2010. Orientador: Elias Basile Tambourgi. Disponível em: https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/778658. Acesso em: 10 abr. 2026.

MOTA, Heloisa Helena Perez. *Indicadores legais para a gestão municipal dos resíduos sólidos: o caso de Santos-SP*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de São Paulo, Instituto do Mar, Santos, 2024. Orientadora: Pilar Carolina Villar.

MOURA, Leonardo de Lima; Ronaldo Ferreira da Silva. Medicamentos antineoplásicos no meio ambiente: a contribuição de um hospital universitário de alta complexidade. *Revista Gestão &*

Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 313–333, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.19177/rgsa.v5e12016313-333. Acesso em: 10 abr. 2026.

PEREIRA, Camilo D. Seabra et al. Occurrence of pharmaceuticals and cocaine in a Brazilian coastal zone. *Science of the Total Environment*, v. 548–549, p. 148–154, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.099. Acesso em: 10 abr. 2026.

SILVA, Ronaldo Ferreira da. *Avaliação de risco ambiental de fármacos*. 2019. 222 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis) — Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.22409/PPSIG.2019.d.61912530791.

VECCHIA, Andrei A. D.; THEWES, M. R.; NAIME, R. H.; SPILKI, F. R. Diagnóstico sobre a situação do tratamento do esgoto hospitalar no Brasil. *Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal*, v. 10, n. 2, p. 65–70, dez. 2009. https://www.researchgate.net/publication/254201041_DIAN%27OSTICO_SOBRE_A_SITUAcCAO_DO_TRATAMENTO_DO_ESGOTO_HOSPITALAR_NO_BRASIL.

Informação deste texto, conforme a NBR 6023:2018 da Associação Brasileira de Normas Técnicas bibliográfica (ABNT):

TAVARES, Juliana dos Santos; SANDER, Andrea; LAMY, Marcelo. Micropoluentes antineoplásicos e saneamento: limites do modelo brasileiro na Baixada Santista. **Revista Brasileira de Direito Constitucional**, vol. 26, jan./dez. 2026, e026012. São Paulo: ESDC, 2026. ISSN: 1983-2303 (eletrônica). DOI: https://doi.org/10.62530/e026012.

Recebido em 19/04/2026
Aprovado em 28/05/2026

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt-br
Com essa licença os artigos são de acesso aberto que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado

Créditos de autoria
Os autores são responsáveis pelo artigo e desempenharam todos os papéis da classificação CRediT (Contributor Roles Taxonomy).

Declaração sobre conflito de interesses
Não há conflitos de interesse na realização e comunicação das pesquisas.

Informações sobre financiamento
Esta pesquisa não foi realizada com financiamento.

Declaração de disponibilidade de dados
Não foram gerados ou analisados novos dados no presente trabalho.

Declaração sobre o uso de Inteligência Artificial
O ChatGPT Plus 5.3 e o Notebook LM foram utilizados para auxiliar na revisão gramatical e na estruturação inicial de ideias para o referencial teórico. Os autores revisaram todo o conteúdo gerado e assumem total responsabilidade pelo texto aqui apresentado.

Editores Responsáveis pela Avaliação e Editoração
Carol de Oliveira Abud.