ASPECTOS DA POLUIÇÃO HÍDRICA POR FÁRMACOS: IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE PÚBLICA

CARINA PECHIAIA

RESUMO
A presença de fármacos em ambientes aquáticos, decorrente de práticas inadequadas de descarte e limitações nos processos convencionais de tratamento de efluentes, representa um desafio emergente para a saúde pública e ambiental. Este trabalho avalia os impactos socioambientais da contaminação hídrica por medicamentos, analisa a legislação vigente e propõe soluções para mitigar esses efeitos. Os fármacos, frequentemente encontrados em efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETEs), não são completamente removidos por métodos tradicionais, gerando consequências adversas à biota aquática e à saúde humana. Tecnologias como processos oxidativos avançados, adsorção com bioadsorventes e tratamento eletroquímico mostram-se promissoras, mas apresentam barreiras econômicas para implementação. A pesquisa também revelou deficiências na conscientização pública, com 49% dos entrevistados descartando medicamentos no lixo doméstico. Conclui-se que a mitigação exige responsabilidade compartilhada entre indústrias, governo, consumidores e profissionais da saúde, além de investimentos em tecnologias acessíveis e campanhas educativas. Este estudo reforça a necessidade de integrar avanços científicos com políticas públicas robustas para enfrentar este problema crescente.
PALAVRAS-CHAVE: Fármacos; Poluição Aquática; Tratamento de Efluentes; Monitoramento de Poluentes.

INTRODUÇÃO

A contaminação ambiental por resíduos farmacêuticos tem se consolidado como um tema de grande relevância nas discussões sobre saúde pública e sustentabilidade ambiental. Nos últimos anos, evidências científicas apontam que medicamentos descartados de forma inadequada e resíduos oriundos de processos metabólicos humanos atingem os sistemas de esgoto e, mesmo após tratamento convencional, permanecem nos efluentes que são lançados nos corpos hídricos. Esses resíduos incluem antibióticos, hormônios, anti-inflamatórios e outros compostos biologicamente ativos que podem interferir nos ecossistemas aquáticos, promover resistência bacteriana e apresentar riscos à saúde humana.

Embora reconhecida como um problema emergente, a presença de fármacos no meio ambiente ainda carece de regulamentação adequada e de tecnologias acessíveis para sua mitigação, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) tradicionais não foram projetadas para remover esses poluentes específicos, o que resulta em sua persistência no ambiente. Além disso, o descarte inadequado de medicamentos vencidos ou não utilizados, tanto por consumidores quanto por instituições de saúde, contribui significativamente para esse cenário.

Do ponto de vista legal, apesar de existirem políticas nacionais de resíduos sólidos e saneamento básico, ainda há lacunas quanto à responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida dos medicamentos e à conscientização da população sobre o impacto ambiental de práticas inadequadas de descarte. Paralelamente, soluções tecnológicas avançadas, como processos oxidativos, adsorção com bioadsorventes e tecnologias eletroquímicas, têm se mostrado eficazes, mas enfrentam barreiras como altos custos de implementação e limitações técnicas.

Neste contexto, este trabalho busca compreender os impactos socioambientais dos resíduos farmacêuticos em águas destinadas ao abastecimento público, explorando a eficácia das tecnologias de tratamento disponíveis e em desenvolvimento, analisando as políticas públicas e propondo medidas que incentivem a responsabilidade compartilhada entre governo, indústrias, profissionais da saúde e consumidores. A relevância deste estudo reside na necessidade de integrar ciência, tecnologia e políticas públicas para garantir um equilíbrio entre o desen-

volvimento sustentável e a preservação ambiental.

IMPACTOS AMBIENTAIS E FONTES DE CONTAMINAÇÃO

A contaminação ambiental por fármacos é um tema que vem ganhando destaque nas últimas décadas, à medida que estudos revelam a presença crescente desses compostos em corpos hídricos ao redor do mundo. Os medicamentos entram no meio ambiente por várias vias, sendo as principais fontes os efluentes domésticos e industriais, bem como o descarte inadequado de resíduos farmacêuticos.

PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Os medicamentos descartados no vaso sanitário, nas pias ou no lixo comum acabam sendo direcionados para sistemas de esgoto ou aterros sanitários. Nos sistemas de esgoto, os resíduos seguem para Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), onde, segundo Ternes (1998), muitos compostos farmacêuticos não são degradados devido à natureza limitada dos processos de tratamento convencionais. Uma fração significativa dos medicamentos é eliminada pelo corpo humano de forma ativa, principalmente pela urina e, em menor grau, pelas fezes, o que torna a contribuição humana uma fonte contínua de contaminação ambiental (DAUGHTON, 2003).

Além disso, medicamentos vencidos ou não utilizados são frequentemente descartados sem o devido cuidado. Estima-se que uma grande parcela da população desconheça as alternativas de descarte adequado, como programas de coleta em farmácias ou postos de saúde. Esse comportamento contribui para a entrada direta de medicamentos no ciclo hídrico, com substâncias químicas chegando aos corpos d'água em sua forma original, sem alterações metabólicas ou degradação prévia (BILA & DEZOTTI, 2003).

EFEITOS NOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS

Os resíduos farmacêuticos em ambientes aquáticos podem ter impactos severos, mesmo quando presentes em concentrações extremamente baixas. Segundo Richardson e Bowron (1985), compostos como hormônios, antibióticos e antidepressivos podem causar distúrbios endócrinos, interferindo na reprodução de espécies aquáticas. Por exemplo, resíduos de estrogênios têm sido associados à feminização de peixes machos, com consequente desequilíbrio populacional.

Além disso, a presença de antibióticos nos corpos d'água pode promover a resistência bacteriana, um problema de saúde pública global. Carvalho et al. (2009) destacam que bactérias resistentes encontradas em ambientes aquáticos podem eventualmente ser transmitidas para seres humanos, dificultando tratamentos médicos e aumentando os riscos de infecções fatais.

PERSISTÊNCIA NO MEIO AMBIENTE

A persistência de fármacos no ambiente é outro fator preocupante. Compostos como os anti-inflamatórios e analgésicos possuem alta estabilidade química, o que lhes permite resistir a processos naturais de degradação (DAUGHTON, 2003). Em ETEs, três padrões de comportamento são observados:

- Substâncias hidrofílicas permanecem na fase aquosa e podem atravessar as etapas de tratamento sem alterações significativas.
- Fármacos degradáveis sofrem biotransformação parcial ou completa, formando subprodutos.
- Compostos lipofílicos são retidos no lodo, mas podem ser reintroduzidos no ambiente quando este é utilizado como fertilizante (Richardson & BOWRON, 1985).

Mesmo quando os compostos são parcialmente degradados, os subprodutos gerados podem ser igualmente ou mais tóxicos que as moléculas originais, representando um risco adicional. Bila e Dezotti (2003) enfatizam que a remoção eficaz desses poluentes exige tecnologias avançadas, pois os métodos convencionais são incapazes de lidar com a complexidade dessas substâncias.

DESAFIOS DO MONITORAMENTO

Um dos principais desafios é o monitoramento dos fármacos nos ambientes aquáticos. A detecção em concentrações tão baixas requer métodos analíticos sofisticados, como cromatografia e espectrometria de

massa (Guaratini & Zanoni, 2000). Apesar do avanço tecnológico, poucos estudos avaliam os impactos cumulativos dessas substâncias em ecossistemas aquáticos e na saúde humana, deixando uma lacuna crítica na compreensão dos efeitos de longo prazo.

EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

A crescente presença de resíduos farmacêuticos em corpos d'água revela as limitações das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e Estações de Tratamento de Água (ETAs) em remover esses compostos. Os sistemas de tratamento atualmente em operação foram desenvolvidos para eliminar poluentes orgânicos e partículas em suspensão, mas muitos fármacos, devido às suas características químicas específicas, passam pelos processos sem degradação significativa (TERNES, 1998).

LIMITAÇÕES DOS PROCESSOS CONVENCIONAIS

Os processos convencionais de tratamento, como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, não foram projetados para lidar com compostos farmacêuticos. Esses sistemas removem apenas uma fração limitada de fármacos, dependendo de suas propriedades físico-químicas, como solubilidade e polaridade. Carvalho et al. (2009) observaram que compostos hidrofílicos tendem a permanecer na fase líquida, enquanto substâncias lipofílicas são parcialmente adsorvidas no lodo.

O problema é agravado pela reintrodução de resíduos farmacêuticos no ambiente por meio de práticas como a utilização de lodo de esgoto como fertilizante, permitindo que compostos biologicamente ativos voltem aos corpos hídricos e aos solos (Richardson & Bowron, 1985). Além disso, os processos convencionais muitas vezes geram subprodutos que podem ser igualmente ou mais tóxicos do que os compostos originais (BILA & DEZOTTI, 2003).

TECNOLOGIAS AVANÇADAS DE TRATAMENTO

Para superar essas limitações, têm sido desenvolvidas e aplicadas tecnologias avançadas, com foco na remoção ou degradação de compostos farmacêuticos. Entre as alternativas mais promissoras estão:

- Processos Oxidativos Avançados (POA): Os POAs utilizam radicais hidroxila altamente reativos para oxidar e mineralizar compostos orgânicos, incluindo fármacos. Segundo Melo et al. (2009), essa tecnologia é eficiente na degradação de uma ampla gama de substâncias, embora seu alto custo e complexidade operacional limitem a aplicação em larga escala.
- Adsorção em Carvão Ativado: A adsorção é um método eficaz para a remoção de fármacos, especialmente compostos orgânicos. O carvão ativado, amplamente utilizado em ETAs, possui alta capacidade de adsorção devido à sua grande área superficial. No entanto, Simpson (2008) aponta que o carvão ativado granular (CAG) pode saturar rapidamente, exigindo regeneração frequente ou substituição.
- Filtração por Membranas: Tecnologias como a nanofiltração e a osmose reversa são capazes de reter compostos farmacêuticos e seus subprodutos. Embora extremamente eficazes, esses sistemas têm custos elevados e produzem grandes volumes de rejeitos concentrados, que também precisam ser tratados (Guaratini & Zanoni, 2000).
- Bioadsorventes: Materiais de origem agrícola, como casca de coco e serragem, têm sido explorados como alternativas sustentáveis para adsorção. Além de serem economicamente viáveis, esses materiais oferecem a vantagem de reutilizar resíduos agrícolas, reduzindo impactos ambientais (Raimundo et al., 2008).
- Tratamento Eletroquímico: A tecnologia eletroquímica utiliza reações redox para degradar compostos orgânicos. Segundo Ticianelli e Gonzales (2005), o tratamento eletroquímico apresenta elevada eficiência e é considerado um "reagente limpo", pois utiliza o elétron como agente principal. No entanto, sua implementação requer infraestrutura específica e controle rigoroso.

EFICIÊNCIA COMBINADA

Estudos sugerem que a combinação de tecnologias pode aumentar significativamente a eficiência do tratamento de efluentes. Por exemplo, a pré-ozonização seguida por filtra-

ção em membranas ou adsorção em carvão ativado biologicamente ativado (CAB) tem mostrado resultados positivos na remoção de fármacos. O CAB, em particular, combina os benefícios da adsorção com a ação biodegradadora de biofilmes formados no carvão ativado granular (Simpson, 2008).

BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO

Apesar do potencial das tecnologias avançadas, a implementação em larga escala enfrenta desafios econômicos e estruturais. Segundo Filho et al. (2007), o alto custo de aquisição, operação e manutenção dessas tecnologias torna inviável sua adoção por muitas ETEs, especialmente em países em desenvolvimento. Além disso, a falta de políticas públicas que incentivem a adoção de tecnologias avançadas e a ausência de programas de monitoramento contínuo limitam o progresso.

NECESSIDADE DE MONITORAMENTO CONTÍNUO

O monitoramento da eficiência dos sistemas de tratamento é fundamental para avaliar o desempenho das tecnologias aplicadas e ajustar processos. Métodos analíticos avançados, como cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa, têm se mostrado indispensáveis para a detecção de fármacos em baixas concentrações e para o estudo de subprodutos gerados durante o tratamento (Guaratini & Zanoni, 2000).

LEGISLAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS

A gestão de resíduos farmacêuticos e a mitigação dos impactos causados pela sua presença no meio ambiente dependem fortemente de legislações específicas e políticas públicas eficazes. No Brasil, o arcabouço legal ambiental é robusto, mas ainda apresenta lacunas significativas no que tange ao descarte de medicamentos e à responsabilização de todos os agentes envolvidos no ciclo de vida desses produtos.

ARCABOUÇO JURÍDICO NACIONAL

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) estabelecem diretrizes para o gerenciamento de resíduos e para a proteção da qualidade da água. Contudo, a legislação vigente trata o descarte de medicamentos principalmente sob o escopo de resíduos de serviços de saúde, como clínicas, hospitais e farmácias, deixando uma lacuna na regulamentação para o descarte doméstico (Alvarenga & Nicoletti, 2010).

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, que regulamenta a classificação de corpos d'água e os padrões de lançamento de efluentes, qualquer descarte de substâncias químicas deve obedecer a limites que garantam a preservação da qualidade ambiental. No entanto, essa regulamentação carece de especificidade quando se trata de medicamentos, o que dificulta a fiscalização e o cumprimento por parte dos agentes responsáveis (Rodrigues, 2009).

Além disso, a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) institui os princípios da precaução e da prevenção, que são fundamentais para evitar danos ambientais e garantir que os agentes responsáveis, como indústrias farmacêuticas, assumam sua parcela de responsabilidade pelo descarte adequado dos resíduos gerados.

RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA

A legislação brasileira incorpora o princípio da responsabilidade compartilhada, que exige a participação de todos os agentes da cadeia produtiva e de consumo no gerenciamento de resíduos. Isso inclui a indústria farmacêutica, os distribuidores, os consumidores e o poder público. De acordo com o artigo 33 da Lei nº 12.305/2010, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a implementar sistemas de logística reversa para o recolhimento de medicamentos vencidos ou não utilizados.

No entanto, a implementação efetiva desses sistemas ainda enfrenta desafios, como a falta de infraestrutura para coleta e descarte, a baixa adesão da população e a ausência de campanhas de conscientização massivas (BILA & DEZOTTI, 2003). Um exemplo é a dificuldade de acesso a pontos de coleta em áreas menos urbanizadas, o que limita a eficácia das políticas públicas.

POLÍTICAS INTERNACIONAIS COMO REFE-

RÊNCIA
Em países da União Europeia, programas de logística reversa já estão bem estabelecidos, com pontos de coleta em farmácias e a regulamentação rigorosa do ciclo de vida dos medicamentos (Richardson & Bowron, 1985). Essas políticas incluem incentivos fiscais para empresas que adotam práticas sustentáveis, bem como penalidades para aquelas que não cumprem as diretrizes de descarte. O Brasil poderia se beneficiar da adaptação de tais modelos às suas condições locais, promovendo maior integração entre governo, indústria e consumidores.

GAPS E NECESSIDADE DE REFORMAS
A falta de integração entre as legislações ambientais, de saúde e de saneamento é um dos principais entraves para uma gestão eficaz dos resíduos farmacêuticos no Brasil. Embora existam regulamentações como a Resolução CONAMA 358/2005, que trata de resíduos de serviços de saúde, elas não abrangem adequadamente o impacto ambiental do descarte doméstico de medicamentos.
Outro ponto crítico é a ausência de uma legislação federal específica para resíduos farmacêuticos domésticos. Enquanto estados e municípios podem criar legislações complementares, essas normas locais frequentemente divergem entre si, gerando inconsistências na aplicação e fiscalização (Rodrigues, 2009). Um exemplo disso é a disparidade na implementação de pontos de coleta de medicamentos vencidos em diferentes regiões do país.

PROPOSTAS DE MELHORIAS
Para abordar essas lacunas, é essencial:
- Revisar e Atualizar a Legislação Nacional: Incluir regulamentações específicas para resíduos farmacêuticos domésticos, com critérios claros para coleta, transporte e descarte, baseados em evidências científicas e boas práticas internacionais.
- Fortalecer os Sistemas de Logística Reversa: Tornar obrigatória a instalação de pontos de coleta em farmácias e outros estabelecimentos de saúde, com incentivos fiscais e subsídios para facilitar a adesão da indústria farmacêutica.
- Educar e Conscientizar a População: Campanhas educativas devem ser promovidas para informar os consumidores sobre o impacto ambiental do descarte inadequado e sobre as alternativas disponíveis para a devolução de medicamentos vencidos.
- Promover Pesquisa e Desenvolvimento: Investir em tecnologias para tratamento de resíduos farmacêuticos, com apoio de universidades, indústrias e instituições de pesquisa.
- Aprimorar a Fiscalização: Ampliar a capacidade de monitoramento e fiscalização dos órgãos ambientais e sanitários, garantindo que as diretrizes legais sejam cumpridas.

PERCEPÇÃO PÚBLICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL
A conscientização da população sobre os impactos do descarte inadequado de medicamentos é essencial para mitigar os problemas ambientais e de saúde pública relacionados aos resíduos farmacêuticos. Apesar dos avanços na legislação e nas tecnologias de tratamento, a adesão da sociedade a práticas responsáveis de descarte ainda é limitada, evidenciando a necessidade de ações educativas e campanhas de sensibilização.
Neste trabalho, foram aplicados questionários com o objetivo de levantar dados e investigar como as pessoas consomem, armazenam e descartam medicamentos, além de avaliar seu nível de conhecimento sobre os impactos ambientais e de saúde pública decorrentes do descarte inadequado. As perguntas foram organizadas em dois blocos: o primeiro destinado à coleta de informações sociodemográficas e o segundo focado na percepção dos participantes sobre os impactos ambientais, práticas de uso e armazenamento de medicamentos, e comportamentos relacionados ao descarte.
Os questionários foram elaborados com base em revisões bibliográficas e discussões do grupo de pesquisa sobre a temática. Após aprovação do Comitê Interno de Ética em Pesquisa (CEP/Senac), os questionários foram aplicados a familiares e conhecidos das integrantes do grupo, totalizando noventa participantes. Este procedimento garantiu uma abordagem ética e contribuiu para uma

melhor compreensão do perfil e das práticas dos respondentes.

INFORMAÇÕES SOCIODEMOGRÁFICAS

Para caracterizar o perfil sociodemográfico dos participantes, foram coletadas informações sobre faixa etária, escolaridade, gênero e presença de doenças crônicas na família. A escolha dessas variáveis visou compreender o contexto dos respondentes e identificar possíveis influências sobre suas respostas relacionadas ao tema principal da pesquisa.

A análise revelou um viés na composição da amostra, com predominância de participantes na faixa etária de 21 a 40 anos (74,2%), seguidos por 20,0% entre 41 e 60 anos, e apenas 5,6% com mais de 61 anos. Em relação ao gênero, 60% dos participantes eram mulheres e 40% homens, indicando maior participação feminina. Quanto à escolaridade, a amostra foi composta majoritariamente por indivíduos com alta formação educacional, sendo 86% com nível superior completo e 9% com superior incompleto.

Esses dados refletem um perfil amostral que pode influenciar percepções e comportamentos, o que deve ser considerado tanto na análise dos resultados quanto na interpretação das conclusões. Apesar das limitações decorrentes desse viés, a composição da amostra oferece subsídios importantes para explorar as questões investigadas, contribuindo para a compreensão do tema em foco e abrindo possibilidades para análises futuras mais amplas e diversificadas.

PERCEPÇÃO PÚBLICA, PRÁTICAS COMUNS E RESPONSABILIDADES

Os resultados da pesquisa evidenciaram uma elevada conscientização dos entrevistados sobre os impactos ambientais e de saúde pública relacionados ao descarte inadequado de medicamentos. Cerca de 90% dos participantes reconhecem que o descarte incorreto pode causar problemas ambientais, enquanto 98,9% concordam que questões ambientais têm o potencial de afetar negativamente a saúde humana. Esses dados destacam a percepção generalizada da relevância ambiental do tema.

Aproximadamente 92% dos respondentes acreditam que os medicamentos deveriam ser vendidos na dosagem exata prescrita pelo médico, como forma de evitar sobras e reduzir os riscos de descarte inadequado. No entanto, essa prática enfrenta barreiras econômicas e logísticas impostas pela indústria farmacêutica, o que dificulta sua implementação em larga escala.

O descarte inadequado, como o despejo de medicamentos em pias ou vasos sanitários, é um fator determinante para a presença de resíduos farmacêuticos em efluentes que não são tratados de maneira eficaz. Conforme discutido por Daughton (2003), a prática generalizada de automedicação agrava ainda mais essa problemática. Muitos consumidores adquirem medicamentos desnecessários, resultando em sobras que frequentemente são descartadas de forma inadequada, contribuindo diretamente para a contaminação ambiental.

A pesquisa também revelou percepções importantes sobre a divisão de responsabilidades no gerenciamento de resíduos farmacêuticos. A maioria dos entrevistados defende um modelo de responsabilidade compartilhada, com os seguintes papéis destacados:

- Indústria farmacêutica (30%): Responsável por implementar sistemas de logística reversa e informar os consumidores sobre práticas adequadas de descarte.
- Consumidores (29%): Devem adotar práticas conscientes no armazenamento e descarte de medicamentos.
- Governo (22%): Deve criar, regulamentar e fiscalizar políticas públicas que garantam o descarte correto.
- Farmácias e farmacêuticos (15%): Devem atuar como intermediários na coleta de medicamentos e na conscientização da população.

Esse modelo de responsabilidade compartilhada é fundamental para engajar todos os elos da cadeia na busca por soluções efetivas para o descarte inadequado de medicamentos. Apenas com uma abordagem integrada, que envolva educação, regulamentação e infraestrutura, será possível mitigar os impactos ambientais e proteger a saúde pública.

EDUCAÇÃO E SENSIBILIZAÇÃO

A educação ambiental desempenha um pa-

pel crucial na mudança de comportamentos relacionados ao descarte de medicamentos. Campanhas educativas podem informar a população sobre os impactos ambientais e de saúde pública, bem como orientar sobre os locais apropriados para descarte. Essas campanhas devem ser amplamente divulgadas por meio de mídias tradicionais e digitais, incluindo:

- Divulgação de informações em farmácias e postos de saúde.
- Programas educativos em escolas e comunidades.
- Criação de aplicativos ou plataformas online que indiquem pontos de coleta.

Exemplos de sucesso podem ser observados em países europeus, onde campanhas de conscientização, aliadas a sistemas eficientes de logística reversa, reduziram significativamente a quantidade de resíduos farmacêuticos descartados de forma inadequada (RICHARDSON & BOWRON, 1985).

PROPOSTAS DE MELHORIAS

Para alinhar percepção pública e práticas sustentáveis, propõe-se:

- Aumento da Disponibilidade de Pontos de Coleta: Expandir os sistemas de logística reversa, especialmente em regiões periféricas e rurais, garantindo que todos os cidadãos tenham acesso a locais apropriados para o descarte de medicamentos.
- Campanhas de Educação Ambiental: Implementar programas de conscientização com base em dados científicos e linguagem acessível, abordando os impactos ambientais e as formas corretas de descarte.
- Parcerias Público-Privadas: Envolver a indústria farmacêutica e o setor de varejo em iniciativas de educação e coleta, com incentivos fiscais para empresas que implementem boas práticas.
- Mudanças nas Embalagens: Promover a venda de medicamentos em embalagens com doses exatas ou em quantidades menores para evitar sobras.
- Monitoramento de Impactos: Realizar pesquisas contínuas para avaliar a eficácia das campanhas educativas e dos sistemas de coleta, ajustando as estratégias conforme necessário.

CONCLUSÃO

A contaminação ambiental por resíduos farmacêuticos é um problema emergente que exige uma abordagem multidisciplinar para ser efetivamente enfrentado. Este trabalho destacou que a presença de medicamentos em corpos d'água resulta de uma combinação de fatores, incluindo práticas inadequadas de descarte, limitações nos processos convencionais de tratamento de efluentes e a ausência de regulamentações específicas para o gerenciamento desses resíduos no contexto doméstico.

Os impactos ambientais e de saúde pública associados a esses resíduos são amplamente reconhecidos, mas a falta de conscientização da população e de políticas públicas robustas ainda são barreiras significativas.

Apesar de mais de 90% dos entrevistados em pesquisas reconhecerem que o descarte inadequado de medicamentos afeta negativamente o meio ambiente e a saúde humana, práticas como o descarte em lixo doméstico ou em vasos sanitários continuam comuns. Isso demonstra a necessidade urgente de campanhas educativas efetivas e de fácil acesso, que conectem o conhecimento teórico com ações práticas.

Do ponto de vista tecnológico, as soluções avançadas como processos oxidativos avançados (POAs), filtração por membranas e bioadsorventes oferecem caminhos promissores, mas ainda enfrentam desafios em termos de custos e infraestrutura. A viabilização dessas tecnologias requer investimentos significativos, incentivos governamentais e parcerias público-privadas. Além disso, a adaptação dessas soluções à realidade de países em desenvolvimento, como o Brasil, é um passo essencial para ampliar sua adoção.

O modelo de responsabilidade compartilhada, previsto em legislações como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, é fundamental para a mitigação do problema. Indústrias farmacêuticas devem ampliar iniciativas de logística reversa, incluindo programas de coleta em farmácias e pontos estratégicos. O governo, por sua vez, precisa assumir um papel ativo na regulamentação e fiscalização, além de promover incentivos econômicos para indústrias e consumidores que

adotem práticas mais sustentáveis.
Este estudo conclui que a mitigação eficaz dos impactos causados pelos resíduos farmacêuticos exige uma abordagem integrada com esforços em diversas áreas. É necessário fortalecer as políticas públicas, atualizando e integrando legislações ambientais, sanitárias e de saúde pública para abranger todas as etapas do descarte de medicamentos, inclusive no ambiente doméstico. Também é importante ampliar as campanhas de conscientização para informar a população sobre os danos do descarte inadequado e apresentar alternativas viáveis. Além disso, é fundamental investir no desenvolvimento de tecnologias acessíveis e sustentáveis, alinhadas às realidades locais, para melhorar o tratamento de efluentes.
Por fim, é essencial reconhecer que o enfrentamento dessa questão é um desafio global e interdisciplinar. Somente com a integração entre ciência, tecnologia, políticas públicas e a conscientização da sociedade será possível avançar para um modelo de desenvolvimento sustentável que priorize a saúde humana e a preservação ambiental. Essa integração será crucial para garantir que as futuras gerações tenham acesso a recursos naturais em qualidade e quantidade adequadas para sua sobrevivência e bem-estar.

REFERÊNCIAS

BILA, D.M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. Química. Nova, 2003, v.26 n. 4, pp. 523-530.
CARVALHO, E.V. et. al. Aspectos legais e toxicológicos do descarte de medicamentos. Revista Brasileira de Toxicologia 22, n.1-2 (2009) 1-8. ARTIGO 2

DAUGHTON, C.G. Cradle-to-cradle stewardship of drugs for minimizing their environmental disposition while promoting human health. I. Rationale for and Avenues toward a Green Pharmacy. Environ Health Perspect. 2003. 111:757-74.

DAUGHTON, C.G. Cradle-to-cradle stewardship of drugs for minimizing their environmental disposition while promoting human health. II. Drug disposal, waste reduction, and future directions. Environ Health Perspect. 2003. 111:775-85.

RICHARDSON, M. L.; BOWRON, J. M.; J. Pharm. Pharmacol. 1985, 37, 1.

TERNES, T.A. Occurrence of drugs in Germany sewage treatment plants and rivers. Water Res. 1998. 32:3245-57.