

Plano de amostragem e vigilância de agrotóxicos em água tratada no estado de São Paulo, Brasil

Sampling and monitoring plan for pesticide residues in drinking water in the state of São Paulo, Brazil

Plan de muestreo y vigilancia de pesticidas en aguas tratadas en el estado de São Paulo, Brasil

Denise Piccirillo Barbosa da Veiga <https://orcid.org/0000-0003-0317-245X>¹; Viviane Emi Nakano <https://orcid.org/0000-0003-0726-9291>²; Cibele Nicolaski Pedron <https://orcid.org/0000-0002-4188-3589>²; Janete Alaburda <https://orcid.org/0000-0003-0156-9293>²; Iracema de Albuquerque Kimura <https://orcid.org/0000-0003-0213-6369>²; Adriana Bugno <https://orcid.org/0000-0002-7361-405X>²; José Oscar William Vega Bustillos <https://orcid.org/0000-0002-4712-4057>⁴; Rubens José Mario Junior <https://orcid.org/0000-0002-1074-5482>^{1,3}; Cristiane Maria Tranquillini Rezende <https://orcid.org/0000-0002-6352-3576>³; Geysse Aparecida Cardoso dos Santos <https://orcid.org/0000-0001-8251-5937>^{1,3}; Luís Sérgio Ozório Valentim <https://orcid.org/0000-0002-4296-206X>³

Resumo O Brasil é líder mundial no consumo de agrotóxicos, conforme o relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). O controle e vigilância da água para consumo humano desses contaminantes envolvem responsabilidades dos prestadores de serviços de saneamento e dos órgãos de Vigilância do Sistema Único de Saúde (SUS). O objetivo foi descrever o plano de amostragem de vigilância e os resultados do monitoramento de agrotóxicos em água para consumo humano no estado de São Paulo. De 2020 a 2023, foram selecionados 137 municípios para análise de 91 agrotóxicos, utilizando a técnica de cromatografia líquida associada à espectrometria de massas. A seleção considerou: atividade agrícola no entorno das captações dos sistemas de abastecimento de água, população abastecida, histórico de resíduos em água e alimentos, maior área agrícola, estabelecimentos agrícolas que utilizam agrotóxicos e número de intoxicações exógenas. Todas as amostras apresentaram resultados abaixo dos estabelecidos na Portaria GM/MS 888/2021. Foram detectados com maior frequência no período chuvoso: 2,4-D, Diuron, Tebuconazol, Bentazona e Atrazina. Verificou-se a importância de o monitoramento de vigilância considerar a caracterização do território para definição de período oportuno de coleta.

Palavras-chave Agrotóxicos, Água para consumo humano, Vigilância em saúde

Abstract Brazil is the world leader in pesticide consumption, according to the report from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The control and surveillance of drinking water against these contaminants involves the responsibilities of sanitation service providers and the Surveillance bodies of the Unified Health System (SUS). The objective was to describe the surveillance sampling plan and the results of pesticide monitoring in drinking water in the state of São Paulo. A total of 137 municipalities was selected for analysis of 91 pesticides, using the liquid chromatography technique associated with mass spectrometry between 2020 and 2023. The selection considered agricultural activity around the water supply system catchments, the population supplied, history of residues in water and food, largest agricultural area, agricultural establishments that use pesticides and number of exogenous poisonings. All samples presented results below those established in Ordinance GM/MS 888/2021. Pesticides including 2,4-D, Diuron, Tebuconazole, Bentazone and Atrazine were detected more frequently during the rainy season. The conclusion drawn is that it is important for surveillance monitoring to consider the characterization of the territory to define an opportune collection period.

Key words Pesticides, Drinking water, Health surveillance

Resumen Brasil es líder mundial en consumo de plaguicidas, según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El control y la vigilancia de estos contaminantes en el agua potable involucran las responsabilidades de los prestadores de servicios de saneamiento y las agencias de vigilancia del Sistema Único de Salud (SUS). El objetivo fue describir el plan de muestreo de vigilancia y los resultados del monitoreo de plaguicidas en agua potable en el estado de São Paulo. De 2020 a 2023, se seleccionaron 137 municipios para el análisis de 91 plaguicidas, mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas. La selección consideró la actividad agrícola en las proximidades de las tomas del sistema de abastecimiento de agua, la población servida, el historial de residuos en agua y alimentos, la mayor área agrícola, los establecimientos agrícolas que utilizan plaguicidas y el número de intoxicaciones exógenas. Todas las muestras mostraron resultados por debajo de los establecidos en la Ordenanza GM/MS 888/2021. Los siguientes plaguicidas se detectaron con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias: 2,4-D, diurón, tebuconazol, bentazona y atrazina. Es importante que el monitoreo considere la caracterización del territorio para definir el período oportuno de recolección.

Palabras clave Plaguicidas, Agua potable, Vigilancia sanitaria

¹ Núcleo de Pesquisa em Avaliação de Riscos Ambientais, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. Av. Dr. Arnaldo 715, Cerqueira César. 01246-904 São Paulo SP Brasil. denisepiccirillo@gmail.com

² Instituto Adolfo Lutz, Coordenadoria de Controle de Doenças, Secretaria de Estado da Saúde. São Paulo SP Brasil.

³ Centro de Vigilância Sanitária, Coordenadoria de Controle de Doenças, Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. São Paulo SP Brasil.

⁴ Centro de Química e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. São Paulo SP Brasil.

Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO)¹, o consumo global de agrotóxicos em 2021 foi de 3,54 milhões de toneladas de ingredientes ativos. O Brasil alcançou a primeira posição no *ranking* com 720 mil toneladas comercializadas, 60% superior ao dos Estados Unidos, o segundo maior consumidor, seguido de Indonésia, China e Argentina¹. De acordo com os dados do Ibama², os maiores volumes de venda no território nacional concentram-se nos estados de Mato Grosso (176 mil toneladas), São Paulo (99 mil toneladas) e Paraná (76 mil toneladas).

O uso excessivo e indiscriminado de agrotóxicos na agricultura é uma das principais fontes de contaminação ambiental do solo, do ar e da água³⁻⁵. A depender das características ambientais das substâncias, elas podem alcançar mananciais de abastecimento público tanto de captação superficial quanto subterrânea⁶. O consumo de água contaminada por agrotóxicos é uma importante via de exposição humana e tem sido associado a desfechos de saúde como malformações congênitas e transtornos neurológicos e cognitivos⁷⁻⁹.

No Brasil, o controle e a vigilância da água para consumo humano envolvem responsabilidades dos prestadores de serviços de saneamento e dos órgãos de vigilância (municipal, estadual e federal) inscritos no Sistema Único de Saúde (SUS), nos termos definidos na Lei Orgânica da Saúde¹⁰, da Instrução Normativa 01/SVS de 2005¹¹ e da Portaria Nacional de Potabilidade da Água, GM/MS 888/2021¹².

O monitoramento de agrotóxicos na água para consumo humano no Brasil teve início na década de 1970, com a inclusão progressiva de novos parâmetros e valores máximos permitidos (VMP) em cada atualização das normas de potabilidade¹³. Atualmente, a Portaria GM/MS 888/2021¹², que alterou o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS 5/2017¹⁴, estabelece VMP para 54 ingredientes ativos de agrotóxicos, não prevendo limites para a combinação entre diferentes compostos.

Desde a implantação do Programa de Vigilância da Qualidade da Água (Proagua) em 1992, ocorreram avanços nas ações sanitárias, contudo, o desenvolvimento econômico, acompanhado da intensificação do uso e ocupação do solo, trouxe impactos significativos na qualidade dos mananciais de abastecimento público. Os contextos diferenciados de produção e consumo

de água e de risco à saúde devem se refletir no modo como o poder público se organiza frente a esses desafios¹⁵.

Ainda que São Paulo tenha uma economia predominante do setor de serviços e indústria¹⁶, a atividade agropecuária tem papel relevante no desenvolvimento do estado, sendo o maior produtor de cana-de-açúcar e citros do país e o segundo maior consumidor de agrotóxicos². É nesse contexto que os responsáveis pelos 14.343 pontos de captação de água para consumo humano no estado¹⁷ devem monitorar semestralmente resíduos de agrotóxicos na água considerando as características e a sazonalidade do plantio e os períodos de aplicação de agrotóxicos, conforme prevê a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano^{12,18}.

Como o Brasil não dispõe de sistema de informação sistematizado sobre o uso e a aplicação de agrotóxicos, a definição de período de maior risco para esse tipo de contaminação é um dos principais desafios enfrentados pelos responsáveis pelo abastecimento de água e pelos órgãos de vigilância. A partir de 2020, o Centro de Vigilância Sanitária (CVS) e o Instituto Adolfo Lutz (IAL), ambos da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo, realizaram estudos para definir os critérios de amostragem e incluir as análises de resíduos de agrotóxicos no programa estadual de monitoramento de vigilância da qualidade da água de consumo humano.

Em vista disto, são apresentadas as metodologias utilizadas para elaboração do plano de amostragem de vigilância e os resultados das análises de resíduos de agrotóxicos em água para consumo humano de 137 municípios do estado de São Paulo entre 2020 a 2023.

Métodos

Amostragem

De 2020 a 2023, a partir de diretrizes do CVS, foram coletadas pelas vigilâncias municipais 277 amostras de água tratada para consumo humano, procedentes de 137 municípios do estado de São Paulo.

Os municípios selecionados foram aqueles que apresentavam atividade agrícola no entorno dos pontos de captação de sistemas de abastecimento de água (SAA), maior população abastecida, histórico de resíduos em água para consumo humano e em alimentos, maior área

agrícola, volume aplicado, percentual de estabelecimentos agrícolas que utilizam agrotóxicos e número de intoxicações exógenas¹⁹.

A seleção dos municípios seguiu os requisitos do artigo 44 da Portaria GM/MS 888/2021, que define os requisitos para a amostragem. Os planos foram pactuados pelo CVS com as instâncias regionais de vigilância sanitária (GVS), vigilâncias municipais e o IAL.

As amostras foram todas analisadas pela unidade central do IAL, localizada na capital paulista. Dessas amostras, 197 eram provenientes de mananciais superficiais e 80 de captações subterrâneas.

Plano amostral

Período de 2020-2021

Inicialmente, foi elaborado um projeto-piloto com os municípios selecionados a partir da avaliação da simulação hidrológica¹³ e dos resultados das análises de resíduos de agrotóxicos anteriormente obtidos dos SAA¹⁷. Foram feitas coletas de amostras de água provenientes de SAA de municípios localizados na Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê, abrangendo os grupos estaduais de vigilância sanitária (GVS) de Sorocaba e de Botucatu.

O plano de amostragem foi dividido em dois períodos: seco (julho, agosto e setembro/2020) e chuvoso (dezembro, fevereiro e março/2020-2021). Foram selecionados nove municípios para as coletas, oito de captação superficial e um subterrânea. As amostras de água foram coletadas na saída do tratamento das estações.

Ampliando o projeto-piloto, em 2021 foram incluídos os municípios da regional de São João da Boa Vista, levando em conta o número de pontos de captação de água superficial de abastecimento com intensa atividade agrícola, irrigação à montante, histórico de uso de agrotóxicos e resultados das análises das empresas responsáveis pelo abastecimento público no período de 2014 a 2020. Contemplando dez municípios dessa região, foram previstas três coletas no período de chuva (meses de fevereiro e março) e três no de estiagem (julho, agosto e setembro).

Período 2022-2023

Em 2022, o projeto ganhou maior escala ao contemplar 50 municípios elencados como prioritários para a Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Agrotóxicos (VSPEA). A priorização considerou as características do território

paulista e na avaliação de cenários de risco de exposição aos agrotóxicos a partir de dados referentes a produção agrícola, pulverização aérea, resíduos de agrotóxicos em água para consumo humano e alimentos, bem como intoxicações exógenas¹⁹. Foram previstas duas coletas anuais, uma no período seco e outra no período chuvoso, para cada município. As coletas contemplaram amostras de água tratada em SAA.

Para 2023, os GVS selecionaram 76 municípios prioritários, onde havia evidências de maior vulnerabilidade dos pontos de captação de água para consumo humano à contaminação por agrotóxicos, eleitos a partir das seguintes variáveis: 1) pontos de captação dos SAA com ocupação agrícola no entorno; 2) manancial superficial ou sistema que abastece maior número de pessoas; e 3) frequência de pulverização aérea. Desses municípios, 57 (75%) registraram práticas de pulverização aérea de agrotóxicos entre 2013-2018²⁰, com maior frequência no período de outubro a maio. De modo diverso das amostragens anteriores, as coletas anuais para cada município foram previstas para o período chuvoso. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos municípios contemplados com coletas de água para análises de vigilância de resíduos de agrotóxicos.

Coletas

As coletas das amostras de água dos SAA ocorreram em pontos localizados na saída do tratamento. Em alguns casos, a coleta se deu em cavaletes da rede de distribuição, contemplando mananciais de captação superficiais e subterrâneos. O kit para as coletas foi composto por caixa de isopor com dois frascos de vidro âmbar de 500 mL para análise em duplicata, gelo reciclável, preservante e orientações para o procedimento de coleta elaborado pelo CVS e pelo IAL. A entrega foi feita para os GVS, que distribuíram aos municípios participantes.

As amostras foram coletadas pelas vigilâncias municipais, armazenadas e transportadas à 4° C com preservante, com prazos estabelecidos de 48 horas a partir do momento da coleta para a análise em laboratório, de modo a reduzir a atividade microbiana e a degradação dos resíduos de agrotóxicos.

Metodologia analítica

Para as análises, foram utilizados 91 padrões certificados de agrotóxicos. A escolha dos

Tabela 1. Cronograma das coletas de água para consumo humano realizadas no período 2020 a 2023 por Grupo Regional de Vigilância Sanitária.

GVS	Número de Municípios	Número de amostras						
		2020		2021		2022		2023
		Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Chuvoso
Sorocaba	11	27	8		19	4	4	2
São João do Boa Vista	10			25	26	2	1	1
Araçatuba	10					6	6	4
Araraquara	10					2	2	8
Assis	4					4	4	
Barretos	3					1	2	
Bauru	3					3	3	
Botucatu	12					3	3	9
Franca	4					4	4	
Itapeva	1					1	1	
Marília	11					2	2	11
Piracicaba	10						1	9
Presidente Prudente	2					1	1	1
Presidente Venceslau	10					2	2	8
Ribeirão Preto	8					7	8	
São José do Rio Preto	3					3	3	
São Paulo	1					1	1	1
Mogi das Cruzes	6							6
Campinas	9							9
Taubaté	9							9
Número de amostras			35		70		94	78
Total	137							277

Fonte: Autores.

compostos baseou-se no histórico de uso e na frequência de aplicação nas culturas, e incluíram fungicidas, inseticidas e herbicidas, entre outros. Para a identificação e quantificação dos agrotóxicos, foi utilizado sistema de cromatografia a líquido de ultra eficiência acoplado a analisador de massas de alta resolução (Exactive Plus Orbitrap™ Thermo Scientific), e a avaliação de desempenho e os critérios de aceitação foram baseados no que é descrito no protocolo da SANTE 11.312/2021²¹ e na Portaria GM/MS 888/2021¹².

Resultados e discussão

O processo de priorização dos municípios para elaborar o Plano de Amostragem, conforme prevê o artigo 44 da Portaria GM/MS 888/2021, apresentou desafios, sobretudo devido à ausência de informação referente ao uso e à aplicação de agrotóxicos no território. Após o processo de sistematização de informações disponíveis em bases como IBGE, Sisagua/MS, Sinan/MS, en-

tre outras, foram selecionados 137 municípios de 20 regionais (GVS) do estado de São Paulo, totalizando 277 amostras de água tratada.

As análises foram feitas no IAL pela técnica de cromatografia associada à espectrometria de massas. Na metodologia para o atendimento dos parâmetros do Anexo XX da Portaria GM/MS 5/2017, os limites de detecção (LD), definidos como as menores concentrações dos analitos que podem ser detectadas, mas não necessariamente quantificadas, e os de quantificação (LQ), definidos como as menores concentrações dos analitos determinadas para quantificação com precisão e exatidão aceitáveis, variaram de 0,13 a 4,24 µg L⁻¹ e de 0,42 a 14 µg L⁻¹, respectivamente, para 85 ingredientes ativos. Com a alteração para a Portaria GM/MS 888 que passou a vigorar em 4 de maio de 2021, a metodologia de análise foi validada para a faixa do LD de 0,04 a 4,85 µg L⁻¹ e a do LQ de 0,13 a 16 µg L⁻¹ para 91 ingredientes ativos.

No período de 2020-2023, foram detectados resíduos de agrotóxicos em 12 (13%) dos 137 municípios amostrados e em 13 (4,7%) das 277

amostras de água para consumo humano coletadas de SAA. Todos os resultados estavam em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos no Anexo XX da Portaria GM/MS 5/2017 e na Portaria GM/MS 888/2021^{12,14} (Tabela 2).

Não foram detectados mais de um ingrediente ativo na mesma amostra. No entanto, em um mesmo município, foram observadas duas detecções. Das sete coletas, o composto Atrazina foi encontrado abaixo do LQ para uma amostra, e em outra na concentração de $0,47 \mu\text{g L}^{-1}$, abaixo do VMP de $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$. Esse agrotóxico é registrado para uso na cana-de-açúcar²², que é a principal cultura do município, correspondente a 79,7% de sua produção agropecuária¹⁶. A Figura 1 apresenta a distribuição dos resultados detectados para o período 2020-2023.

A maior frequência de detecção ocorreu entre dezembro e abril. Esse período corresponde à época de aplicação dos agrotóxicos²⁰ e coincide também com os maiores índices pluviométricos, podendo ocorrer, por consequência,

lixiviação e escoamento superficial. Essa maior detecção em período chuvoso foi também observada em estudos realizados por De Armas *et al.*²³, Delgado-Moreno *et al.*²⁴, CETESB²⁵ e Halbach *et al.*²⁶ A Figura 2 apresenta a distribuição mensal das coletas e seus respectivos resultados.

Das 13 detecções, duas foram de amostras de captação subterrânea, e em ambas foi encontrado o composto Bentazona, com valores abaixo do LQ. Trata-se de um herbicida que teve 1,2 mil toneladas vendidas no estado de São Paulo em 2022², com uso indicado para diversas culturas, como a do amendoim²², cuja cultura representa 45,5% do setor agrícola de um dos municípios onde foi encontrado o composto¹⁶ (Tabela 2).

O composto Bentazona é altamente solúvel em água, muito resistente à hidrólise e tem baixos valores de coeficiente de adsorção²⁷. Portanto, tem elevada mobilidade no solo e pode ser suscetível à lixiviação e permear o solo através de fissuras para o aquífero subjacente. Uma vez fora da zona de ação biológica, não existe

Tabela 2. Agrotóxicos detectados nas análises de resíduos de agrotóxicos no período de 2020 a 2023.

Ingrediente ativo	Agrotóxicos encontrados (277 amostras)				
	Atrazina	Bentazona	2,4-D	Diuron	Tebuconazol
Classe ²²	Herbicida	Herbicida	Herbicida	Herbicida	Fungicida
Comercialização de produtos formulados no Brasil em 2022 (toneladas) ²	47,7 mil	1,2 mil	65,4 mil	6,02 mil	7,46 mil
Comercialização do ingrediente ativo no estado de São Paulo em 2022 (toneladas) ²	4,5 mil	113	7,3 mil	2,5 mil	609
Principais Culturas de uso permitido ²²	Abacaxi, cana-de-açúcar, milho, milheto, soja e sorgo	Amendoim, arroz, aveia, cevada, feijão, milho, soja e trigo	Algodão, arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, centeio, cevada, citros, milheto, milho, soja, sorgo, trigo e triticale	Abacaxi, alfafa, algodão, amendoim, banana, cacau, café, cana-de-açúcar, citros, coco, dendê, mandioca, milho, palma forrageira, soja, trigo, uva	Cana-de-açúcar, soja, laranja, milho, café, tomate, amendoim, banana, limão e batata*
Local da coleta	ST/SUP	ST/SUB	ST/SUP	ST/SUP	ST/SUP
Período da coleta	Chuvoso, Seco	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
Número de detecções	8	2	1	1	1
Concentrações obtidas ($\mu\text{g L}^{-1}$)	< LQ a $0,47 \mu\text{g L}^{-1}$	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
LD do método ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,13	0,04	3,03	0,24	0,19
LQ do método ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,42	0,13	10,0	0,80	0,64
VMP ($\mu\text{g L}^{-1}$) ¹²	2,0 (mais metabólitos)	-	30	20	180

Fonte: Autores.

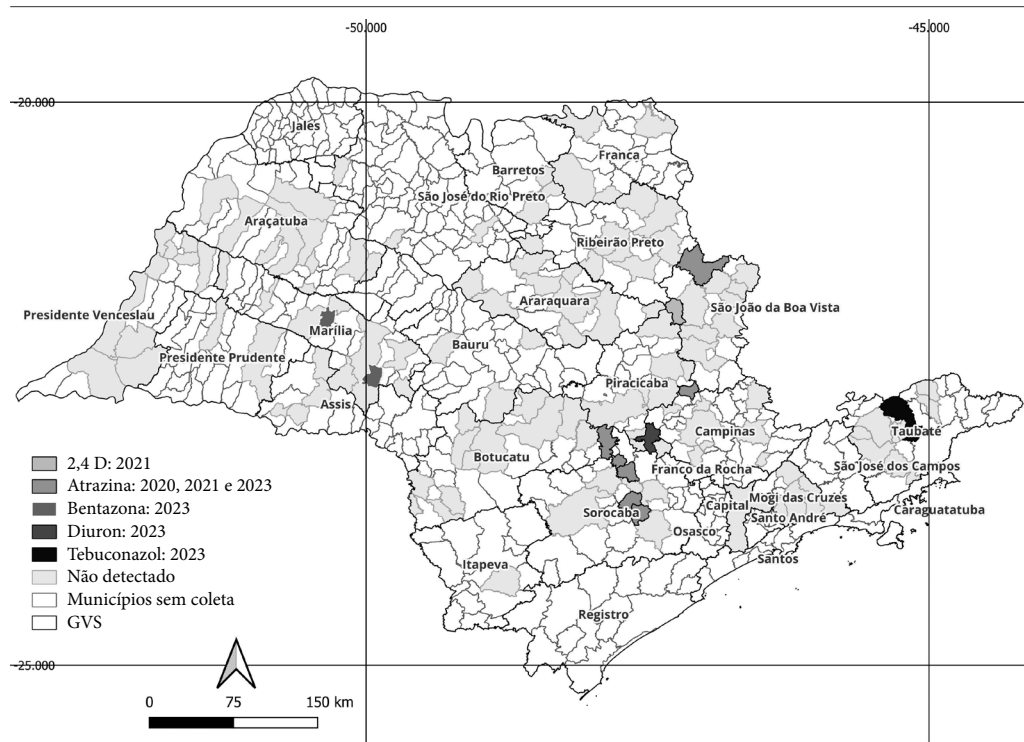


Figura 1. Distribuição dos resultados das análises de vigilância de agrotóxicos em água para consumo humano no Estado de São Paulo de 2020 a 2023.

Fonte: Autores.

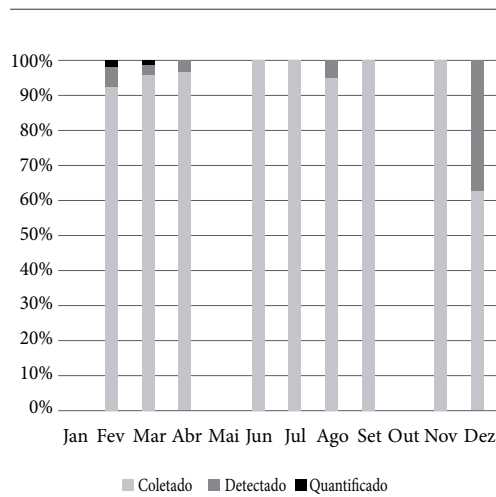


Figura 2. Distribuição mensal das coletas e resultados obtidos no período de 2020 a 2023.

Fonte: Autores.

qualquer mecanismo abiótico para a sua degradação. Nestas circunstâncias, pode ocorrer a contaminação das águas subterrâneas em alta

prevalência²⁷. Embora não conste na Portaria GM/MS 888/2021, as Guidelines da Organização Mundial da Saúde apresentam como valor de referência 0,5 mg L⁻¹ para saúde²⁸. A Resolução CONAMA 396/2009²⁹ define para águas subterrâneas o seu valor máximo de 30 µg L⁻¹.

O herbicida Atrazina foi o mais encontrado, correspondendo a 62% das detecções. Das oito amostras de água para consumo humano, seis estavam com valores abaixo do LQ e duas quantificadas abaixo do VMP. A Atrazina está registrada para formulação de 3.377 produtos³⁰, parte deles amplamente utilizados no estado, com comercialização de 4,5 mil toneladas em 2022². Sua aplicação é autorizada, entre outras culturas, para abacaxi, cana-de-açúcar, milho, milheto, soja e sorgo²². Os resultados coincidem com as principais culturas dos respectivos municípios, tais como milho, soja e cana-de-açúcar, cujas produções chegam a representar 81,3% da produção agrícola¹⁶. A Atrazina também é um dos agrotóxicos com maior frequência de detecção nas análises feitas pelos SAA em todo o país^{31,32}. A preocupação do setor de saúde com esse princípio ativo resultou na obrigatoriedade

de monitoramento também dos seus metabólitos a partir de 2021¹².

Outros compostos encontrados foram os herbicidas Diuron e 2,4-D, este o segundo mais comercializado no Brasil², além do fungicida Tebuconazol, que é autorizado para 86 culturas²². Todos eles têm uso permitido para as cinco principais culturas do estado de São Paulo: cana-de-açúcar, soja, laranja, milho e café^{22,33} (Tabela 2). O 2,4-D foi encontrado em um município cuja produção de cana-de-açúcar representa 74,6% da sua produção agrícola, e o Diuron, 94,2% para essa mesma cultura¹⁶.

A Figura 3 apresenta as características ambientais e toxicológicas (índice ToxPI) dos ingredientes ativos detectados. Todos apresentam toxicidade, carcinogenicidade e interferência endócrina como importantes características toxicológicas. O índice de prioridade toxicológica ToxPI GUI (Toxicological Priority Index Graphical User Interface) foi desenvolvido por Reif *et al.*³⁴. É uma ferramenta que possibilita a integração de evidências de exposição e seus efeitos por múltiplas variáveis para a criação de um índice de priorização relativo ao conjunto específico de substâncias e permite uma visualização dos critérios que facilita a compreensão dos resultados pelo avaliador²⁰.

Os compostos encontrados têm sido reportados em diversas pesquisas no Brasil e em outros países. A Atrazina foi um dos mais encontrados em águas subterrâneas por Grondona *et al.*³⁵, que avaliaram trabalhos publicados entre 1998 e 2020. Em Woolf *et al.*³⁶, em análises de 1.204 poços perfurados nos EUA, a Atrazina também se destacou. O mesmo foi reportado por Vera-Candioti *et al.*³⁷, que avaliaram a ocorrência de agrotóxicos em 103 amostras de águas superficiais e subterrâneas na região dos Pampas da Argentina e encontrou esse composto em todas as oito zonas agrícolas avaliadas, com maiores detecções em águas subterrâneas (26 amostras).

No Brasil, Dias *et al.*³² fizeram uma revisão bibliográfica do período de 2000-2017 para verificar a ocorrência da Atrazina em águas tratadas do país, e sua presença foi observada nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso. Os autores também realizaram levantamento de resultados em publicações científicas, entre 2012-2019, de águas superficiais em vários países e a Atrazina foi detectada como o herbicida mais frequente, e dos fungicidas, o Tebuconazol. Em outra revisão, conduzida por De Araújo *et al.*³⁸, foram analisados 146 artigos científicos publicados

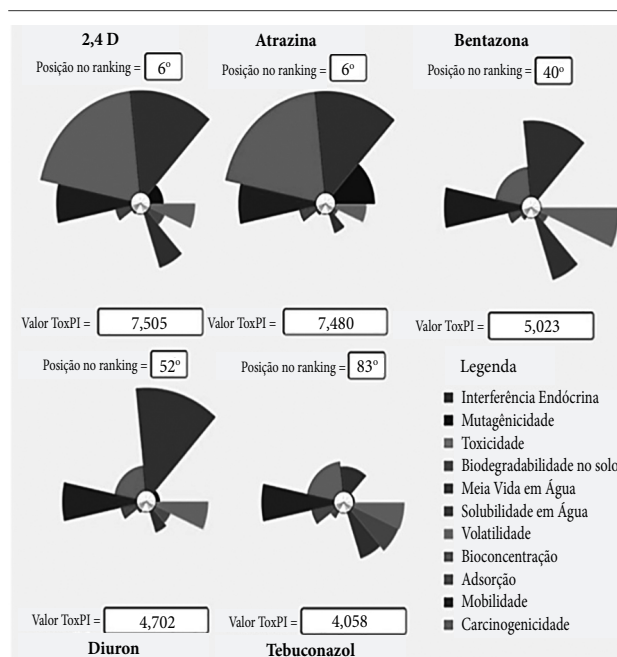


Figura 3. Características ambientais e toxicológicas (índice ToxPI) dos agrotóxicos detectados.

Fonte: Ariadne, 2018.

entre 1976 e 2021, e a Atrazina, além de ser o agrotóxico com maior frequência de análises (56% dos trabalhos), foi a mais detectada entre os compostos com maiores concentrações, juntamente com a Bentazona, em amostras coletadas nos EUA, Turquia, Espanha e Brasil.

No estado de São Paulo, a CETESB apresentou um diagnóstico da contaminação de 166 pontos em águas superficiais e subterrâneas²⁵. Dos 42 agrotóxicos pesquisados, a Atrazina e o Diuron foram observados em diversos pontos do estado. O Diuron esteve presente em mais de 80% das amostras de águas superficiais, e o 2,4-D foi detectado com a maior concentração, acima de critérios das referências nacionais e internacionais para proteção da vida aquática.

Em um monitoramento de águas superficiais na China, observou-se 83 dos 114 ativos analisados e a Bentazona foi detectada em todas as 208 amostras³⁹. No Japão, Kamata *et al.*⁴⁰ investigaram a ocorrência, entre 2012 e 2017, de 162 agrotóxicos em 14.076 amostras de água potável, tratada ou de nascentes, monitorados pelas 12 principais concessionárias de abastecimento, e a Bentazona foi o herbicida mais presente, em 52% das amostras de água de nascentes e em 24% de água tratada.

Caldas *et al.*⁴¹ avaliaram por quatro anos a qualidade da água tratada no Sul do Brasil. No estudo, a Atrazina foi detectada em mais de 50% das amostras, o Tebuconazol em mais de 80% e o Diuron em 35%. Este último foi um dos compostos com maior número de ocorrências em uma bacia hidrográfica para abastecimento público do Rio Grande do Sul⁴². Na Espanha, em estudo de Rico *et al.*⁴³, que analisaram 430 compostos, foram observadas concentrações de Diuron acima de 0,1 µg L⁻¹.

Oltramare *et al.*⁴⁴ reportaram que o 2,4-D excedeu o valor de 1 µg L⁻¹ em dez pontos de uma bacia hidrográfica agrícola em Uganda. Halbach *et al.*²⁶ avaliaram a contaminação por agrotóxicos em 103 cursos de água na Alemanha. Os autores investigaram 76 compostos de inseticidas, herbicidas e fungicidas e 32 metabólitos durante a estação mais seca (480 amostras) e durante a mais chuvosa (335 amostras), observando que o Tebuconazol esteve entre os compostos com maiores medianas. O estudo indicou que o 2,4-D apresentou concentrações muito mais elevadas durante a estação chuvosa.

Os resultados encontrados neste estudo demonstram a importância do monitoramento de vigilância de modo complementar ao do controle executado pelas empresas de abastecimento de água. As análises de vigilância têm o potencial de produção de evidências para melhor direcionamento dos planos de amostragem das empresas de saneamento. Dessa forma, é fundamental que, tanto os órgãos governamentais quanto as empresas de saneamento realizem a caracterização do território conforme previsto nas Diretrizes de Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Agrotóxicos¹⁴, de modo a identificar os fatores de riscos e vulnerabilidades para esse tipo de contaminação.

A partir de diferentes estratégias de cronograma, foi possível concluir que o período mais adequado para coleta de amostras de água para análise de agrotóxicos corresponde aos meses de outubro a abril, período com histórico de maiores volumes de chuva e, por conseguinte, maior risco de escoamento de agrotóxicos para os mananciais. Contudo, o detalhamento do período de aplicação mais intensa de agrotóxicos na bacia hidrográfica pode orientar o calendário ideal para amostragem de agrotóxicos em água para consumo humano, conforme previsto na Portaria GM/MS 888/2021.

Nesse sentido, na ausência de dados disponíveis para as vigilâncias e para os prestadores de serviço de abastecimento de água, é fundamental o mapeamento da bacia de captação de água para consumo humano, bem como a articulação com a Defesa Agropecuária para a identificação dos ingredientes ativos mais utilizados e dos períodos de aplicação para o planejamento de coleta em tempo oportuno.

A identificação de agrotóxicos em água para consumo humano, embora dentro dos valores de potabilidade estabelecidos pela legislação, evidencia que os produtos utilizados nas culturas agrícolas próximas aos mananciais podem atingir os pontos de captação de água para abastecimento público com riscos de interferências na potabilidade.

Nesse sentido, as intervenções necessárias para a proteção dos mananciais ultrapassam a governabilidade do setor de saúde. Dessa forma, é fundamental a gestão integrada das bacias hidrográficas para garantir boas práticas agrícolas, a recuperação e proteção das Áreas de Preservação Permanente, para redução dos riscos de contaminação dos mananciais, e a segurança da água de consumo humano.

Conclusão

O processo de elaboração do plano de amostragem, conforme previsto na Portaria GM/MS 888/2021, evidenciou os desafios desse planejamento quando não há informações de uso e aplicação de agrotóxicos disponíveis, sendo necessário que o setor de saúde sistematize informações de diversos outros setores, buscando compor a caracterização do território e a identificação de fatores de risco.

As análises de agrotóxicos do Programa de Monitoramento de Vigilância da Qualidade da Água de Consumo Humano no Estado de São Paulo foram significativas para aprimorar o conhecimento desses contaminantes nos principais mananciais de abastecimento público. Os resultados são importantes para subsidiar as vigilâncias municipais e estadual na aprovação dos planos de amostragem dos responsáveis de SAA para a condução de ações integradas com o meio ambiente e a agricultura, além da preservação dos mananciais de abastecimento público, da adoção de boas práticas na agricultura, do gerenciamento dos riscos e da prevenção à saúde.

Colaboradores

DP Barbosa: concepção, planejamento, elaboração do plano de amostragem e definição dos municípios, interpretação dos dados, revisão bibliográfica, redação do trabalho, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. VE Nakano: concepção, planejamento, análises laboratoriais, interpretação dos dados, revisão bibliográfica, redação do trabalho, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. CN Pedron: planejamento e análises laboratoriais, interpretação dos dados, revisão bibliográfica, redação do trabalho, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. J Alaburda: concepção, gestão do planejamento e análises laboratoriais, interpretação dos dados, redação do trabalho, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. IA Kimura: gestão do planejamento e análises laboratoriais, revisão

crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. A Bugno: gestão das análises laboratoriais, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. JOW Veja: gestão do planejamento e análises laboratoriais, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. RJ Mario Junior: planejamento, elaboração do plano de amostragem e definição dos municípios, interpretação dos dados, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. CMT Rezende: planejamento, elaboração do plano de amostragem e definição dos municípios, interpretação dos dados, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. GAC Santos: interpretação dos dados, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito. LSO Valentim: gestão do planejamento e do plano de amostragem e definição dos municípios, revisão crítica do conteúdo e aprovação da versão final do manuscrito.

Agradecimentos

À CGLAB/MS – Fiocruz, pelo auxílio do fornecimento de insumos, solventes e padrões. Ao Centro de Vigilância Sanitária pela aquisição dos insumos de coleta, sistematização dos dados e definição dos pontos de coleta. Aos GVS pela construção conjunta na elaboração do plano de amostragem e às vigilâncias municipais pelo cuidado e execução das coletas das amostras. Ao Núcleo de Gerenciamento de Amostras do IAL pela recepção e controle das amostras. Ao Núcleo de Contaminantes Orgânicos do IAL pelo apoio laboratorial.

Declaração de disponibilidade de dados

As fontes de dados utilizados na pesquisa estão indicadas no corpo do artigo.

Referências

- Food and Agriculture Organization (FAO). *Pesticides use and trade 1990-2021*. Rome: FAO; 2023.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Relatórios de comercialização de agrotóxicos [Internet]. [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>
- Linhart C, Niedrist GH, Nagler M, Nagrani R, Temml V, Bardelli T, Fennell S, Knauer K, Schaller J, Kandelbauer A, Schermer M. Pesticide contamination and associated risk factors at public playgrounds near intensively managed apple and wine orchards. *Environ Sci Eur* 2019; 31(28):1-16.
- Huang F, Li Z, Zhang C, Habumugisha T, Liu F, Luo X. Pesticides in the typical agricultural groundwater in Songnen plain, northeast China: occurrence, spatial distribution and health risks. *Environ Geochem Health* 2019; 41:2681-2695.
- Castro Lima JAM, Labanowski J, Bastos MC, Zanella R, Prestes OD, Vargas JPR, Silva AF, Moraes L. “Modern agriculture” transfers many pesticides to watercourses: a case study of a representative rural catchment of southern Brazil. *Environ Sci Pollut Res* 2020; 27(10):10581-10598.
- Syafrudin M, Kristanti RA, Yuniarto A, Hadibarata T, Rhee J, AlOnazi WA, Algarni TS, Alfakeer M, Kusumawati H. Pesticides in drinking water: a review. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18(2):468.
- Fang J, Liu H, Zhao H, Wong M, Xu S, Cai Z. Association of prenatal exposure to organochlorine pesticides and birth size. *Sci Total Environ* 2019; 654:678-683.
- Pascale A, Laborde A. Impact of pesticide exposure in childhood. *Rev Environ Health* 2020; 35(3):221-227.
- Almberg K, Turyk M, Jones R, Rankin K, Freels S, Stayner L. Atrazine contamination of drinking water and adverse birth outcomes in community water systems with elevated atrazine in Ohio, 2006-2008. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15(9):1889.
- Brasil. Presidência da República. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. *Diário Oficial União* 1990; 20 set.
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). Instrução Normativa nº 1, de 7 de março de 2005. Regulamenta a Portaria nº 1.172/2004/GM, no que se refere às competências da União, estados, municípios e Distrito Federal na área de vigilância em saúde ambiental. *Diário Oficial da União* 2005; 8 mar.
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União* 2021; 5 maio.
- Veiga DPB. *Modelagem hidrológica aplicada ao monitoramento de agrotóxicos e à vigilância da água de abastecimento público* [tese]. São Paulo: USP; 2021.
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde – Anexo XX: Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; Anexo 7: Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde [Internet]. 2017 [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudeflegis/gm/2017/MatizesConsolidacao/Matriz-5-Programas.html>
- Valentim LSO, Elmec AM, Mario Junior RJ, Bataiero MO. Novos cenários de produção e de vigilância da qualidade da água para consumo humano: 20 anos de Proagua no estado de São Paulo – Parte I. *Bol Epidemiol Paul* 2012; 9:43-53
- Fundação SEADE – Sistema Estadual de Análise de Dados. SEADE – Municípios 2021 [Internet]. 2021 [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://municipios.seade.gov.br/>
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). Painel de Indicadores Semestral: Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) [Internet]. [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano*. Brasília; 2016.
- São Paulo. Secretaria de Estado da Saúde. Boletim da Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos do Estado de São Paulo [Internet]. 2021 [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: https://cvs.saude.sp.gov.br/zip/BOLETIM_VSPEA_2021.pdf
- Núcleo de Pesquisas em Avaliação de Riscos Ambientais da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (NARAFSP/USP). Ariadne – Sistema de Informação sobre Agrotóxicos [Internet]. 2020 [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://www.fsp.usp.br/nara/ariadne>
- European Commission (EC). Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed [Internet]. 2021 [cited 2024 jul 16]. Available from: https://www.eurl-pesticides.eu/userfiles/file/EurlALL/SAN-TE_11312_2021.pdf
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Monografias de agrotóxicos [Internet]. [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acesoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos>
- Armas ED, Monteiro RTR, Antunes PM, Santos MAPE, Camargo PB, Abakerli RB. Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. *Quim Nova* 2007; 30(5):1119-1127.

24. DelgadoMoreno L, Lin K, VeigaNascimento R, Gan J. Occurrence and toxicity of three classes of insecticides in water and sediment in two southern California coastal watersheds. *J Agric Food Chem* 2011; 59(17):9448-9456.
25. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Diagnóstico da contaminação de águas superficiais, subterrâneas e sedimentos por agrotóxicos [Internet]. 2019 [acessado jul 16 2024]. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/Relatorio-Agrot%C3%B3xicos_28_11_2019_Conclu%C3%ADdo_PDF-1.pdf
26. Halbach K, Moder M, Schrader S, Liebmann L, Schaffer RB, Schneeweiss A, Jansen M, Hollert H. Small streams—large concentrations? Pesticide monitoring in small agricultural streams in Germany during dry weather and rainfall. *Water Res* 2021; 203:117535.
27. World Health Organization (WHO). *Bentazone in drinkingwater: background document for development of WHO guidelines for drinkingwater quality*. Geneva: WHO; 2020.
28. World Health Organization (WHO). *Guidelines for drinkingwater quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. Geneva: WHO; 2022.
29. Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MS). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Diário Oficial União* 2008; 7 abr.
30. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Agrofít: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários [Internet]. [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons
31. Rubbo JPZLB, Silva L, Borges G, Lima R, Almeida P. Avaliação dos controles de agrotóxicos na água para consumo humano dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Sul em 2016. *Bol Saude* 2017; 26(1):17-27.
32. Dias ACL, Santos JMB, Santos ASP, Bottrel SEC, Pereira RDO. Ocorrência de atrazina em águas no Brasil e remoção no tratamento da água: revisão bibliográfica. *Rev Int Cienc* 2018; 8(2):149.168.
33. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola [Internet]. 2022. [acessado 2024 jul 16]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>
34. Reif DM, Sypa M, Lock EF, Wright FA, Wilson A, Cathey T, Judson R, Tice RR, Houck K, Richard AM. ToxPi GUI: an interactive visualization tool for transparent integration of data from diverse sources of evidence. *Bioinformatics* 2013; 29(3):402-403.
35. Grondona SI, Lima ML, Massone HE, Miglioranza KSB. Pesticides in aquifers from Latin America and the Caribbean. *Sci Total Environ* 2023; 901:165992.
36. Woolf AD, Stierman BD, Barnett ED, Byron LG, Woolf AD, Stierman BD, Rosen J, King S. Drinking water from private wells and risks to children. *Pediatrics* 2023; 151(2):e2022060644.
37. VeraCandiotti J, Araujo PI, Hueriga IR, Rojas DE, Cristos DS, Malmantile AD. Pesticides detected in surface and groundwater from agroecosystems in the Pampas region of Argentina: occurrence and ecological risk assessment. *Environ Monit Assess* 2021; 193(10):689.
38. Araujo EP, Caldas ED, OliveiraFilho EC. Pesticides in surface freshwater: a critical review. *Environ Monit Assess* 2022; 194(6):452.
39. Wang T, Zhong M, Lu M, Xu D, Xue Y, Huang J, Wu L, Zhang Y. Occurrence, spatiotemporal distribution, and risk assessment of current-use pesticides in surface water: a case study near Taihu Lake, China. *Sci Total Environ* 2021; 782:146826.
40. Kamata M, Matsui Y, Asami M. National trends in pesticides in drinking water and water sources in Japan. *Sci Total Environ* 2020; 744:140930.
41. Caldas S, Arias J, Rombaldi C, Mello L, Cerqueira M, Martins A, Silva P, Rosa G. Occurrence of pesticides and PPCPs in surface and drinking water in southern Brazil: data from 4-year monitoring. *J Braz Chem Soc* 2018; 30(1):71-80.
42. Peresin D, Bortolin TA, Chiarelo M, Moura Silva S, Magro TD, Menegat D, Lopes FR, Oliveira RB. Analysis of the concentration of pesticides in a watershed for public water supply in Brazil. *Sustain Water Resour Manag* 2023; 9(2):57.
43. Rico A, ArenasSánchez A, AlonsoAlonso C, LopezHeras I, Nozal L, RivasTabares D, Jurado A, PérezAlonso M, Burgos M. Identification of contaminants of concern in the upper Tagus river basin (central Spain). Part 1: screening, quantitative analysis and comparison of sampling methods. *Sci Total Environ* 2019; 666:1058-1070.
44. Oltramare C, Weiss FT, Staudacher P, Kibirango O, Atuhairé A, Stamm C, NshakiraRukundo E. Pesticides monitoring in surface water of a subsistence agricultural catchment in Uganda using passive samplers. *Environ Sci Pollut Res* 2022; 30(4):10312-10328.

Artigo apresentado em 02/10/2024

Aprovado em 03/12/2024

Versão final apresentada em 05/12/2024

Editores-chefes: Maria Cecília de Souza Minayo, Romeu Gomes, Antônio Augusto Moura da Silva, Vania de Matos Fonseca