

Agrotóxicos em águas superficiais e subterrâneas em uma região produtora de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das grandes consumidoras de agrotóxicos no Brasil, e o avanço do agronegócio tem intensificado o consumo desses agentes. Esses biocidas podem causar danos ao ambiente, com efeitos ecotoxicológicos de curto, médio e longo prazo, e representam um risco para a saúde humana. Determinar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas utilizadas para consumo humano em regiões produtoras de cana-de-açúcar na Zona da Mata Pernambucana. Trata-se de um estudo transversal analítico desenvolvido nos municípios de Goiana, Aliança Itambé, Sirinhaém e Água Preta, considerados os maiores produtores de cana-de-açúcar do estado de Pernambuco, no nordeste do Brasil. As amostras foram coletadas entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2022 e analisadas mediante imunodiagnóstico e análise multiresidual, por cromatografia a gás com detecção por espectrometria de massas. Foram investigados 93 agrotóxicos. Foram coletadas 86 amostras em 43 pontos de água bruta e de água clorada de abastecimento regular, próximo a áreas canavieiras com concentração populacional. Foram detectados 14 agrotóxicos, sendo os mais frequentes glifosato (46,51% dos pontos), ametrina (16,58%) e atrazina (13,95%). Atrazina e glifosato foram detectados em todos os municípios. Os agrotóxicos foram identificados em 67,44% dos pontos, e em 48,27% das amostras foi detectado ao menos um agente. Nenhum parâmetro ultrapassou o valor máximo permitido (VMP) definido na normativa brasileira, contudo, azoxistrobina, cifenotrina, cipermetrina e etofenprox não estão previstos na legislação, não tendo um VMP estabelecido nacionalmente. Agrotóxicos foram identificados na água de poço de escolas rurais, em poços de fontes de água mineral, em poços comunitários em áreas rurais e nos principais rios e barragens dos municípios. Observou-se contaminação ambiental por agrotóxicos, podendo comprometer a biota e afetar a saúde das populações expostas. Embora o VMP não tenha sido ultrapassado, podem ocorrer danos não dose-relacionados e efeitos aditivos e sinérgicos.

Palavras-chave: Contaminação ambiental; Agrotóxicos; Água superficial; Água subterrânea; Água para consumo humano.

Pesticides in surface and groundwater in a sugarcane crop area

Sugarcane is one of the largest consumers of pesticides in Brazil, and the advance of agribusiness has intensified the consumption of these agents. These biocides can cause damage to the environment, with short, medium, and long-term ecotoxicological effects, and poses a risk to human health. To determine the contamination of surface and groundwater used for human consumption in sugarcane crop areas in the "Zona da Mata" of the state of Pernambuco. An analytical cross-sectional study was carried out in the municipalities of Goiana, Aliança Itambé, Sirinhaém, and Água Preta, considered the largest sugarcane producers in the state of Pernambuco, in Northeastern Brazil. Samples were collected between December 2021 and February 2022 and analyzed using gas chromatography coupled with mass spectrometry and immunodiagnosis. 93 pesticides were investigated. Eighty-six samples were collected from 43 points of untreated water and chlorinated water from regular supply, close to sugarcane crop areas with demographic concentration. Fourteen pesticides were detected, the most frequent were glyphosate (46.51% of the points), ametrine (16.58%), and atrazine (13.95%). Atrazine and glyphosate were detected in all municipalities. Pesticides were identified at 67.44% of the points, and at least one agent was detected in 48.27% of the samples. No parameter exceeded the Maximum Contaminant Level (MCL) defined in Brazilian regulations, however, azoxystrobin, cypermethrin, cypermethrin, and etofenprox are not foreseen in the legislation, not having an established MCL in Brazil. Pesticides were identified in wells from rural schools, from mineral water sources, in community wells in rural areas, and in the main rivers and dams in the municipalities. Environmental contamination by pesticides was observed, which could compromise the biota and affect the health of exposed populations. Although the MCL has not been exceeded, non-dose-related damage and additive and synergistic effects may occur.

Keywords: Environmental pollution; Pesticides; Surface water; Groundwater; Drinking water.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **11/12/2022**

Approved: **28/12/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Clenio Azevedo Guedes 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2618827033126586>
<http://orcid.org/0000-0001-6989-4805>
clenioag@hotmail.com

Solange Laurentino dos Santos 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6809311543410344>
<http://orcid.org/0000-0002-6405-3959>
solaurentino@hotmail.com

Geovanna Hachyra Facundo Guedes 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5216724461354840>
<http://orcid.org/0000-0002-6185-2958>
geovannafacundo@gmail.com

João Antonio dos Santos Pereira 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9918697054291398>
<http://orcid.org/0000-0003-4426-4924>
antonio pereira.278@gmail.com

Romário Correia dos Santos 
Universidade Federal da Bahia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9539488521821531>
<http://orcid.org/0000-0002-4973-123X>
romario.correia@outlook.com

Márcia Silva Pereira 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8671887916293959>
<http://orcid.org/0000-0002-3365-396X>
marciaspereira.sas@gmail.com

Idê Gomes Dantas Gurgel 
Fundação Oswaldo Cruz, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9456859897868358>
<http://orcid.org/0000-0002-2958-683X>
ide.gomes@fiocruz.br

Ana Cristina Simoes Rosa 
Fundação Oswaldo Cruz, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1158746483165395>
<http://orcid.org/0000-0003-0547-1138>
anacris@ensp.fiocruz.br

Aline do Monte Gurgel 
Fundação Oswaldo Cruz, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0523633156750787>
<http://orcid.org/0000-0002-5981-3597>
alinemgurgel@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0014

Referencing this:

GUEDES, C. A.; SANTOS, S. L.; GUEDES, G. H. F.; PEREIRA, J. A. S.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, M. S.; GURGEL, I. G. D.; ROSA, A. C. S.; GURGEL, A. M.. Agrotóxicos em águas superficiais e subterrâneas em uma região produtora de cana-de-açúcar. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.12, p.139-153, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0014>

INTRODUÇÃO

O avanço no neoliberalismo no Brasil, desde a década de 1990, tem sido marcado pela redução da atuação estatal voltada à proteção do ambiente e da saúde, evidenciando retrocessos nas políticas sociais e ambientais. Esse cenário foi agravado em 2016, com a ruptura democrática brasileira, representada pelo impeachment da presidenta eleita Dilma Rousseff (ORTEGA et al., 2020), pela associação entre extrema direita e o liberalismo econômico no âmbito do governo Bolsonaro (2019-2022) (LOBATO et al., 2019), e, mais recentemente, com a irrupção da pandemia de Covid-19, desde fevereiro de 2020, eventos que estabeleceram condições político-institucionais favoráveis à fragilização das políticas públicas nas áreas social e ambiental (GURGEL et al., 2021).

Esse modelo favoreceu em particular a intensificação dos desmontes nas normativas que regulam o registro e uso de agrotóxicos no Brasil, ampliando o uso desses agentes no país. Somente de janeiro de 2019 até o início de abril de 2022 houve a liberação do registro 1.683 novos produtos agrotóxicos no Brasil, e diversas mudanças na regulamentação do registro e uso desses agentes foram implementadas ou encontram-se em tramitação no legislativo (GURGEL et al., 2021). Destaca-se que diversos ingredientes ativos de agrotóxicos (IA) liberados no Brasil são proibidos em outros países, muitos devido à sua associação com potenciais efeitos crônicos sobre a saúde como cânceres e desregulação endócrina (FRIEDRICH et al., 2021).

A maior parte dos agrotóxicos consumidos no Brasil é voltada para a produção de commodities agrícolas, como soja, milho, algodão e cana-de-açúcar, que juntas respondem por cerca de 81% do volume total de agrotóxicos comercializados no Brasil (SINDIVEG, 2020). Em relação à cana-de-açúcar, o Brasil figura como o maior produtor mundial, ocupando uma área de 9.953,2 hectares e registrando 665.105 toneladas produzidas na safra 2020/2021, com um incremento de 3,5% em relação à safra anterior. A região Nordeste se destaca como a segunda região do país com maior incremento da área plantada e de produtividade de cana-de-açúcar, com aumento de 0,8% na área e 2,8% na produtividade média na safra 2020/2021 (CONAB, 2020). Esse contexto sugere um elevado consumo de agrotóxicos na região, em uma produção marcada por conflitos socioambientais, com destaque para contaminação ambiental e intoxicações por agrotóxicos (GURGEL et al., 2021).

A exposição a esses biocidas está relacionada a uma série de danos ao ambiente e à saúde, com efeitos toxicológicos e ecotoxicológicos de curto, médio e longo prazo, conforme o tipo de produto utilizado, o tempo de exposição e a quantidade de produto absorvido pelo organismo (INCA, 2021). Destaca-se que o consumo de alimentos e de água contaminada representa uma importante fonte de exposição humana a múltiplos Ingredientes Ativos (IA), ameaçando a segurança alimentar e nutricional das populações expostas (CONSEA, 2012). Já o consumo de água de poço em zonas rurais tem sido associado à uma maior prevalência de doenças neurodegenerativas como Parkinson em função da contaminação por agrotóxicos (DAS et al., 2011; GATTO et al., 2009).

Considerando essas questões, esse estudo objetivou identificar contaminação de fontes de água utilizadas para consumo humano em regiões produtoras de cana-de-açúcar na Zona da Mata Pernambucana.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo analítico transversal. A área do estudo foi composta pelos municípios de Sirinhaém, Água Preta, Goiana, Itambé e Aliança, considerados os maiores produtores de cana-de-açúcar do estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2011), cultura que ocupa 30% de toda área plantada do estado (CONAB, 2020).

A definição dos parâmetros analisados seguiu os critérios recomendados pelo Ministério da Saúde, levando em conta os agentes mais utilizados, o período de uso e a sazonalidade das culturas praticadas em cada município (BRASIL, 2021). A seleção dos pontos de coleta de água Critérios para seleção dos pontos de coleta em águas superficiais

A seleção dos pontos para coleta em águas superficiais foi baseada no resultado do cálculo da drenagem dos municípios, gerada a partir do processamento do modelo digital de elevação (MDE) e pelo modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), onde a direção e concentração de fluxo são os determinantes para o delineamento da drenagem, que é traçada nas áreas de várzeas, conectando os diferentes fluxos ocorrentes dentro da bacia hidrográfica. Posteriormente, a drenagem foi aplicada como uma camada sobre o banco de imagens de satélite online do servidor online Bing, disponíveis a partir da ferramenta QuickMapServices, no software Qgis 3.8.3.

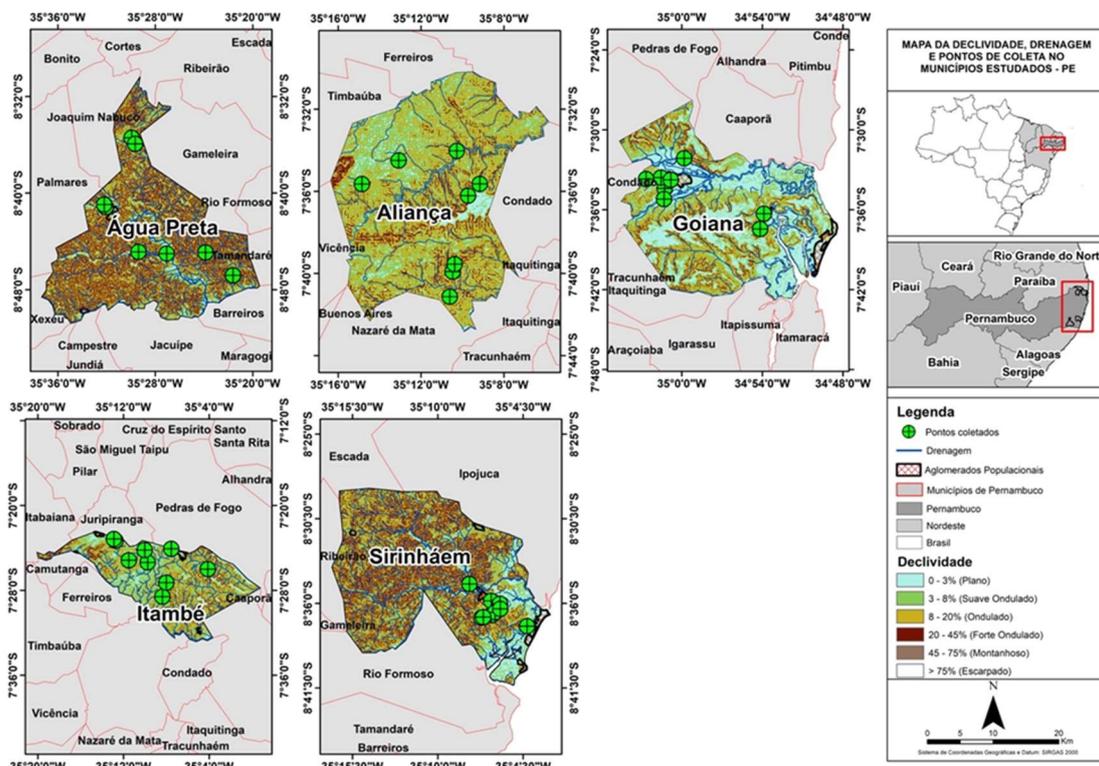


Figura 1: Pontos de coleta das amostras de água segundo municípios.

Foram identificados os locais com presença de corpos hídricos, sejam eles açudes, barragens, rios, riachos e córregos, com acesso por vias terrestres. Foram privilegiados os locais próximos à ocupação humana, e de áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar, de modo com que a distribuição espacial dos pontos abranja o máximo de território de cada município.

Foram determinados entre 20 e 26 pontos preliminares de possível coleta em cada município, sendo selecionadas as fontes de importância para o território, utilizadas para consumo, preparação de alimentos, irrigação de cultivos, dessedentação animal, e ou destinadas à recreação de contato primário. Foram definidos entre 8 e 9 pontos em cada município, totalizando 43 sítios de coleta (Figura 1).

Foram coletadas duas (02) amostras em cada ponto, totalizando 86 amostras de água bruta de rios, riachos, córregos, açudes, barragens, poços e cacimbas, e água clorada de abastecimento regular, distribuída pela empresa concessionária do estado, em locais próximos a áreas canavieiras e com concentração populacional, rural ou urbana. As coletas ocorreram de dezembro de 2021 a janeiro de 2022, na estação seca.

Em cada ponto foi coletada uma amostra em frasco âmbar de 1L e uma em frasco de polipropileno fosco de 500 mL, considerando o uso de duas técnicas analíticas distintas. O pH da água foi aferido em todos os pontos. Às amostras de água bruta foi adicionado ácido acético glacial como conservante (0,1 mL/L), e para as amostras de água clorada, foram adicionados ácido acético glacial e tiosulfato de sódio (0,05 mL/L). As amostras foram coletadas somente se não tivesse sido registrada chuva no município nas 48 horas anteriores à data de ida ao campo, e o monitoramento foi feito pelo sistema *on-line* de Meteorologia e Monitoramento Pluviométrico da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC¹). As amostras foram conservadas em isopor com baterias de gelo artificial durante o trabalho de campo, e no laboratório, foram mantidas sob refrigeração (4°C) até o momento da análise.

Os ingredientes ativos (IA) glifosato, 2,4-D e paraquate foram identificados mediante imunodiagnóstico, técnica baseada na reação de competição entre o analito derivatizado (que deve estar presente na amostra em sua forma original) e a enzima conjugada, pelos sítios de ligação do anticorpo adicionado ao meio reacional, que deve ter ainda, o substrato da citada enzima (ABRAXIS, 2016).

A análise multiresidual de agrotóxicos em água foi realizada por cromatografia a gás com detecção por espectrometria de massas com triplo quadrupolo, usando como metodologia de preparo de amostras a extração em fase sólida com cartucho de fase hidrofílica e hidrofóbica HLB, concentração do extrato sob atmosfera de nitrogênio e identificação por meio das instrumentações mencionadas. Este método tem limite de quantificação na ordem de 0,1 ng/mL, permitindo a avaliação destes agrotóxicos em níveis residuais (RANGEL, 2008). A análise multiresidual foi realizada para todos os demais agrotóxicos analisados no presente estudo. As análises foram realizadas pelo laboratório de Toxicologia do Cesteh/Fioruz. Foram analisados 27 agrotóxicos previstos na Portaria GM/MS no 888/2021, além de outros 66 IA.

RESULTADOS

As 43 amostras de água dos cinco municípios foram coletadas em pontos distribuídos da seguinte forma: oito (08) em Água Preta e Aliança cada; nove (09) em Goiana; Itambé e Aliança cada, totalizando 43 pontos (Figura 2). Os resultados das análises apontaram 51 registros positivos de parâmetros de agrotóxicos.

¹ <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/chuvas-rmr.php>



Figura 2: Coleta de água no território de estudo.

Legenda: 1A: Açude em Água Preta-PE; 1B: Lagoa em Tupaóca, em Aliança-PE; 1C: Rio Una em Água Preta-PE; 1D: Poço público em Engenho, em Sirinhahém-PE.

No total, foram detectados 14 (quatorze) agrotóxicos: 2,4-D, ametrina, atrazina, azoxystrobina, cipermetrina, cifenotrina, etofenprox, fipronil, flutriafol, glifosato, metolacoloro, metribuzim, paraquate, tebuconazol, cifenotrina e etofenprox. Destes, somente a cifenotrina e o etofenprox não possuem uso autorizado para a cultura da cana-de-açúcar (Tabela 1).

Tabela 1: Agrotóxicos detectados segundo número de ocorrências por município.

P	Agrotóxico	Água Preta	Aliança	Goiana	Itambé	Sirinhahém	FP	FM
1	Atrazina	1	1	2	1	1	13,95	100,00
2	Glifosato	5	3	3	3	6	46,51	100,00
3	Etofenprox	1	1	-	1	1	9,30	80,00
4	Ametrina	1	2	-	-	4	16,28	60,00
5	Azoxistrobina	-	1	-	-	1	4,65	40,00
6	Cipermetrina	-	-	1	-	-	2,33	20,00
7	Fipronil	1	-	3	-	-	9,30	40,00
8	2,4-D	-	-	1	-	-	2,33	20,00
9	Flutriafol	1	-	-	-	-	2,33	20,00
10	Metolacoloro	-	1	-	-	-	2,33	20,00
11	Metribuzin	-	-	-	-	1	2,33	20,00
12	Paraquate	-	-	1	-	-	2,33	20,00
13	Tebuconazol	-	-	1	-	-	2,33	20,00
14	Cifenotrina	-	1	-	-	-	2,33	20,00
N agrotóxicos identificados		6	7	7	3	6	-	-

P = Parâmetros detectados; FP = frequência de mostras positivas por parâmetro; FM= Frequência de amostras positivas por município.

Quanto à detecção por pontos coletados nos municípios, os agrotóxicos que ocorreram com maior frequência foram o glifosato (46,51% dos pontos), seguido pela ametrina (16,58%) e a atrazina (13,95%). A atrazina e o glifosato foram detectados em todos os municípios, e o etofenprox só não foi encontrado em Goiana (Tabela 2).

Quanto aos níveis de agrotóxicos detectados, nenhum parâmetro ultrapassou o VMP definido na

portaria brasileira MS/GM 888/2021. Destaca-se que os agrotóxicos azoxistrobina, cifenotrina, cipermetrina e etofenprox não estão previstos na portaria, não tendo um VMP estabelecido nacionalmente. Apesar dessa informação, houve a detecção de agrotóxicos cujo monitoramento não está previsto nas normativas brasileiras em todos os municípios. Considerando o número de detecções de agrotóxicos, em 39,21% dos casos foi possível quantificar as substâncias identificadas. Aliança foi o município que apresentou o maior percentual de detecções quantificáveis (n=70%) (Tabela 2).

Goiana e Itambé apresentaram o maior percentual de amostras positivas (77,78% cada), sendo seguidos por Água Preta (75,00%), Sirinhaém (66,67%) e Aliança (62,50%). Foram detectados agrotóxicos em 67,44% dos pontos (n=29). Em 48,27% das amostras foi detectado ao menos um agrotóxico. Em Aliança, foi identificada a presença de cinco (05) agrotóxicos em um único ponto, e em Sirinhaém houve a detecção de quatro (04) agrotóxicos em uma mesma amostra (Tabela 2).

Tabela 2: Tipos de fontes de água analisadas em cada ponto e concentração dos agrotóxicos detectados segundo município.

MUN	Agrotóxico	AP	RRC	RRC	RRC	PC	RRC	RRC	PC	**	LQ	LD	VMP*
Água Preta	Ametrina	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	-	0,05	0,002	60
	Atrazina	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	0,051	0,014	2
	Etofenprox	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,12	0,039	NP
	Fipronil	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,05	0,002	1,2
	Flutriafol	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,096	0,032	30
	Glifosato	-	<LQ	<LQ	-	<LQ	-	<LQ	0,092	-	0,075	0,05	500
MUN	Agrotóxico	RRC	ABR	AP	ABR	ABR	RRC	ABR	ABR	**	LQ	LD	VMP*
Aliança	Ametrina	-	-	-	-	-	-	0,155	<LQ	-	0,05	0,002	60
	Atrazina	-	-	-	-	-	-	1,807	-	-	0,051	0,014	2
	Azoxistrobina	-	-	-	-	-	-	0,109	-	-	0,077	0,025	NP
	Cifenotrina	-	-	-	-	-	-	64,07	-	-	0,077	0,025	NP
	Etofenprox	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,12	0,039	NP
	Glifosato	-	-	-	-	0,14	0,082	-	<LQ	-	0,075	0,05	500
	Metolacoloro	-	-	-	-	-	-	0,308	-	-	0,072	0,024	10
MUN	Agrotóxico	RRC	RRC	RRC	RRC	RRC	PC	PC	PC	AP	LQ	LD	VMP*
Goiana	2,4-D	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	2,00	N/A	30
	Atrazina	-	-	<LQ	-	-	-	-	0,12	-	0,051	0,014	2
	Cipermetrina	-	-	-	-	-	-	0,278	-	-	0,242	0,08	NP
	Fipronil	-	-	<LQ	<LQ	<LQ	-	-	-	-	0,05	0,002	1,2
	Glifosato	-	-	<LQ	-	0,35	<LQ	-	-	-	0,075	0,05	500
	Paraquate	-	-	-	-	-	-	0,986	-	-	0,75	N/A	13
	Tebuconazol	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,098	0,032	180
MUN	Agrotóxico	PC	PC	ABR	RRC	ABR	ABR	PC	PC	AP	LQ	LD	VMP*
Itambé	Atrazina	-	-	-	-	-	-	-	<LQ	-	0,051	0,014	2
	Etofenprox	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,12	0,039	NP
	Glifosato	-	<LQ	-	<LQ	0,156	-	-	-	-	0,05	0,075	500
MUN	Agrotóxico	AP	PC	RRC	PC	RRC	AP	RRC	ABR	PC	LQ	LD	VMP*
Sirinhaém	Ametrina	-	-	<LQ	<LQ	0,689	<LQ	-	-	-	0,05	0,002	60
	Atrazina	-	-	0,067	-	-	-	-	-	-	0,051	0,014	2
	Azoxistrobina	-	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	0,077	0,025	NP
	Etofenprox	-	-	-	<LQ	-	-	-	-	-	0,12	0,039	NP
	Glifosato	-	-	-	<LQ	0,08	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,075	0,05	500
	Metribuzim	-	-	-	-	0,076	-	-	-	-	0,074	0,024	25

Legenda: MUN: município. ABR: açude, barragem, represa. AP: abastecimento público. PC: poço e cacimba. RRC: rio, riacho ou córrego. LQ: limite de quantificação. LD: limite de detecção. VMP: valor máximo permitido. NP: não previstos na portaria 888/2021. - Parâmetro não detectado. **: amostra inexistente.

*: unidade de medida dos parâmetros 24-D, glifosato e paraquate = ng.L⁻¹; demais parâmetros = µg.L⁻¹.

Quanto ao número de agrotóxicos por município, em Goiana e em Aliança foram identificados 07 em cada; em Água Preta e Sirinhaém, 06 em cada, e em Itambé, 3.

De acordo com o tipo de fonte, em 27,91% (12) dos casos a amostra foi coletada de água subterrânea (poço ou cacimba). Águas superficiais, coletadas em rios, riachos ou córregos e açudes, barragens ou represas, responderam por 58,14% (25) dos pontos, e amostras de água de abastecimento público (clorada) responderam por 13,95% (06) das amostras. Foram identificados agrotóxicos em 75,00% (09) das fontes de água subterrânea, em 72,00% (18) das águas superficiais (12 em rios, riachos e córregos e 06 em açudes, barragens e represas) e em 33,33% (02) das fontes de água de abastecimento público (Tabela 3).

Tabela 3: Locais de realização do estudo e detalhamento das coletas ambientais e número de pontos de coleta segundo tipo de fonte.

Municípios	Rio/ Córrego	Riacho/ Açude/ Represa	Barragem/ Poço/ Cacimba	Abastecimento Público	Total amostras
Água Preta	5	-	2	1	8
Aliança	2	5	-	1	8
Goiana	5	-	3	1	9
Itambé	1	3	4	1	9
Sirinhaém	3	1	3	2	9
Total por tipo de fonte	16	9	12	6	43

Em rios, riachos e córregos, os agrotóxicos ametrina, atrazina, etofenprox, fipronil, flutriafol, glifosato, metribuzin e tebuconazol foram detectados. Em açudes, barragens e represas, ametrina, atrazina, azoxistrobina, cifenotrina, etofenprox, glifosato e metolaclofor foram detectados. Em nenhuma das fontes de água superficiais foi observada a presença de 2,4-D, paraquate e cipermetrina. Em poços e cacimbas houve a detecção de ametrina, atrazina, cipermetrina, etofenprox, glifosato e paraquate. Nas águas de abastecimento público, encontrou-se 2,4-D, ametrina e glifosato (Tabela 2).

Agrotóxicos foram identificados na água de poço de 02 escolas rurais (glifosato em Itambé e ametrina e glifosato em Sirinhaém); em 02 poços de fontes de água mineral, que comercializam essa água envasada para diversos municípios na região (atrazina em Goiana e Itambé); e em 05 poços comunitários em comunidades rurais (em Água Preta, glifosato em um poço; em Goiana, glifosato em um poço e cipermetrina e paraquate em outro; em Sirinhaém, atrazina, etofenprox e glifosato em um e glifosato em outro).

DISCUSSÃO

Dos 14 agrotóxicos detectados nesse estudo, quatro estão entre os mais comercializados no Brasil. O glifosato e seus sais ocupam a primeira posição no ranking (217.592,24 toneladas), sendo seguido do 2,4-D (52.426,92 ton), mancozebe (49.162,59 ton), acefato (28.432,5 ton), atrazina (23.429,38 ton), clorotalonil (16.653,05 ton), dicloreto de paraquate (16.398,14 ton), malationa (13.576,47 ton), enxofre (11.882,33 ton) e clorpirifos (10.827,78 ton). A cipermetrina situa-se entre os 20 mais vendidos do país (IBAMA, 2021).

A elevada frequência na detecção de alguns desses agentes pode, ao menos em parte, estar relacionada ao seu elevado consumo em uma determinada cultura ou região. Dentre os 10 mais vendidos no Brasil, 2,4-D, glifosato, paraquate e atrazina têm uso autorizado na cana-de-açúcar e foram encontrados, de forma semelhante a outros estudos (ACAYABA et al., 2021; FERREIRA et al., 2016; JACOMINI et al., 2011; LAABS et al., 2002; MILHOME et al., 2015; BARIZON et al., 2022; MOREIRA et al., 2012).

Algumas propriedades físico-químicas também podem ser indicativas de persistência em águas

subterrâneas, como o índice de GUS (Groundwater Ubiquity Score), que mensura o potencial de lixiviação do composto até as águas subterrâneas, e o método de *screening* proposto pela EPA (Environmental Protection Agency). Em águas superficiais, o método proposto por Goss (GOSS, 1992) avalia a contaminação a partir do potencial de transporte de agrotóxicos dissolvidos em água e adsorvidos em sedimento. Assim, o potencial de contaminação dos agrotóxicos está diretamente relacionado aos processos de adsorção, que regulam a disponibilidade do agente na solução do solo; aos processos de transferência, que deslocam o agrotóxico do ponto de aplicação para outra área, e aos processos de degradação, que minimizam a persistência, acumulação e os efeitos ambientais desses compostos (CANUTO et al., 2010).

No caso do presente estudo, dos agrotóxicos encontrados em poços e cacimbas, a atrazina é classificada como potencial contaminante de águas subterrâneas pelos métodos de GUS e da EPA; o glifosato e o paraquate são classificados pela EPA como potenciais contaminantes, a ametrina apresenta potencial intermediário de contaminação (EPA) e a cipermetrina e o etofenprox são classificados com baixa capacidade de contaminação de águas subterrâneas segundo os dois métodos de *screening*. A atrazina também apresenta alto potencial de transporte quando dissolvida em água, revelando sua capacidade de contaminar águas superficiais, E tem a capacidade de permanecer na água, em especial subterrâneas, por longos períodos, exercendo seus efeitos tóxicos sobre organismos vivos enquanto permanecer no ambiente. O 2,4-D e o glifosato também são muito solúveis em água, indicando maior probabilidade de atingirem corpos d'água (MILHOME et al., 2009). Os critérios da EPA, por se basearem em mais parâmetros do que o GUS, são considerados dotados de maior potencial preditivo para avaliação da contaminação de águas subterrâneas.

Nas fontes de água superficiais, atrazina e azoxistrobina apresentam alto potencial de transporte quando dissolvidos em água, e o segundo também apresenta alto potencial de transporte quando adsorvido ao sedimento, indicando potencial elevado de contaminar águas superficiais, o que corrobora com os achados desse estudo. Ametrina, fipronil, flutriafol, glifosato, metribuzin e tebuconazol apresentam médio potencial de transporte, tanto adsorvido ao sedimento quanto dissolvido em água, o que também indica potencial de contaminar águas superficiais.

A presença de agrotóxicos em águas também pode sofrer influência de diversos fatores não considerados nos modelos de *screening*, como: características do solo, potencial de bioacumulação e condições climáticas, como chuvas (GAMA et al., 2013), o que pode, auxiliar na compreensão da ausência de agentes largamente utilizados.

Importa destacar que, mesmo que as amostras coletadas tenham apresentado parâmetros com concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente, não se pode excluir a possibilidade de danos sobre a saúde em decorrência da exposição aos agrotóxicos identificados (FRIEDRICH et al., 2021; MOREIRA et al., 2012), e diversos fatores podem justificar essa possibilidade.

Substâncias com capacidade de serem bioacumuladas podem, ao longo do tempo, especialmente nos casos de exposições repetidas a baixas doses, como nos casos de exposições ocupacionais, se acumular no organismo em níveis suficientes para desencadear efeitos tóxicos (GURGEL et al., 2018; MOREIRA et al., 2012). Exposição a agentes cujos efeitos que não dependem da dose, como é o caso da exposição a

desreguladores endócrinos ou a carcinógenos genotóxicos, para os quais qualquer dose diferente de zero é suficiente para desencadear um efeito tóxico (GURGEL et al., 2018). Ainda sobre curvas dose-resposta não lineares, destaca-se a exposição a substâncias que apresentam curva de efeito não monotônicas que apresentam uma diminuição na resposta em baixas doses, seguida por um aumento em altas doses, ou vice-versa (CONOLLY et al., 2004), ou seja, danos significativos podem ser observados em baixas doses, e em altas doses esses efeitos não se manifestam.

Destaca-se que os efeitos de baixas doses e de relações não monotônicas são frequentemente observados após a exposição a doses de desreguladores endócrinos ambientalmente relevantes, indicando que a não monotonicidade deve ser a suposição padrão para esses agentes, na ausência de dados suficientes para indicar o contrário (VANDENBERG et al., 2012).

Os VMP adotados na legislação brasileira são bastante elevados quando comparados com legislações mais protetivas para a saúde e o ambiente, como a da União Europeia. Ainda, a legislação brasileira não considera o conjunto de parâmetros presentes em uma única amostra, sequer o somatório dos VMP dos parâmetros detectados (ROSA et al., 2020). Isso aponta que os valores detectados, embora abaixo do limite estabelecido nas normativas brasileiras, não podem ser tomados como indicativos de segurança à saúde ou ao ambiente ou de proteção.

Ainda, a normativa da Comunidade Europeia, que estabelece níveis de resíduos de agrotóxicos em água mais protetivos para a saúde e o ambiente, aceita um máximo de $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ para cada agrotóxico individualmente, e $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ para a concentração total de agrotóxicos em uma única amostra, segundo a Diretriz 2015/ 1787 (UE, 2015). Seguindo essa lógica, 34,48% das amostras no presente estudo ultrapassariam o limite definido na Comunidade Europeia. Chama atenção, em particular, o nível de cifenotrina identificado em uma amostra de água superficial em Aliança: $64,07 \mu\text{g.L}^{-1}$. Destaca-se que esse agente não possui VMP definido no Brasil, e foi detectado em uma quantidade que ultrapassa significativamente o VMP estabelecido na Europa.

Outra questão relevante é que a exposição a misturas de agrotóxicos é diferente de uma exposição individual, pois esses agentes podem interagir entre si, somando ou potencializando seus efeitos tóxicos (GURGEL et al., 2018).

Diversos estudos realizados no Brasil têm apontado a presença de agrotóxicos em regiões de grandes monocultivos em águas superficiais, subterrâneas e de chuva (ACAYABA et al., 2021; FERREIRA et al., 2016; JACOMINI et al., 2011; LAABS et al., 2002; MILHOME et al., 2015; BARIZON et al., 2022; MOREIRA et al., 2012).

Em águas superficiais, diversos estudos conduzidos em áreas de cultivo de cana-de-açúcar identificaram a presença os agrotóxicos detectados no presente estudo. Esses estudos se concentram na região do Centro-Oeste, onde grandes monocultivos com elevado consumo de agrotóxicos se destacam. No Mato Grosso, foram identificados atrazina e seu produto de degradação DEA, endosulfan alfa, beta e sulfato, clorpirifós, flutriafol, malation metolacloro e permetrina (n=16) em córregos e rios de uma região produtora de soja e cana-de-açúcar (MOREIRA et al., 2012). Ainda no Mato Grosso, em rios da bacia do Pantanal, a análise de 29 agrotóxicos e 03 metabólitos revelou a presença de um a oito agentes em 68% (n=139) das

amostras, mas sem exceder $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, à exceção da malationa. Dentre os mais frequentemente detectados, registrou-se a presença de malationa, metolacoloro, alacloro, trifluralina, endossulfan sulfato, ametrina, atrazina e metribuzin (LAABS et al., 2002). Em Minas Gerais, ao longo da bacia do rio Mogi Guaçu, em área de predomínio de cultivo de cana-de-açúcar, a análise de água superficial (11 pontos, 55 amostras) identificou tebutiuron em todas as amostras, sendo também frequentes tebuconazol e carbofurano e a ocorrência de misturas, representando risco para a vida aquática (BARIZON et al., 2022).

No Sudeste Brasileiro, em São Paulo, maior região produtora de cana-de-açúcar do mundo, foram analisados 13 agrotóxicos em água superficial, e os mais frequentemente detectados foram 2-hidroxi-atrazina, diuron, carbendazim, tebutiuron, hexazinona, imidacloprid, ametrina, clomazona, atrazina, tebuconazol e carbofurano (100, 94, 93, 92, 91, 86, 81, 58, 56, 41 e 39%, respectivamente) (ACAYABA et al., 2021). Ainda em São Paulo, a pesquisa de ametrina revelou sua presença nas águas dos rios Sapucaí, Pardo e Mogi-Guaçu, em bivalves e no sedimento, demonstrando contaminação do ambiente aquático e da biota (JACOMINI et al., 2011).

No Nordeste, em Pernambuco, registrou-se a presença de atrazina e diuron ao longo do rio Ipojuca, em região canavieira ($n=8$, 100% amostras positivas, coletadas durante o período seco e de chuvas), após pesquisa de 238 agrotóxicos (FERREIRA et al., 2016). No Sul, no Paraná, estudo realizado em três bacias hidrográficas em área produtora de soja observou a presença de 51 agrotóxicos e 06 metabólitos em águas superficiais (17 pontos), sendo a atrazina o composto mais frequentemente identificado (94,12% dos pontos), seguida de seus produtos de degradação (FLORA et al., 2019). No estado de Santa Catarina, um parecer técnico elaborado a pedido do Ministério Público apontou contaminação por agrotóxicos na água de abastecimento público em 22 municípios, sendo detectados nas águas superficiais agrotóxicos como 2,4-D, diuron, tiametoxam, metolacoloro e atrazina (HESS, 2019).

Diversos estudos conduzidos em outros países também demonstram a presença de agrotóxicos em águas superficiais. Nos EUA, em um grande estudo de monitoramento conduzido entre os anos de 2013 e 2017, agrotóxicos foram encontrados na água em todas as regiões do país, sendo identificados 5 ou mais agrotóxicos em 88% das amostras ($n=5.961$) coletadas em rios e riachos, e a atrazina foi um dos mais frequentes (média de 17/amostra) (COVERT et al., 2020). A lenta degradação da atrazina representa um grave problema, como observado na Polônia, onde esse agrotóxico e seus produtos de degradação foram encontrados na água mesmo 10 anos após a retirada de seu uso no país (BARCHANSKA et al., 2017). Tebuconazol é outro agrotóxico frequentemente encontrado nessa matriz (CLIMENT et al., 2019). No Japão, em 14.076 amostras de água em região de cultivo de arroz no período de 2012 a 2017 revelou a presença de 162 agrotóxicos, sendo os mais frequentes bentazona (1.468 ocorrências), bromobutida (1.280), piroquilon (610), dimron (544), pretilaclor (513), isoprotiolane (444), triciclazone (398), mefenacet (370), cimetrina (365), metil bensulfuron (351), imidacloprid (342) e outros (KAMATA et al., 2020). No Vietnã, estudo detectou em rios ($n=1$), lagos ($n=7$), água de torneira ($n=46$) e água engarrafada ($n=3$) a presença de carbendazim (média: $86,7 \text{ ng/L}$), triazinas como a atrazina ($49,3 \text{ ng/L}$ em lagos e 164 ng/L em rios) neonicotinóides ($15,1 \text{ ng/L}$), clorpirifós ($13,4 \text{ ng/L}$), fipronil ($3,76 \text{ ng/L}$) e outros (WAN et al., 2021). No Chile, Siri Lanka e Argentina,

estudos identificaram glifosato em águas superficiais e subterrâneas (GUNARATHNA et al., 2018; PARAÍBA et al., 2003; REYNOSO et al., 2020), sendo destaque a sua detecção em níveis constantes ao longo do ano, apesar de algumas estações terem chuvas abundantes (REYNOSO et al., 2020).

Em águas subterrâneas, resultados semelhantes têm sido registrados em áreas canavieiras. No Brasil, em São Paulo, em área de produção de cana-de-açúcar, atrazina e seu produto de degradação (2-hidroxi atrazina), diuron, tebutiuron, carbofurano, imidacloprid e carbendazim foram detectados em ao menos uma amostra de água subterrânea do território investigado (ACAYABA et al., 2021). Nesse mesmo estado e em Minas Gerais foram identificados agrotóxicos como metribuzin e carbendazim em água de poço (n=4) e nascentes (n=2) (SILVA et al., 2021). No Rio de Janeiro, em uma área de cultivo de abacaxi e cana-de-açúcar, a análise de água de poço, coletada nos meses secos e de chuva, demonstrou a presença de atrazina, ametrina, captana, carbaril, hexazinona e parationa metílica (PORTAL et al., 2019). Em poços artesianos (n=90) utilizados na distribuição urbana em 2 municípios do Mato Grosso (Lucas do Rio Verde, n=62, 83% positivas, e Campo Verde, n=28, 50% positivas), foram identificados os agrotóxicos atrazina, metolacoloro, clorpirifós, endosulfan alfa e beta, flutriafol e permetrina, inclusive em poços que abastecem escolas (MOREIRA et al., 2012), assim como no presente estudo.

Agrotóxicos têm sido detectados em águas subterrâneas em áreas de produção de outros monocultivos. No Paraná, em área rural dedicada ao monocultivo de soja, trigo e milho, a análise de água subterrânea (n=9 pontos), identificou principalmente atrazina, registrando-se também carbendazim, imidacloprid, imazetafir, hexazinona, ametrina, imazaquina, tebutiuron, diuron, azoxistrobina, propiconazol e tebuconazol (ALMEIDA et al., 2019). No Ceará, em região de produção do agronegócio, a investigação de 12 agrotóxicos (n=60 amostras) revelou positividade de 80%, sendo detectados mais frequentemente propiconazol, difenoconazol e atrazina, que também figuraram entre os mais frequentemente detectados em águas superficiais nesse mesmo estudo (MILHOME et al., 2015).

Estudos internacionais também têm referenciado preocupação com esses achados, como na Itália (FAVA et al., 2010) e na Argentina (CANDIOTI et al., 2021), onde houve a detecção de triazinas (como atrazina) em mananciais subterrâneos. Nos EUA, uma pesquisa que monitorou a presença dessas substâncias em reservatórios de abastecimento público (n=1.204 amostras de poços), identificou ao menos um composto em 41% deles. Ainda nesse estudo, uns dos principais agrotóxicos identificados foi a atrazina e quatro de seus produtos de degradação, além de produto de degradação do metolacoloro, detectado em >5% dos poços (BEXFIELD et al., 2021).

Em águas de chuva, estudos realizados no Brasil identificaram diferentes agrotóxicos. No Mato Grosso, em Lucas do Rio Verde, região produtora de grandes monocultivos de soja e cana-de-açúcar, 56% (n=104) das amostras foram positivas para pelo menos três tipos de agrotóxicos, como atrazina e outros, a exemplo do endosulfan beta e sulfato, o metolacoloro e o flutriafol. Em Campo Verde (n=58) foram detectados e quantificados resíduos de DEA, atrazina, parationa metílica, malationa, metolacoloro, endosulfan alfa, beta e sulfato e flutriafol (MOREIRA et al., 2012). Ainda no Mato Grosso, na região do Pantanal, análise de 29 agrotóxicos e 03 metabólitos revelou a presença de ao menos um agente em 87% (n=91) das amostras de

águas de chuva, sendo os mais frequentes endossulfan, alacloro, metolacloro e trifluralina (>30% das amostras). Outros agrotóxicos como atrazina e cipermetrina foram detectados em menor frequência (LAABS et al., 2002). No Rio Grande do Sul, na cidade de Porto Alegre, os agrotóxicos mais frequentemente encontrados em dois aquíferos (n=20) foram atrazina e seus produtos de degradação, fipronil, simazina, tebuconazol e hexazinona (STEFANO et al., 2022).

A maioria dos estudos realizados no Brasil registrou a presença de atrazina em água, de forma similar ao presente estudo. Sabe-se que a atrazina é um dos herbicidas mais utilizados em misturas com o glifosato no país, considerando-se o aumento da resistência das pragas agrícolas ou da tolerância a esse agente (MOREIRA et al., 2010), o que pode auxiliar na compreensão de sua elevada taxa de detecção. Esse agrotóxico foi banido da União Europeia em 2004 devido à sua ocorrência frequente em águas subterrâneas em concentrações superiores à 0,1 µg.L⁻¹ (UE, 2004).

O glifosato, embora seja o agrotóxico mais utilizado no Brasil e em monocultivos como a cana-de-açúcar, não é tão frequentemente observado em outros estudos, diferentemente do observado nessa pesquisa, porque a maioria dos estudos sequer investiga sua presença, dado que ele não é detectado na análise multiresidual.

Além de afetar a biota e comprometer a biodiversidade, a contaminação da água com agrotóxicos pode ter repercussões severas para a população exposta. Sete (07) dos quatorze (14) agrotóxicos detectados integram a lista dos candidatos à substituição na União Europeia: ametrina, atrazina, azoxistrobina, fipronil, flutriafol, metolacloro, metribuzin. A maioria foi incluída na lista devido à suspeita de desregulação endócrina. Por ser um efeito não relacionado à dose, ainda que os VMP estejam abaixo do estabelecido nas normativas brasileiras, o risco de dano permanece igual.

Ainda considerando somente desfechos não relacionados à dose, os agrotóxicos glifosato e 2,4-D são classificados, respectivamente, como provável e possível carcinógeno para humanos, segundo a Agência Internacional de Pesquisas para o Câncer (IARC, 2015, 2017). Além desses efeitos, diversos outros problemas agudos e crônicos estão relacionados à exposição aos agrotóxicos (GURGEL et al., 2018), razão pela qual deve-se buscar a redução do uso desses agentes, particularmente em grandes monocultivos como a cana-de-açúcar. Ainda, dada a ampla contaminação das águas evidenciada no presente estudo, é fundamental fortalecer os sistemas de monitoramento ambiental de agrotóxicos, bem como adotar medidas mais protetivas para a saúde e o ambiente nas normativas brasileiras (ROSA et al., 2020).

CONCLUSÕES

Observou-se contaminação hídrica em todos os municípios produtores de cana-de-açúcar analisados, tanto de águas superficiais como subterrâneas, inclusive de fontes de água mineral comercial e das utilizadas para abastecimento público de comunidades e escolas, evidenciando ameaça à saúde das populações expostas no território. Essa contaminação hídrica pode comprometer a biodiversidade e a saúde dos povos que vivem nesse território, bem como naqueles abastecidos pelas bacias hidrográficas que o permeiam.

Analisar os contextos de vulnerabilidade socioambiental relacionados à exposição química

considerando o modelo de desenvolvimento adotado é fundamental para entender a contaminação ambiental por agrotóxicos e as intoxicações decorrentes da exposição a esses agentes, servido como indicador e orientador de ações de vigilância ambiental e em saúde de populações expostas. Para propor ações de vigilância, é importante identificar os agrotóxicos utilizados, a população para as quais as ações deverão ser direcionadas, bem como evidenciar os níveis de contaminação de fontes de água e a exposição humana esses agentes, orientando a organização das ações de saúde e a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ABRAXIS. Pesticide ELISA kits. **Biosense laboratories**. ABRAXIS, 2016.

ACAYABA, R. D'A.; ALBUQUERQUE, A. F.; RIBESSI, R. L.; UMBUZEIRO, G. A.; MONTAGNER, C. C.. Occurrence of pesticides in waters from the largest sugar cane plantation region in the world. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, n.8, p.9824–9835, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-020-11428-1>

ALMEIDA, M. B.; MADEIRA, T. B.; WATANABE, L. S.; MELETTI, P. C.; NIXDORF, S. L.. Pesticide Determination in Water Samples from a Rural Area by Multi-Target Method Applying Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.30, n.8, p.1657–1666, 2019. DOI: <http://doi.org/10.21577/0103-5053.20190066>

ANVISA. Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria. **Parecer técnico de reavaliação n. 08/ GGTOX/ ANVISA, de 13 de junho de 2016**. ANVISA, 2016.

BARCANSKA, H.; SAJDAK, M.; SZCZYPKA, K.; SWIENIEK, A.; TWOREK, M.; KUREK, M.. Atrazine, triketone herbicides, and their degradation products in sediment, soil and surface water samples in Poland. **Environmental Science and Pollution Research International**, v.24, n.1, p.644, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/S11356-016-7798-3>

BARIZON, R. R. M.; KUMMROW, F.; ALBUQUERQUE, A.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DUTRA, D. R. C. S.; PAZIANOTTO, R. A. A.. Surface water contamination from pesticide mixtures and risks to aquatic life in a high-input agricultural region of Brazil. **Chemosphere**, v.308, n.2018, p.10–15, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136400>

BEXFIELD, L. M.; BELITZ, K.; LINDSEY, B. D.; TOCCALINO, P. L.; NOWELL, L. H.. Pesticides and Pesticide Degradates in Groundwater Used for Public Supply across the United States: Occurrence and Human-Health Context. **Environmental Science and Technology**, v.55, n.1, p.362–372, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.0c05793>

BRASIL. **Portaria GM/MS no 888, de 4 de maio de 2021**. Brasília: DOU, 2021.

CANDIOTI, J. V.; ARAUJO, P. I.; HUERGA, I. R.; ROJAS, D. E.; CRISTOS, D. S.; MALMANTILE, A. D.. Pesticides detected in surface and groundwater from agroecosystems in the Pampas region of Argentina: occurrence and ecological risk assessment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.193, n.10, p.1–20, 2021. DOI:

<http://doi.org/10.1007/S10661-021-09462-8>

CANUTO, T. G.; GAMA, A. F.; BARRETO, F. M. S.; ALENCAR NETO, M. F.. Estimativa do Risco Potencial de Contaminação por Pesticidas de Águas Superficiais e Subterrâneas do Município de Tianguá-Ce, com Aplicação do Método de Goss e Índice de GUS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17. **Anais**. 2010. p.20.

CLIMENT, M. J.; HERNÁNDEZ, E. H.; MARTÍN, M. J. H.; CRUZ, M. S. R.; PEDREROS, P.; URRUTIA, R.. Residues of pesticides and some metabolites in dissolved and particulate phase in surface stream water of Cachapoal River basin, central Chile. **Environmental Pollution**, v.251, p.90–101, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.117>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. **V. 7 - Safra 2020/21, n.3 - Terceiro levantamento, dezembro de 2020**. Brasília: CONAB, 2020.

CONOLLY, R. B.; LUTZ, W. K.. Nonmonotonic dose-response relationships: Mechanistic basis, kinetic modeling, and implications for risk assessment. **Toxicological Sciences**, v.77, n.1, p.151–157, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1093/toxsci/kfh007>

CONSEA. Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. **Os Impactos dos Agrotóxicos na Segurança Alimentar e Nutricional**: Contribuições da Consea. Brasília: Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (CONSEA), 2012.

COVERT, S. A.; SHODA, M. E.; STACKPOOLE, S. M.; STONE, W. W.. Pesticide mixtures show potential toxicity to aquatic life in U.S. streams, water years 2013–2017. **Science of the Total Environment**, v.745, p.141285, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141285>

DAS, K.; GHOSH, M.; NAG, C.; NANDY, S. P.; BANERJEE, M.; DATTA, M.; DEVI, G.; CHATTERJEE, G.. Role of familial, environmental and occupational factors in the development of Parkinson's disease. **Neurodegenerative Diseases**, Basel, v.8, n.5, p.345–51, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1159/000323797>

DIAS, M.; ROCHA, R.; SOARES, R. R.. **Glyphosate Use in Agriculture and Birth Outcomes of Surrounding Populations**. IZA Institute of Labor Economics, Document Papers no 12164, Bonn, 2019.

FAVA, L.; ORRÙ, M. A.; SCARDALA, S.; ALONZO, E.;

FARDELLA, M.; STRUMIA, C.; MARTINELLI, A.; FINOCCHIARO, S.; PREVITERA, M.; FRANCHI, A.; CALÀ, P.; DOVIS, M.; BARTOLI, D.; SARTORI, G.; BROGLIA, L.; FUNARI, E.. Pesticides and their metabolites in selected Italian groundwater and surface water used for drinking. **Annali Dell'istituto Superiore Di Sanita**, v.46, n.3, p.309–316, 2010. DOI: http://doi.org/10.4415/ANN_10_03_15

FERREIRA, A. S. G.; SILVA, H. C. M. P.; RODRIGUES, H. O. S.; SILVA, M.; ALBUQUERQUE, E. C.. Occurrence and spatial-temporal distribution of herbicide residues in the Ipojuca river sub-basin, Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.12, p.1124–1128, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1124-1128>

FLORA, A. D.; WIELENS BECKER, R.; FREDERIGI BENASSI, S.; THEODORO TOCI, A.; CORDEIRO, G. A.; IBÁÑEZ, M.; PORTOLÉS, T.; HERNÁNDEZ, F.; BOROSKI, M.; SIRTORI, C.. Comprehensive investigation of pesticides in Brazilian surface water by high resolution mass spectrometry screening and gas chromatography–mass spectrometry quantitative analysis. **Science of the Total Environment**, v.669, p.248–257, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.354>

FRIEDRICH, K.. **Avaliação dos efeitos tóxicos sobre o sistema reprodutivo, hormonal e câncer para seres humanos após o uso do herbicida 2,4-D**. Rio de Janeiro: INCQS, 2014.

FRIEDRICH, K.; SILVEIRA, G. R.; AMAZONAS, J. C.; GURGEL, A. M.; ALMEIDA, V. E. S.; SARPA, M.. Situação regulatória internacional de agrotóxicos com uso autorizado no Brasil: potencial de danos sobre a saúde e impactos ambientais. **Cadernos de Saúde Pública**, v.37, n.4, p.e00061820, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/0102-311X00061820>

GAMA, A. F.; OLIVEIRA, A. H. B.; CAVALCANTE, R. M.. Inventário de agrotóxicos e risco de contaminação química dos recursos hídricos no semiárido cearense. **Química Nova**, v.36, n.3, p.462–467, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-40422013000300017>

GATTO, N. M.; COCKBURN, M.; BRONSTEIN, J.; MANTHRIPRAGADA, A. D.; RITZ, B.. Well-water consumption and Parkinson's disease in rural California. **Environmental Health Perspectives, Research Triangle Park**, v.117, n.12, p.1912–8, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1289/ehp.0900852>

GOSS, D. O. N. W.. Screening Procedure for Soils and Pesticides for Potential Water Quality Impacts. **Weed Technology**, v.6, n.3, p.701–708, 1992.

GUNARATHNA, S.; GUNAWARDANA, B.; JAYAWEERA, M.; MANATUNGE, J.; ZOYSA, K.. Glyphosate and AMPA of agricultural soil, surface water, groundwater and sediments in areas prevalent with chronic kidney disease of unknown etiology, Sri Lanka. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v.53, n.11, p.729–737, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1080/03601234.2018.1480157>

GURGEL, A. M.; BÚRIGO, A. C.; FRIEDRICH, K.; AUGUSTO, L. G. S.. **Agrotóxicos e saúde**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2018.

GURGEL, A. M.; GUEDES, C. A.; FRIEDRICH, K.. Flexibilização da regulação de agrotóxicos enquanto oportunidade para a

(necro)política brasileira: avanços do agronegócio e retrocessos para a saúde e o ambiente. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v.57, p.135–159, 2021. DOI: <http://doi.org/10.5380/dma.v57i0.79158>

GURGEL, A. M.; SOUTO, A. S.; GUEDES, C. A.; GUEDES, G. H. F.; PEREIRA, J. A. S.; BEZERRA, V. C. R.. **Espelho sem reflexos: conflitos e vulnerabilidades socioambientais em uma região produtora de cana-de-açúcar**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 2021.

HESS, S. C.. **Parecer técnico n 1/2019**. Curitiba: Ministério Público, 2019.

IARC. Agência Internacional de Pesquisas Sobre o Câncer. **IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans - volume 113 - 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid**. Lyon: IARC, 2015.

IARC. Agência Internacional de Pesquisas Sobre o Câncer. **IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans - volume 112: Some organophosphate insecticides and herbicides - Glyphosate**. Lyon: Iarc, 2017.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Os 10 ingredientes ativos mais vendidos - 2020**. Brasília: IBAMA, 2021.

INCA. Instituto Nacional de Câncer José de Alencar Gomes da Silva. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**. Rio de Janeiro: INCA, 2021.

JACOMINI, A. E.; CAMARGO, P. B.; AVELAR, W. E. P.; BONATO, P. S.. Assessment of ametryn contamination in river water, river sediment, and mollusk bivalves in São Paulo State, Brazil. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.60, n.3, p.452–461, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00244-010-9552-z>

KAMATA, M.; MATSUI, Y.; ASAMI, M.. National trends in pesticides in drinking water and water sources in Japan. **Science of the Total Environment**, v.744, p.140930, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140930>

LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A. A.; WANTZEN, M.; SILVA, C. J.; ZECH, W.. Pesticides in Surface Water, Sediment, and Rainfall of the Northeastern Pantanal Basin, Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v.31, n.5, p.1636–1648, 2002. DOI: <http://doi.org/10.2134/jeq2002.1636>

LOBATO, L. V. C.; COSTA, A. M.; RIZZOTTO, M. L. F.. Reforma da previdência: o golpe fatal na seguridade social brasileira. **Saúde em Debate**, v.43, n.120, p.5–14, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-1104201912000>

MILHOME, M. A. L.; SOUSA, D. O. B.; LIMA, F. A. F.; NASCIMENTO, R. F.. Assessment of surface and groundwater potential contamination by agricultural pesticides applied in the region of Baixo Jaguaribe, CE, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.3, p.363–372, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1590/s1413-41522009000300010>

MILHOME, M. A. L.; SOUSA, P. L. R.; LIMA, F. A. F.; NASCIMENTO, R. F.. Influence the use of pesticides in the quality of surface and groundwater located in irrigated areas. **Int. J. Environ. Res**, v.9, n.1, p.255–262, 2015.

MOREIRA, J. C.; PERES, F.; SIMÕES, A. C.; PIGNATI, W. A.; DORES, E. C.; VIEIRA, S. N.; STRÜSSMANN, C.; MOTT, T.. Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, n.6, p.1557–1568, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600019>

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CRHISTOFFOLETI, P. J.. Alternative herbicides to control glyphosate-resistant biotypes of *Conyza bonariensis* and *C. canadensis*. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p.167–175, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-83582010000100020>

PARÁIBA, L. C.; CERDEIRA, A. L.; SILVA, E. F.; MARTINS, J. S.; COUTINHO, H. L. C.. Evaluation of soil temperature effect on herbicide leaching potential into groundwater in the Brazilian Cerrado. **Chemosphere**, v.53, p.1087–1095, 2003. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00594-0](http://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00594-0)

PERNAMBUCO. **Plano diretor de Regionalização**. Recife: DOE, 2011.

PORTAL, T. P.; PEDLOWSKI, M. A.; ALMEIDA, C. M. S.; CANELA, M. C.. An integrated assessment of water quality in a land reform settlement in northern Rio de Janeiro state, Brazil. **Heliyon**, v.5, n.3, p.e01295, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01295>

RANGEL, C. F.. **Monitoramento de agrotóxicos em águas brutas e tratadas destinadas ao consumo humano, utilizando método multi-resíduos por EFS/CG-EM**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, 2008.

REYNOSO, E. C.; PEÑA, R. D.; REYES, D.; PINEDA, Y. C.; PALCHETTI, I.; TORRES, E.. Determination of glyphosate in water from a rural locality in México and its implications for the population based on water consumption and use habits. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.17, n.19, p.1–16, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/ijerph17197102>

ROSA, A. C. S.; GURGEL, A. M.; FRIEDRICH, K.. **Presença de agrotóxicos em água potável no Brasil**: Parecer técnico do GT de Agrotóxicos da Fiocruz para a Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação no 05, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, para o parâmetro “agrotóxicos.” Rio de Janeiro: GT de Agrotóxicos da Fiocruz, 2020.

SILVA, J. J.; SILVA, B. F.; STRADIOTTO, N. R.; PETROVIĆ, M.; GROS, M.; FERRERO, P. G.. Identification of organic contaminants in vinasse and in soil and groundwater from fertilized sugarcane crop areas using target and suspect screening strategies. **Science of the Total Environment**, v.761, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143237>

SINDIVEG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas**. Brasília: Sindiveg, 2020.

STEFANO, P. H. P.; ROISENBERG, A.; SANTOS, M. R.; DIAS, M. A.; MONTAGNER, C. C.. Unraveling the occurrence of contaminants of emerging concern in groundwater from urban setting: A combined multidisciplinary approach and self-organizing maps. **Chemosphere**, v.299, p.1–8, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134395>

UE. União Europeia. **Commission decision of 10 March 2004 concerning the non-inclusion of atrazine in Annex I to Council Directive 91/414/EEC and the withdrawal of authorisations for plant protection products containing this active substance (notified under document number C)**. Brussels: Official Journal of the European Union, 2004.

UE. União Europeia. **Diretiva (UE) 2015/ 1787 da Comissão - de 6 de outubro de 2015 - que altera os anexos II e III da Diretiva 98/ 83/ CE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano**. Brussels. European Union, 2015.

VANDENBERG, L. N.; COLBORN, T.; HAYES, T. B.; HEINDEL, J. J.; JACOBS, D. R.; LEE, D.-H.; SHIODA, T.; SOTO, A. M.; VOM SAAL, F. S.; WELSHONS, W. V.; ZOELLER, R. T.; MYERS, J. P.; MYERS, J. P.. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: low-dose effects and nonmonotonic dose responses. **Endocrine Reviews**, v.33, n.3, p.378–455, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1210/er.2011-1050>

WAN, Y.; TRAN, T. M.; NGUYEN, V. T.; WANG, A.; WANG, J.; KANNAN, K.. Neonicotinoids, fipronil, chlorpyrifos, carbendazim, chlorotriazines, chlorophenoxy herbicides, bentazon, and selected pesticide transformation products in surface water and drinking water from northern Vietnam. **Science of the Total Environment**, v.750, p.141507, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141507>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.