

Avaliação dos Resultados do Monitoramento de Agrotóxicos em Pontos de Captação em Santo Antônio da Platina, Paraná (2020-2022): Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua)

Priscila Gualberto Teodoro*

Vanessa Nunes Alves*

Resumo: Este estudo realizou a avaliação dos resultados do monitoramento de agrotóxicos em pontos de captação de água bruta no município de Santo Antônio da Platina, Paraná, durante o período de 2020 a 2022, com base em dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua). A análise estatística evidenciou a presença significativa de herbicidas, especialmente Glifosato, Atrazina e Simazina, cujas concentrações frequentemente ultrapassaram os Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela legislação vigente. Essas concentrações elevadas indicam um potencial risco ambiental e à saúde pública, sobretudo considerando o uso intensivo desses agrotóxicos na região agrícola ao redor dos pontos de captação. A distribuição assimétrica dos dados revelou contaminações pontuais intensas, mas a análise foi metodologicamente desafiada pela baixa frequência de amostragem (baixo N) e por anomalias de reporte na base Sisagua (como Desvio Padrão nulo para diversos parâmetros), o que compromete a avaliação do risco. A defasagem de dados, que se encerram em 2022, apesar da consulta em 2025, viola o princípio da transparência e do monitoramento contínuo exigido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, fragilizando a gestão hídrica local. O estudo conclui pela urgência na revisão das práticas agrícolas e na melhoria da qualidade do reporte dos dados brutos no sistema oficial, sendo fundamental a implementação de políticas públicas mais rigorosas para controle e redução do uso desses contaminantes e para garantir a segurança hídrica e a proteção da saúde da população.

Palavras-chave: Qualidade da Água; Análise Documental; Agrotóxicos; Transparência; Segurança Hídrica.

* Instituto de Química – UFCAT: priscilagualbertoteodoro@gmail.com, vanessa.nunes@ufcat.edu.br.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um pilar essencial da saúde pública, do equilíbrio ecossistêmico e da sustentabilidade dos territórios. Em contextos de expansão agrícola, esse recurso assume um papel paradoxal: ao mesmo tempo em que é insumo fundamental para irrigação e outras práticas agroindustriais, os corpos hídricos funcionam como receptores finais de poluentes provenientes do uso intensivo do solo, particularmente agrotóxicos e fertilizantes (Paz; Teodoro; Mendonça, 2000).

Essa dualidade entre desenvolvimento econômico e segurança ambiental representa um dos maiores desafios contemporâneos da gestão hídrica. A situação se agrava especialmente em regiões que têm no agronegócio a base de sua matriz socioeconômica, onde a pressão por produtividade frequentemente sobrepõe-se à conservação ambiental, exigindo políticas públicas eficazes e estratégias de manejo sustentável para mitigar os impactos sobre os recursos hídricos (Soglio; Kubo, 2016).

No Brasil, o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano é regulamentado pela Portaria GM/MS nº 888/2021, a qual estabelece os Valores Máximos Permitidos (VMPs) para dezenas de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Embora o foco primário da norma seja a qualidade da água distribuída após o tratamento, a análise da água bruta, aquela coletada diretamente dos mananciais, constitui uma etapa crucial na vigilância ambiental (Brasil, 2021).

Segundo Bastos et al. (2025), o monitoramento da água bruta permite não apenas antecipar os desafios no processo de tratamento, mas também diagnosticar tendências de degradação ambiental, como a presença crônica de contaminantes emergentes e resíduos de defensivos agrícolas. Essa abordagem preventiva é essencial para subsidiar políticas públicas de proteção dos mananciais, orientar ações de manejo do solo e garantir a segurança hídrica em médio e longo prazo.

Este estudo tem como foco o município de Santo Antônio da Platina, localizado na mesorregião do Norte Pioneiro do estado do Paraná. Com uma população estimada de 44.369 habitantes (IBGE, 2022), o município é banhado por rios da bacia do Rio Jacaré e está inserido em um território caracterizado pelo uso predominante do solo para monoculturas de soja, milho e cana-de-açúcar. Para Setti e De Freitas (2001), essa configuração impõe pressões significativas sobre os recursos hídricos locais, tanto em volume quanto em qualidade, uma vez que a intensificação da

atividade agrícola demanda grandes volumes de água e, simultaneamente, contribui para a degradação dos corpos hídricos.

Pessoa-de-Souza et al. (2017) apontam que o escoamento superficial (runoff) e a lixiviação são as principais vias de transporte de pesticidas e nutrientes para os cursos d'água, agravando o risco de contaminação crônica dos mananciais utilizados para abastecimento público. Esses processos são intensificados em períodos de chuva, quando o solo saturado não consegue reter os compostos químicos aplicados nas lavouras, favorecendo seu deslocamento até os rios e córregos. Deste modo, compreender a dinâmica hidrológica e o uso do solo na região é fundamental para subsidiar ações de monitoramento e mitigação dos impactos sobre a qualidade da água.

Dentre os contaminantes de maior preocupação estão os herbicidas como atrazina, simazina e glifosato, amplamente utilizados nas culturas de larga escala e frequentemente detectados em amostras de água em concentrações próximas ou superiores aos limites recomendados pela legislação. A persistência desses compostos no ambiente e seu potencial de bioacumulação elevam os riscos para organismos aquáticos e para a saúde humana, particularmente em populações que consomem água de forma contínua ao longo do tempo (Monquero; Silva; 2021).

Neste contexto, o papel das concessionárias de abastecimento e dos órgãos de controle na geração e divulgação de informações torna-se central. A Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) é a responsável pelo fornecimento de água tratada em Santo Antônio da Platina e possui o dever legal e ético de realizar o monitoramento contínuo dos mananciais utilizados para captação, bem como divulgar os dados de forma clara, acessível e periódica, conforme estabelecido pela legislação federal e estadual vigente.

Esta pesquisa é de natureza estritamente documental e bibliográfica, com base em dados públicos disponíveis *online* por meio do Sisagua e em literatura científica nacional e internacional. O objetivo deste artigo é avaliar os níveis de contaminação por agrotóxicos detectados na água bruta do município de Santo Antônio da Platina entre 2020 e 2022, bem como analisar a clareza, consistência e acessibilidade das informações divulgadas pelo sistema de vigilância.

Mais do que uma simples verificação de conformidade com os Valores Máximos Permitidos (VMPs) estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, o estudo busca

discutir se os dados disponibilizados no Sisagua permitem uma avaliação realista dos riscos ambientais e sanitários associados ao consumo de água em uma região de forte influência agroindustrial.

Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a qualidade da água bruta e a política de transparência de dados no município de Santo Antônio da Platina – PR, com ênfase na presença de agrotóxicos e na comunicação pública dessas informações. Especificamente, busca-se levantar e sistematizar os dados públicos disponíveis no Sisagua entre os anos de 2020 e 2022; comparar os parâmetros encontrados com os limites estabelecidos pela legislação vigente; identificar a frequência e o escopo das análises realizadas para agrotóxicos no período analisado; e discutir, à luz da literatura científica, as possíveis implicações da presença (ou ausência) de determinados contaminantes para a saúde pública, a segurança hídrica e a gestão ambiental no contexto local.

Trata-se, portanto, de uma pesquisa de caráter científico e relevância social, com potencial para subsidiar ações futuras de gestão participativa, fortalecimento da educação ambiental e formulação de políticas públicas baseadas em evidências. Ao promover a reflexão sobre a transparência e o acesso à informação no setor de saneamento, o estudo contribui para o fortalecimento da cidadania ambiental e para a consolidação de práticas mais responsáveis na gestão dos recursos hídricos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A avaliação da presença de agrotóxicos na água destinada ao abastecimento público em regiões de intensa atividade agrícola exige uma abordagem interdisciplinar. Mais do que uma questão técnico-analítica, trata-se de um problema socioambiental que envolve riscos difusos, desigualdades territoriais e lacunas na governança da informação (Rebelo; Caldas, 2014).

Agrotóxicos são compostos sintéticos desenvolvidos com o propósito de exercer ação biocida seletiva, ou seja, de interferir em processos metabólicos específicos de organismos considerados pragas agrícolas. Essa seletividade, no entanto, não impede que esses compostos interajam com organismos não alvo e com os diversos compartimentos ambientais, especialmente a água. Seu comportamento no ambiente é regulado por propriedades físico-químicas como a solubilidade em

água, o coeficiente de adsorção ao solo (K_{oc}) e a meia-vida ambiental ($t_{1/2}$), que influenciam diretamente sua mobilidade, persistência e potencial de bioacumulação (Lopes; Albuquerque, 2018).

Moléculas como atrazina, glifosato e 2,4-D, entre as mais empregadas no contexto agrícola brasileiro, apresentam elevada solubilidade e baixa afinidade com o solo, o que favorece sua lixiviação e transporte via escoamento superficial. Essas características explicam sua recorrente detecção em mananciais superficiais e subterrâneos, inclusive em áreas distantes dos pontos originais de aplicação (Lima et al., 2023).

A presença contínua desses contaminantes na água é agravada pelo modelo de uso intensivo e repetitivo adotado nas bacias hidrográficas dominadas pelo agronegócio, onde os ciclos de plantio e colheita demandam aplicações sucessivas ao longo do ano. Esse padrão cria condições para o acúmulo e a recirculação de resíduos químicos no ambiente, formando zonas de exposição crônica, regiões onde a água de rios, córregos ou aquíferos contém traços constantes de múltiplos agrotóxicos, mesmo que em concentrações abaixo dos limites legais de potabilidade (Dellamatrice; Monteiro, 2014).

Essa exposição prolongada e combinada, muitas vezes invisibilizada pelos atuais sistemas de monitoramento, representa um risco subestimado à saúde humana e à integridade dos ecossistemas aquáticos, especialmente em contextos onde o abastecimento público depende diretamente da captação de água bruta dessas fontes contaminadas (Bicudo, Tundisi; 2010).

Embora muitas das concentrações detectadas de agrotóxicos na água estejam tecnicamente dentro dos limites legais estabelecidos pela legislação brasileira, diversos estudos científicos têm alertado que a exposição contínua, mesmo em doses muito baixas, pode desencadear efeitos adversos à saúde humana. Entre os principais impactos destacam-se a disfunção endócrina, alterações imunológicas, neurodesenvolvimento comprometido e potenciais efeitos carcinogênicos, especialmente em populações vulneráveis como gestantes, crianças e trabalhadores rurais (Friedrich, 2014).

Por exemplo, a atrazina é reconhecida como disruptor endócrino: pesquisas com modelos animais evidenciam impacto na esteroidogênese testicular, com aumento da atividade da aromatase, redução da 3β HSD e atrofia nos testículos,

sugerindo potencial irreversibilidade mesmo após cessado o contato. Em humanos, há estudos epidemiológicos associando exposição a ciclagem menstrual prolongada e níveis reduzidos de estradiol e progesterona (Medeiros, Acayaba; Montagner, 2021).

Segundo Aguiar Júnior et al. (2018), para investigar e quantificar a presença desses agrotóxicos e seus metabólitos na água, especialmente nas concentrações de traço exigidas pela legislação (como os VMPs), são indispensáveis técnicas analíticas de alta sensibilidade e seletividade. A etapa inicial e crucial é o preparo da amostra, que geralmente envolve a Extração em Fase Sólida (SPE). Este procedimento visa concentrar os analitos (compostos-alvo) e isolá-los da matriz complexa da água, eliminando interferentes que poderiam comprometer a análise.

Segundo Tolentino Júnior et al. (2021), após o preparo, as técnicas de separação e quantificação mais utilizadas são a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) e a Cromatografia Gasosa (GC), quase sempre acopladas à Espectrometria de Massas (MS). O acoplamento HPLC-MS/MS é a escolha primária para compostos polares e termicamente instáveis, como o Glifosato, seu metabólito AMPA, a Atrazina e a Simazina.

Já a GC-MS é frequentemente utilizada para agrotóxicos mais voláteis. A detecção em tandem (MS/MS) é vital, pois permite a identificação e quantificação simultânea de múltiplos compostos (multirresíduos) em níveis de $\mu\text{g/L}$ ou ng/L , garantindo a especificidade e os baixos Limites de Detecção (LD) requeridos para atender aos padrões da Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021).

A Portaria GM/MS nº 888/2021 ampliou o número de parâmetros e impôs padrões analíticos mais rigorosos que sua antecessora (Portaria nº 2914/2011), porém mantém uma abordagem fragmentada, centrada na avaliação individualizada de substâncias. A baixa frequência amostral, a limitação dos limites de detecção legalmente exigidos e a subnotificação de contaminantes emergentes restringem o potencial protetivo da regulação vigente (Soares; Franco; Assis, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é uma pesquisa qualitativa, quantitativa e documental, baseada na análise sistemática de dados secundários públicos referentes à presença de resíduos de agrotóxicos na água bruta destinada ao abastecimento público do município de

Santo Antônio da Platina, localizado no estado do Paraná, no período compreendido entre os anos de 2020 e 2022.

A escolha deste recorte temporal foi determinada pela disponibilidade dos dados oficiais provenientes dos sistemas de monitoramento ambiental estaduais e da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). O foco da pesquisa é avaliar a conformidade com os limites legais de potabilidade e analisar a transparência da divulgação dessas informações por parte das instituições responsáveis.

A coleta de dados ocorreu exclusivamente por meio da obtenção de documentos técnicos, relatórios oficiais e bases de dados disponíveis em portais públicos, especialmente no sistema de dados abertos da Sanepar. Estes documentos continham informações detalhadas sobre a concentração de diversas substâncias químicas classificadas como agrotóxicos, além de metadados como data e local da coleta.

Cada registro incluía o nome da substância ou seu metabólito (exemplo: Atrazina, Glifosato, Simazina), o valor da concentração detectada em microgramas por litro ($\mu\text{g/L}$), e o total de amostras coletadas. Para garantir a abrangência da análise, foram coletados todos os dados disponíveis referentes aos três anos indicados.

Os arquivos obtidos foram organizados em um banco de dados único no ambiente RStudio, utilizando as versões atualizadas dos pacotes dplyr e tidyr para o tratamento e padronização dos dados. Inicialmente, foram corrigidas inconsistências de nomenclatura e formatação textual, de modo a uniformizar os nomes das substâncias e facilitar as análises subsequentes.

Para tratar os valores inferiores ao Limite de Detecção (LD), que são reportados como "MENOR_LD" na base de dados, foi adotada a técnica de imputação. Seguindo o consenso metodológico em estudos de qualidade da água, esses valores foram substituídos por metade do Limite de Detecção ($\text{LD}/2$), de modo a evitar a distorção da Média e do Somatório Total dos agrotóxicos que ocorreria caso as amostras fossem simplesmente removidas (tratadas como NA).

Em seguida, foram conduzidas análises descritivas por substância e por ano, calculando-se a média, mediana, valores máximo e mínimo, desvio padrão e o número total de amostras analisadas. Estes indicadores permitiram mapear a distribuição dos

resíduos químicos nas amostras, bem como observar a variabilidade e possíveis picos de contaminação em determinados períodos.

Para verificar a adequação dos dados a distribuições normais, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk, adotando um nível de significância de 5%. A rejeição da hipótese de normalidade conduziu à escolha de métodos não paramétricos para as análises inferenciais.

Para comparar as concentrações entre os diferentes agrotóxicos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, apropriado para dados não normais, buscando identificar diferenças estatísticas significativas entre os grupos. Quando o teste global indicou significância ($p < 0,05$), aplicou-se o teste post hoc de Dunn com correção de Bonferroni para múltiplas comparações, identificando quais pares específicos de substâncias apresentaram diferenças estatísticas relevantes. Os resultados foram apresentados em termos de valores Z, p-ajustados e interpretados de acordo com os critérios estatísticos vigentes.

Paralelamente, a avaliação da conformidade dos resultados com a legislação vigente foi realizada mediante comparação direta das concentrações detectadas com os Valores Máximos Permitidos (VMPs) estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Para cada substância, foi quantificada a quantidade absoluta e percentual de amostras que ultrapassaram esses limites legais. Inclusive, calculou-se o multiplicador do VMP, que expressa quantas vezes a concentração média excede o limite permitido, oferecendo um indicador quantitativo do potencial risco à saúde pública.

As análises estatísticas foram complementadas por representações gráficas elaboradas com o pacote ggplot2, que incluíram boxplots para visualização da distribuição das concentrações e gráficos de barras para evidenciar a frequência de amostras acima dos limites legais. Essas visualizações facilitaram a identificação de padrões, assimetrias e a presença de valores extremos, importantes para a interpretação dos resultados.

Todos os procedimentos adotados foram rigorosamente documentados. Os scripts utilizados para tratamento, análise estatística e geração de gráficos foram organizados e disponibilizados em repositório público, no GitHub através do link <https://github.com/23150255057-prog/TCC-UFCAT---Especializa-o-em-An-lises-Qu-micas-Ambientais..git>, garantindo a transparência e reprodutibilidade do estudo. Essa

abordagem possibilita que pesquisadores futuros tenham acesso não apenas aos dados, mas também ao passo a passo metodológico completo, permitindo a replicação exata da análise ou sua adaptação para outras localidades ou períodos.

Este estudo assegura a fidelidade na avaliação da qualidade da água bruta em Santo Antônio da Platina, oferece embasamento técnico para a discussão crítica dos resultados e contribui para a melhoria contínua do monitoramento ambiental e da segurança hídrica local.

RESULTADOS

A análise estatística descritiva das concentrações de agrotóxicos detectadas nas amostras de água bruta no município de Santo Antônio da Platina, entre 2020 e 2022, conforme Tabela 1, revelou variações significativas tanto em magnitude quanto em dispersão. Em 2020, observou-se uma média de concentração de 0,0325 µg/L, com mediana de 0,03 µg/L, valor máximo de 0,06 µg/L e mínimo de 0,006 µg/L. Já em 2021 e 2022, as médias aumentaram substancialmente para 2,09 µg/L e 3,76 µg/L, respectivamente, mantendo as medianas em 0,06 µg/L em ambos os anos.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas anuais das concentrações totais de agrotóxicos (µg/L)

Ano	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	N (coletas)
2020	0.0325	0.03	0.06	0.006	0.0195	22
2021	2.09	0.06	60.6	0.006	10.8	62
2022	3.76	0.06	60.6	0.006	14.3	68

Fonte: elaborado pela autora (2025).

O valor máximo registrado foi de 60,6 µg/L nos dois últimos anos, indicando a presença de valores extremamente elevados em algumas amostras. O aumento expressivo do desvio padrão em 2021 (10,8) e 2022 (14,3), em comparação com 2020 (0,0195), reforça a hipótese de elevada variabilidade nos dados, possivelmente atribuída a *outliers* ou à concentração acentuada de determinados compostos em locais específicos.

Esses resultados sugerem que, embora a mediana permaneça baixa ao longo dos três anos, o que indica que a maioria das amostras possui concentrações reduzidas, há ocorrências pontuais de contaminações intensas, que influenciam

substancialmente a média e o desvio padrão. Essa característica assimétrica da distribuição foi confirmada estatisticamente por meio do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, que indicou a necessidade de utilização de testes não paramétricos, conforme evidenciado na tabela 2.

Tabela 2 - Teste de normalidade de Shapiro-Wilk

Ano	p-valor	Interpretação
2020	0.00153	Não normal
2021	7.8×10^{-17}	Não normal
2022	9.01×10^{-17}	Não normal

Fonte: Elaborado pela Autora.

Uma análise inicial sobre a frequência de monitoramento (N de coletas) por parâmetro revelou uma limitação crítica na base de dados do Sisagua. Para diversos agrotóxicos, o número de amostras coletadas ao longo de três anos foi extremamente baixo (ex: Mancozebe e Metamidofós com apenas 2 amostras), o que reflete uma limitação do monitoramento legal exigido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, e não a frequência ideal para se capturar a dinâmica da contaminação.

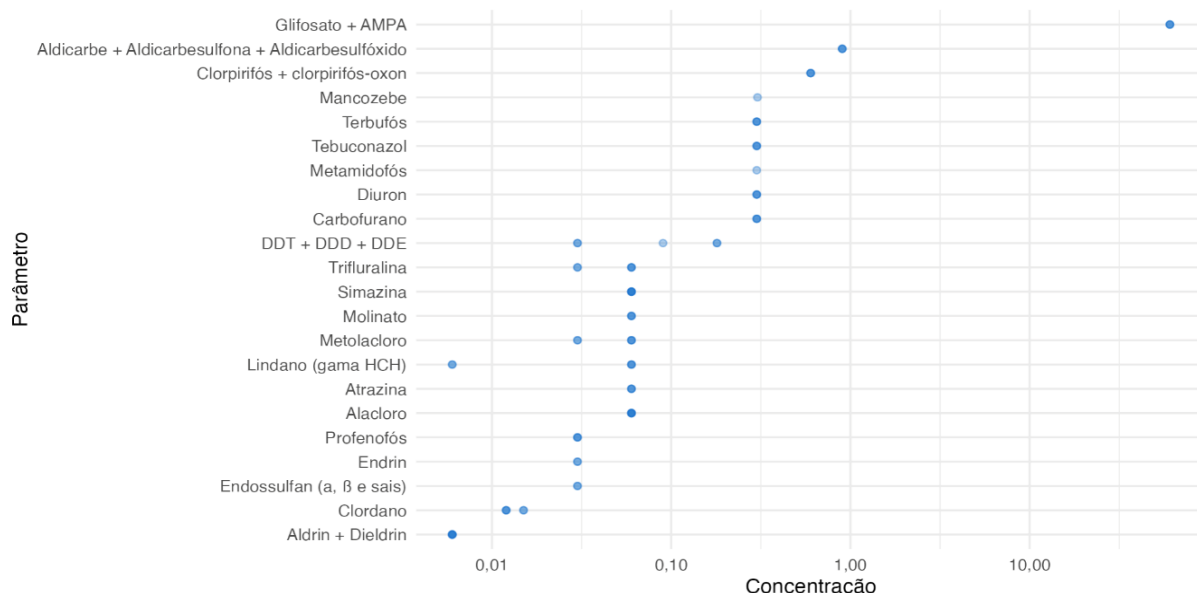
Este baixo N de amostras está diretamente relacionado a uma característica atípica observada nas estatísticas descritivas (Tabela 5), onde, para vários parâmetros, os valores de Média, Mediana, Mínimo e Máximo estão idênticos, resultando em Desvio Padrão (sigma) igual a zero.

Esta coincidência nos resultados (que gerou insegurança na análise inicial) não é um erro de cálculo, mas sim um artefato do reporte dos dados públicos. A invariabilidade estatística sugere que, na maioria das aferições, o valor exato da concentração detectada não foi reportado, sendo substituído por um valor constante (provavelmente o Limite de Quantificação - LQ) ou pela ausência de variação significativa nos poucos momentos de detecção.

Para complementar a análise estatística descritiva, a Figura 1 apresenta a distribuição das concentrações dos principais agrotóxicos detectados nas amostras de água bruta. Devido ao baixo N de amostras para vários parâmetros (Tabela 5), o *Boxplot* foi substituído pelo Gráfico de Pontos (*Dot-Plot*), que evidencia a elevada variabilidade das concentrações, destacando a presença de valores extremos, especialmente para o grupo Glifosato + AMPA e Aldicarbe com seus metabólitos. Observa-se também que substâncias como Alacloro, Atrazina e Simazina apresentam

concentrações mais homogêneas e menores em comparação com os demais compostos.

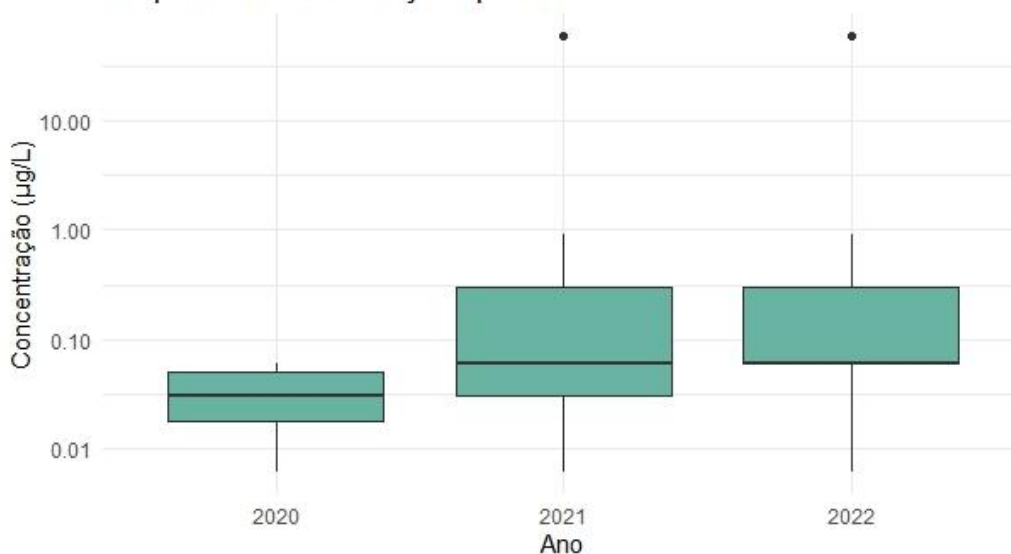
Figura1 – Distribuição das concentrações de agrotóxicos por substância (Gráfico de Pontos - Dot-Plot).



Fonte: Elaborado pela autora.

O boxplot das concentrações por parâmetro permite uma visualização rápida da distribuição dos dados, destacando a mediana, a dispersão (via quartis), a presença de outliers e a assimetria em cada período.

Figura 2 – Boxplot das concentrações por ano.
Boxplot das concentrações por ano



Fonte: Elaborado pela autora.

A visualização por meio do Gráfico de Pontos reforça os resultados estatísticos previamente discutidos, demonstrando a assimetria na distribuição das concentrações e confirmando a necessidade de aplicação de testes não paramétricos para análise inferencial. O gráfico ajuda a ilustrar a frequência e magnitude das concentrações acima dos Valores Máximos Permitidos (VMPs), especialmente para o Glifosato + AMPA, cujo impacto potencial sobre a qualidade da água torna-se evidente, cujos resultados detalhados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparações múltiplas entre compostos (Teste de Dunn com correção de Bonferroni)

Comparação	Z	p-ajustado	Interpretação
Alacloro vs Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	-3.40	0.0067	Estatisticamente significativa
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido vs Atrazina	3.04	0.0235	Estatisticamente significativa
Alacloro vs Glifosato + AMPA	-4.68	0.000029	Estatisticamente significativa
Atrazina vs Glifosato + AMPA	-4.18	0.000289	Estatisticamente significativa
Alacloro vs Simazina	0	1	Não estatisticamente significativa
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido vs Simazina	3.40	0.0067	Estatisticamente significativa
Glifosato + AMPA vs Simazina	4.68	0.000029	Estatisticamente significativa

Fonte: Elaborado pela autora.

O teste de Kruskal-Wallis, aplicado para comparar as concentrações de agrotóxicos entre diferentes parâmetros, identificou diferenças estatisticamente significativas ($\chi^2=21,29$; $p < 0,001$), rejeitando-se, portanto, a hipótese nula de homogeneidade entre os grupos. Para investigar quais pares apresentaram tais diferenças, foi realizado o teste de Dunn com correção de Bonferroni, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparações entre parâmetros (teste de Dunn)

Comparação	p-valor	Diferença significativa?
Glifosato + AMPA × Alacloro	< 0,001	Sim
Glifosato + AMPA × Atrazina	< 0,001	Sim
Glifosato + AMPA × Simazina	< 0,001	Sim

Comparação	p-valor	Diferença significativa?
Aldicarbe (e metabólitos) × Alacloro	< 0,001	Sim
Aldicarbe × Atrazina	< 0,001	Sim
Aldicarbe × Simazina	< 0,001	Sim
Glifosato + AMPA × Aldicarbe	> 0,05	Não
Alacloro × Atrazina	> 0,05	Não
Alacloro × Simazina	> 0,05	Não
Atrazina × Simazina	> 0,05	Não

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados, conforme detalhado na Tabela 2, indicaram que as concentrações de Glifosato + AMPA foram estatisticamente superiores às de Alacloro, Atrazina e Simazina ($p < 0,001$), destacando-se como o parâmetro mais crítico em termos de contaminação. Também foi observada diferença significativa entre Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido e os demais compostos, com exceção do próprio Glifosato + AMPA, com o qual não apresentou distinção estatística significativa. Por outro lado, Alacloro, Atrazina e Simazina apresentaram concentrações semelhantes entre si, sem diferenças estatísticas relevantes.

Na análise de conformidade com os Valores Máximos Permitidos (VMP), conforme estabelecidos pela legislação vigente (Portaria GM/MS nº 888/2021), os dados apontaram que três compostos apresentaram 100% das amostras analisadas acima do limite legal: Atrazina, Simazina e Glifosato + AMPA, como demonstrado pela Tabela 5.

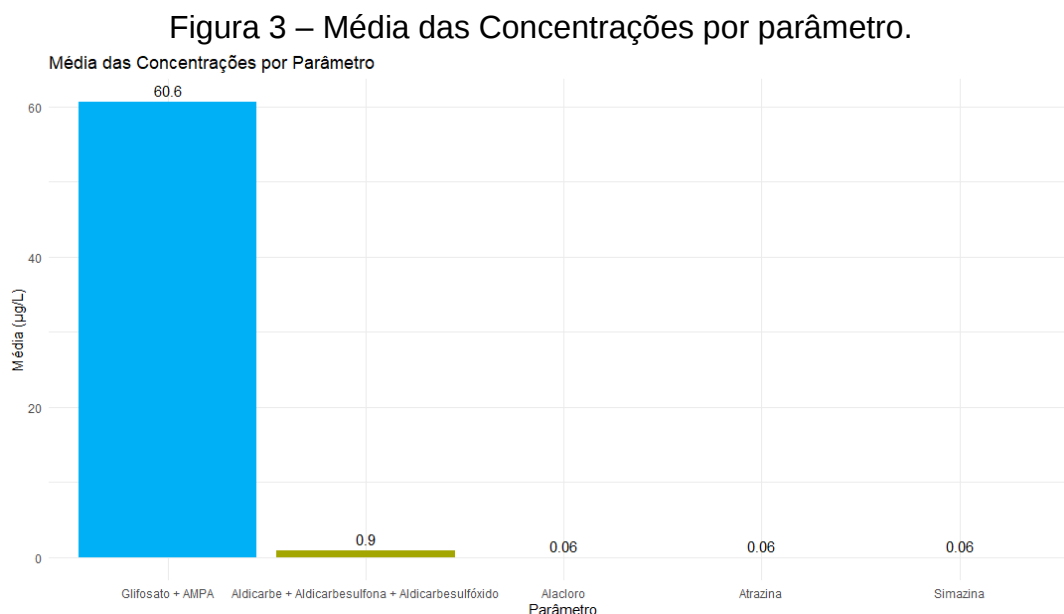
Tabela 5 – Estatísticas e conformidade dos parâmetros analisados com os VMPs

Parâmetro	Total Amostras	Acima do VMP	% Acima do VMP	Média (µg/L)	Mediana (µg/L)	Máximo (µg/L)	Mínimo (µg/L)
Atrazina	6	6	100	0.060	0.060	0.060	0.060
Glifosato + AMPA	6	6	100	60.600	60.600	60.600	60.600
Simazina	10	10	100	0.060	0.060	0.060	0.060
Alacloro	10	0	0	0.060	0.060	0.060	0.060
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	6	0	0	0.900	0.900	0.900	0.900
Aldrin + Dieldrin	10	0	0	0.006	0.006	0.006	0.006
Carbofurano	6	0	0	0.300	0.300	0.300	0.300
Clordano	10	0	0	0.013	0.012	0.015	0.012

Parâmetro	Total Amostras	Acima do VMP	% Acima do VMP	Média (µg/L)	Mediana (µg/L)	Máximo (µg/L)	Mínimo (µg/L)
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	6	0	0	0.600	0.600	0.600	0.600
DDT + DDD + DDE	10	0	0	0.102	0.105	0.180	0.030
Diuron	6	0	0	0.300	0.300	0.300	0.300
Endossulfan (α, β e sais)	4	0	0	0.030	0.030	0.030	0.030
Endrin	4	0	0	0.030	0.030	0.030	0.030
Lindano (gama HCH)	10	0	0	0.033	0.030	0.060	0.006
Mancozebe	2	0	0	0.303	0.303	0.303	0.303
Metamidofós	2	0	0	0.300	0.300	0.300	0.300
Metolacoloro	10	0	0	0.045	0.045	0.060	0.030
Molinato	6	0	0	0.060	0.060	0.060	0.060
Profenofós	6	0	0	0.030	0.030	0.030	0.030
Tebuconazol	6	0	0	0.300	0.300	0.300	0.300
Terbufós	6	0	0	0.300	0.300	0.300	0.300
Trifluralina	10	0	0	0.045	0.045	0.060	0.030

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 3 mostra a média das concentrações por parâmetro, destacando visualmente a disparidade expressiva do Glifosato + AMPA em relação aos demais.



Fonte: Elaborado pela autora.

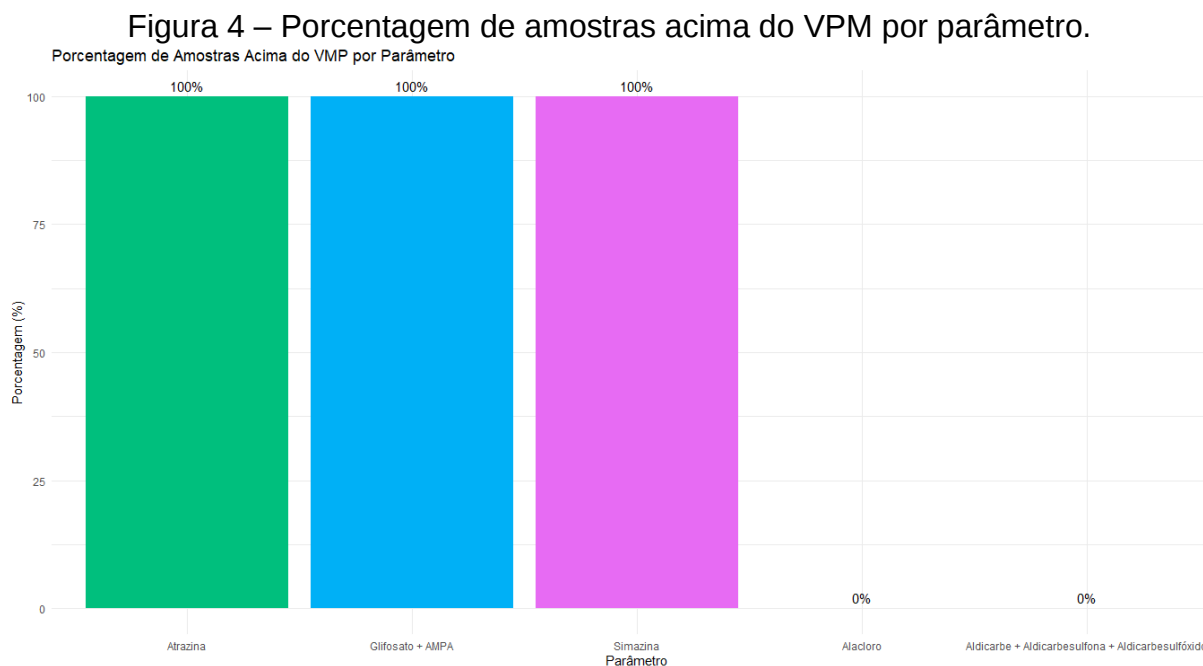
Adicionalmente, a Tabela 6 mostra que o Glifosato + AMPA excedeu seu VMP em 121 vezes, enquanto Atrazina e Simazina superaram os respectivos limites em 30 vezes cada.

Tabela 6 - Comparação das substâncias prioritárias com os respectivos VMPs.

Substância	Média (µg/L)	VMP (µg/L)	% de amostras acima do VMP	Multiplicador do VMP
Glifosato + AMPA	60,6	0,5	100%	121x
Atrazina	0,06	0,002	100%	30x
Simazina	0,06	0,002	100%	30x
Alacloro	~0,001	0,03	0%	—
DDT + DDD + DDE	~0,0005	0,002	0%	—
Lindano (γ-HCH)	~0,001	0,2	0%	—
Diuron, Carbofurano, etc.	<0,002	Variável	0%	—

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 4 sintetiza a porcentagem de amostras que excederam os VMPs por parâmetro, reforçando a gravidade da contaminação por Glifosato + AMPA, Atrazina e Simazina.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os demais compostos apresentaram conformidade em todas as amostras analisadas, com concentrações médias e medianas baixas, o que sugere um cenário

de risco controlado para essas substâncias. Destaca-se, no entanto, que alguns compostos como DDT + DDD + DDE apresentaram maior amplitude nos valores, o que pode estar relacionado a fatores sazonais ou históricos de uso.

A predominância da contaminação por herbicidas como Atrazina, Simazina e Glifosato evidencia o uso intensivo e persistente desses compostos na área de captação. Isso reforça a necessidade de revisão das práticas agrícolas e de fortalecimento dos mecanismos de fiscalização.

Do ponto de vista normativo, a análise revela que a defasagem dos dados no Sisagua (últimos disponíveis até 2022) compromete o cumprimento da própria Portaria GM/MS nº 888/2021, que prevê monitoramento contínuo. Essa lacuna fragiliza a capacidade do Estado em reagir a contaminações recentes e fere o princípio da precaução.

CONCLUSÕES

A análise documental realizada neste estudo permitiu avaliar criticamente a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público no município de Santo Antônio da Platina, no estado do Paraná, com foco especial nos parâmetros físico-químicos e na presença de contaminantes emergentes, como os agrotóxicos.

Os resultados indicaram que embora os parâmetros tradicionais como pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos e coliformes permaneçam dentro dos limites estabelecidos pela legislação sanitária, há uma lacuna significativa no controle de substâncias oriundas do uso agrícola intensivo, evidenciada também pelas anomalias estatísticas na própria base de dados. Os herbicidas Glifosato + AMPA, Atrazina e Simazina, que ultrapassaram em 100% das amostras os Valores Máximos Permitidos (VMP) pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Apesar da consulta ao Sisagua ter sido realizada em 2025, os dados mais recentes disponíveis referem-se apenas ao triênio de 2020 a 2022, evidenciando uma preocupante defasagem nas informações oficiais. Essa lacuna temporal é agravada pela baixa frequência de amostragem (N reduzido de aferições por parâmetro), a qual reflete o mínimo exigido legalmente, mas compromete a validade de análises de séries temporais e a detecção de picos de contaminação. Metodologicamente, a baixa frequência e o problema de reporte dos valores (que resultou em Desvio Padrão zero

para vários parâmetros) exigiram a adoção da técnica de imputação LD/2 e a adaptação das visualizações gráficas para o Gráfico de Pontos (*Dot-Plot*).

Essa combinação de defasagem e monitoramento insuficiente compromete o cumprimento da própria Portaria vigente, que exige monitoramento contínuo e atualizado para garantir a segurança da água destinada ao consumo humano. Essa lacuna temporal também compromete a capacidade de resposta das autoridades sanitárias e ambientais, fragilizando a gestão do risco e expondo a população a uma possível contaminação prolongada.

Os achados apontam para a necessidade urgente de revisão das práticas agrícolas no entorno das áreas de captação, especialmente quanto ao uso de herbicidas com histórico de recorrência e persistência no ambiente. A sistematização e atualização dos dados de monitoramento, bem como a melhoria na qualidade do reporte dos dados brutos (evitando a coincidência de Mínimo/Máximo/Média) e sua divulgação em linguagem acessível e com granularidade adequada, devem ser tratadas como componentes estruturantes das políticas públicas de segurança hídrica.

A transparência ativa na comunicação desses dados é fundamental para fortalecer os mecanismos de controle social e garantir a participação cidadã, conforme preconizado pela Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527/2011) e pela Política Nacional de Recursos Hídricos.

Conclui-se que embora o sistema de abastecimento local apresente bons indicadores operacionais nos parâmetros clássicos de potabilidade, ele ainda é insuficiente para lidar com os desafios impostos pela intensificação do uso de agrotóxicos na região.

Torna-se imprescindível a adoção de políticas públicas voltadas à redução do uso de agrotóxicos, especialmente aqueles já identificados como prioritários para controle, bem como o fortalecimento da fiscalização ambiental e do planejamento territorial com base em evidências científicas.

Além da atualização permanente dos sistemas de monitoramento e da correção da forma de reporte dos dados, estudos futuros devem ser estimulados com o objetivo de aprofundar a avaliação dos riscos à saúde humana decorrentes da exposição crônica a resíduos de agrotóxicos na água de abastecimento. Investigações complementares podem incluir análises de bioacumulação em organismos aquáticos, avaliação da eficiência do sistema de tratamento de água na remoção desses

compostos e pesquisas voltadas à percepção da população sobre a qualidade da água e os riscos ambientais associados.

Nesse sentido, este estudo contribui para a construção de um diagnóstico mais preciso sobre a segurança hídrica em áreas de uso agrícola intensivo, oferecendo subsídios técnicos e científicos para a formulação de ações preventivas, integradas e baseadas em dados, voltadas à proteção da saúde pública e dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR JÚNIOR, C. A. S. et al. Extração em fase sólida de resíduos de agrotóxicos de água superficial, empregando um sorvente de menor retenção. **Química Nova**, [S. l.], v. 41, n. 6, p. 641-647, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/n6X3DP4zMsQ9HTL9Thch9tR/?lang=pt>> Acesso em: 1 out. 2025.

BASTOS, R. K. X. et al. I 1209 – Revisão da Norma Brasileira de Qualidade da Água para Consumo Humano: Padrão de Potabilidade e Planos de Amostragem. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 33., 2025, [S. l.]. Anais eletrônicos... Brasília: ABES, 2025. Disponível em: <https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/32cbesa/1209_tema_i.pdf> Acesso em: 8 jul. 2025.

BICUDO, C. E.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (ed.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. Disponível em: <<https://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6820.pdf>> Acesso em: 12 jul. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Santo Antônio da Platina (PR): população no último censo: 44.369 habitantes. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/santo-antonio-da-platina.html>> Acesso em: 8 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. 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... **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 85, p. 127, 7 maio 2021. Disponível em:
<https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_re p.html> Acesso em: 1 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA). **Tabela de Resultados Completa**: monitoramento de substâncias químicas e radioatividade. Brasília: Ministério da Saúde, [2025]. Disponível em:
<https://infoms.saude.gov.br/extensions/SEIDIGI_DEMAS_SISAGUA_MENU_SEMESTRAL/SEIDIGI_DEMAS_SISAGUA_MENU_SEMESTRAL.html>
Acesso em: 21 jul. 2025.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Main aspects of the pollution in Brazilian rivers by pesticides. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 18, p. 1296-1301, 2014. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KTDWxjKS9f6gwG8tYPNMzss/>> Acesso em: 11 jul. 2025.

FRIEDRICH, K. **Avaliação dos efeitos tóxicos sobre o sistema reprodutivo, hormonal e câncer para seres humanos após o uso do herbicida 2, 4-D**. 2014. Não paginado. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:
<<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/25686>> Acesso em: 13 jul. 2025.

LIMA, B. F. et al. Revisão sobre fatores físicos e químicos dos herbicidas no solo, destacando o conceito de lixiviação e seu potencial. **Cultivando o Saber**, v. 16, n. 2, p. 68-84, 2023. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/profile/Kassio-Mendes-2/publication/377201332_REVISAO_SOBRE_FATORES_FISICOS_E_QUIMICOS_DOS_HERBICIDAS_NO_SOLO_DESTACANDO_O_CONCEITO_DE_LIXIVIACAO_E_SEU_POTENCIAL/links/659c64260bb2c7472b3cb953/REVISAO-SOBRE-FATORES-FISICOS-E-QUIMICOS-DOS-HERBICIDAS-NO-SOLO-

DESTACANDO-O-CONCEITO-DE-LIXIVIAÇÃO-E-SEU-POTENCIAL.pdf>

Acesso em: 11 jul. 2025.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/sdeb/a/bGBYRZvVVKMrV4yzqfwwKtP/>> Acesso em: 10 jul. 2025.

MEDEIROS, J. F. de; ACAYABA, R. D.; MONTAGNER, C. C. A química na avaliação do impacto à saúde humana diante da exposição aos pesticidas.

Química Nova, [S. l.], v. 44, p. 584-598, 2021. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/qn/a/6R4tGBLRSpsJ3cSmZLBcNCs>> Acesso em: 12 jul. 2025.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V. da. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: MONQUERO, P. A. (org.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**.

São Carlos: RiMa Editora, 2014. p. 253-294. Disponível em:

<https://www.matologia.com/_files/ugd/1a54d2_3829fc6f7e9145f8bbdc7a2eecaafd4d3.pdf#page=253> Acesso em: 9 jul. 2025.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FWpZyggjyVwnxN8v4rbq9c/>> Acesso em: 7 jul. 2025.

PESSOA-DE-SOUZA, M. A. et al. Remoção de agrotóxicos por escoamento superficial – Princípios e práticas. **Cadernos de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 119-125, 2017. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1087792/1/HeleniceRemocaodeagrotoxicosporescoamentosuperficial.pdf>> Acesso em: 9 jul. 2025.

REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. **Química Nova**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 1199-1208, 2014. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/qn/a/j9kf4bTBsgnDg9hFbj4cvWz/?lang=pt>> Acesso em: 9 jul. 2025.

SETTI, A. A.; FREITAS, M. A. V. de. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em:
<https://lamorh.ufes.br/sites/lamorh.ufes.br/files/field/anexo/introducao_ao_gerenciamento_de_recursos_hidricos.pdf> Acesso em: 8 jul. 2025.

SOARES, A. F. S.; FRANCO, R.; ASSIS, J. M. G. de. Análise preliminar da nova portaria de potabilidade da água (PRT GM/MS N 888/2021). In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 12., 2021, Salvador. Anais eletrônicos... Salvador: IBEAS, 2021. p. 8-11. Disponível em:
<<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2021/V-002.pdf>> Acesso em: 14 jul. 2025.

SOGLIO, F. D.; KUBO, R. R. (org.). **Desenvolvimento, agricultura e sustentabilidade**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2016. (Série Educação a Distância, 24). Disponível em:
<<https://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad105.pdf>> Acesso em: 7 jul. 2025.

TOLENTINO JÚNIOR, D. S. T. et al. Review on liquid chromatography coupled with mass spectrometry applied to food toxicological analysis. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. e47910515419, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.15419. Disponível em:
<<https://rsdjournal.org/rsd/article/view/15419>> Acesso em: 1 out. 2025.