

Contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos na região central do Rio Grande do Sul, Brasil

Contamination of water resources by pesticides in the region center of Rio Grande do Sul, Brazil

Contaminación de los recursos hídricos por plaguicidas en la región central de Rio Grande do Sul, Brasil

Recebido: 29/07/2020 | Revisado: 03/08/2020 | Aceito: 10/08/2020 | Publicado: 16/08/2020

Evandro de Oliveira Lucas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1360-1177>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: evandrodeoliveiralucas@gmail.com

Janaina Tauil Bernardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2461-5910>

Universidade do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: janaina-bernardo@uergs.edu.br

Marilise Oliveira Mesquita

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4415-2386>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: marilisemesquita@gmail.com

José Antônio Kroeff Schmitz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4013-0999>

Universidade do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: jose-schmitz@uergs.edu.br

Resumo

O aumento na utilização de agrotóxicos na agricultura pode trazer graves consequências ao meio ambiente e à saúde da população, que consumir alimentos e água com resíduos de tais substâncias. Desta forma, o presente estudo buscou avaliar a presença e a concentração de agrotóxicos na água para consumo humano e, com isso, compreender os riscos à saúde que a população do município de Cachoeira do Sul está submetida. A metodologia consistiu na coleta e análise de amostras de água, em cinco épocas do ano, entre agosto de 2017 a março de 2018, sendo realizadas duas coletas de água tratada (na estação de tratamento e numa

instituição de ensino) e uma de água do rio Jacuí, que abastece a cidade, sendo um total de 15 amostras. As amostras foram submetidas a análise por extração em fase sólida e cromatografia gasosa e líquida acoplada a espectrometria de massas. Os resultados mostraram a presença de resíduos de agrotóxicos em todas as amostras, com período crítico para contaminação entre fevereiro e março. No total, foram identificados 18 princípios ativos de agrotóxicos nas amostras de água, sendo o inseticida imidacloprido o de maior incidência e concentração, seguido pelos herbicidas clomazone e quincloraque. Os poluentes analisados persistiram mesmo após o tratamento da água, expondo a população aos riscos potenciais pela ingestão diária destes componentes. Medidas que promovam a remoção destes compostos na água, bem como alternativas ao modelo agrícola convencional precisam ser desenvolvidas e ampliadas, para promover a redução ou eliminação do uso dos agrotóxicos e proteção da saúde e meio ambiente.

Palavras-chave: Água potável; Contaminação ambiental; Monitoramento ambiental.

Abstract

The increase of pesticide use in agriculture can bring serious consequences for the environment and the health of the population when consuming food and water with residues of such substances. The present study aimed to evaluate the presence and concentration of pesticides in water intended for human consumption and, thus, to understand the health risks that the population of Cachoeira do Sul is subjected to. The methodology consisted of collecting and evaluating water samples five times, between August 2017 and March 2018, having been realized two collections of treated water (at the treatment station and at a teaching institution) and one of water from the Jacuí River, which supplies the city (total of 15 samples). The samples were subjected to analysis by solid-phase extraction and gas and liquid chromatography coupled to mass spectrometry. The results showed the presence of pesticide residues in all samples with critical values of contamination between February and March. In total, eighteen pesticide active ingredients were identified, with the imidacloprid insecticide having the highest incidence and concentration, followed by the clomazone and quinclorac herbicides. The pollutants analyzed persisted even after water treatment, exposing the population to potential risks from the daily intake. Measurements that promote the removal of these compounds in the water as well as alternatives to the conventional agricultural model, should be expanded to promote the reduction or elimination of pesticide use and the protection of the population's health and environmental.

Keywords: Potable water; Environmental contamination; Environmental monitoring.

Resumen

El aumento del uso de plaguicidas en la agricultura puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud de la población al consumir alimentos y agua con residuos de dichas sustancias. Esta forma, o el presente estudio, busca evaluar la presencia de pesticidas en el agua para consumo humano y, de hecho, comprender los riesgos a salud que son sumergida la población del municipio de Cachoeira do Sul. La metodología consistió en recolectar y evaluar muestras de agua, durante cinco períodos del año, entre agosto de 2017 y marzo de 2018, siendo hecho dos colecciones de agua tratada (en la estación de tratamiento y en una institución de enseñanza) y uno de agua del Rio Jacuí, que abastece a la ciudad, un total de 15 muestras. Las muestras se sometieron a análisis mediante extracción en fase sólida y cromatografía de gases y líquidos junto con espectrometría de masas. Los resultados mostrarán la presencia de residuos de pesticidas en todas las muestras, con un período crítico de contaminación entre febrero y marzo. En total, se identificaron 18 ingredientes activos de pesticidas en las muestras de agua, ya sea o insecticida imidacloprid o de mayor incidencia y concentración, seguidos por el herbicida clomazone y quincloraque. Los contaminantes analizados persistirán mismo después del tratamiento de agua, exponiendo a la población a los riesgos planteados por la ingesta diaria de estos componentes. Es necesario desarrollar y ampliar las medidas que promueven la eliminación de estos compuestos en el agua, como alternativas al modelo agrícola convencional, para promover la reducción o eliminación del uso de dos agroquímicos y la protección de la salud de la población y medio ambiente.

Palabras clave: Agua potable; Contaminación ambiental; Monitoreo ambiental.

1. Introdução

Entre o período de 1945 a 1985 os agrotóxicos são introduzidos no Brasil, com o propósito de “modernizar” a agricultura nacional. Mas é na década de 70, que a indústria de agrotóxicos passa a estar presente na atividade agrícola brasileira de forma mais intensiva (Terra & Pelaez, 2009). Paralelamente ao aumento das atividades agrícolas, vieram as práticas de Estado, de fomento à utilização de insumos, provocando o atrelamento do setor agropecuário ao setor da indústria química. A comercialização destes produtos ocorre, ainda hoje, e mais atualmente, com muita facilidade em todo o território nacional, colocando o Brasil como um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo (INCA, 2015). Entre os anos de 1978 a 1998, o cultivo da soja teve um expressivo aumento da área plantada no Brasil, com um conseqüente crescimento de 540% no uso de herbicidas (Porto & Soares,

2012). Ainda conforme os autores, entre os anos 1990 e 2005, o cultivo da soja representou 36% da área plantada no Brasil, com um uso associado de agrotóxicos correspondendo a 50% no total das vendas.

No ano de 2019 o Ministério da Agricultura liberou 474 novos agrotóxicos, entre genéricos e novos compostos (Brasil, 2019). Pelaez, Terra e Silva (2010) argumentam que os efeitos de uma regulamentação mais rigorosa no registro dos agrotóxicos, são marginais e até mesmo nulos, sendo ultrapassados pela influência de grupos de interesse ligados à indústria. Mesmo com marcos regulatórios mais rígidos desenvolvidos ao longo dos anos, as empresas de agrotóxicos têm mantido sua capacidade de adaptação e violação a estes critérios.

O dossiê da Associação Brasileira de Saúde Coletiva, organizado por Carneiro (2015) aponta que o consumo médio de agrotóxicos vem aumentando na agricultura em relação à área plantada desde o início da última década, passando de 10,5 litros por hectare (L/ha) utilizados em 2002, para 12,0 L/ha, em 2011. No ano de 2015 estimou-se que foi pulverizado um total de 899 milhões de litros de agrotóxicos em produtos formulados nos 21 tipos de lavouras brasileiras naquele ano (Pignatti, *et al.*, 2017).

Este aumento pode estar relacionado a vários fatores, como: a expansão do plantio da soja transgênica, e também a crescente resistência das ervas invasoras, fungos e insetos, demandando maior utilização de agrotóxicos. Moraes (2019) destaca que o Brasil consumia em 1991 cerca de sete vezes menos agrotóxicos que os Estados Unidos, enquanto em 2015 as quantidades no Brasil e nos Estados Unidos foram próximas. Recentemente, no de 2019, a *Public Eye* publicou um relatório, no qual consta que Brasil e Estados Unidos respondem, cada um, por 18% do total de agrotóxicos utilizados no mundo. Ainda podem ser destacados China e Argentina com 11% e União Europeia com 13% (Laurent & Hoinkes, 2019).

No Brasil, as regiões Centro Oeste e Sul do Brasil são as que mais utilizam agrotóxicos, correspondendo respectivamente a 33,07% e 30,61% do montante utilizado em todo país. Somente no estado do Rio Grande do Sul são utilizados 11,32% do volume de agrotóxicos utilizados no Brasil (IBAMA, 2018) que corresponde a 134 milhões de litros de agrotóxicos em 8,5 milhões de hectares plantados (Pignatti *et al.*, 2017). Os herbicidas, inseticidas e fungicidas representam 80,61% dos produtos comercializados, e o herbicida glifosato é o ingrediente ativo mais utilizado na agricultura brasileira, representando 32% do consumo de agrotóxicos no Brasil (IBAMA, 2018). Conforme Ribeiro e Pereira (2016) isso se deve ao aumento da produção de soja transgênica, no qual o glifosato é o produto utilizado, principalmente, para o controle de ervas daninhas.

Os impactos dessa utilização já começam a ficar evidentes. No programa de análise de resíduos em alimentos (ANVISA, 2016), foram analisadas amostras de alimentos para identificar a presença de resíduos de agrotóxicos. Dentre as 12.051 amostras analisadas, 58% dos alimentos continham resíduos de agrotóxicos, sendo que 2.371 amostras (19,7%) foram consideradas insatisfatórias, ou seja, concentrações acima do permitido ou resíduos de agrotóxicos não autorizado para o cultivo. Desta forma, estes resultados mostram a possibilidade crescente do consumo de alimentos com resíduos de agrotóxicos acima dos limites legais, sendo, portanto, um risco à saúde da população.

Fan *et al.* (2018) destaca que a ciência ainda possui lacunas no conhecimento sobre os efeitos que os agrotóxicos podem causar ao ambiente e à saúde humana, quando sintetizados e assimilados por plantas, animais e humanos. Pequenas concentrações de diversos agrotóxicos ingeridos ao longo do dia (durante anos) pelas pessoas, nos alimentos e na água, podem ser motivo para o desenvolvimento de doenças crônicas. Os efeitos abrangem diversos tipos de câncer, lesões hepáticas e renais, além de doenças nervosas como Parkinson e Alzheimer (Hayes & Laws, 1991). Pesquisadores demonstraram que, no desenvolvimento de doenças como o câncer, qualquer nível de exposição pode ser de risco, não existindo a possibilidade de definir uma separação entre níveis seguros e inseguros de exposição (Mott & Snyder, 1987).

Em relação à contaminação hídrica, Grützmacher *et al.* (2008) apontam que a degradação de algumas moléculas encontradas nos agrotóxicos é demorada, podendo persistir por anos nos ecossistemas, culminando em inúmeros problemas de cunho ambiental e social, uma vez que a contaminação do meio ambiente provoca efeitos sobre todos os seres vivos. Análises realizadas na água da torneira em três povoados franceses demonstraram que, sete dos dez locais de coleta, a água continha entre dois e quatro tipos de agrotóxicos (Dubois & Lacouture 2011). Além disso, nessa mesma pesquisa, das 47 marcas de água mineral consumidas na França, 10 apresentaram resíduos de contaminantes emergentes, tendo sido encontrado inclusive o composto atrazina, princípio ativo já proibido há mais de 10 anos na França. Da mesma forma, estima-se que 20% das águas subterrâneas do Canadá e dos Estados Unidos estão contaminadas com triazinas em concentrações máximas muito elevadas, tais como 18,8 µg/L (Health Canada, 2015). Dubois e Lacouture (2011) verificaram que a maior parte dos rios e lagos da França está contaminada com herbicidas, sendo que as zonas mais atingidas são aquelas em que se cultivam cereais ou destinadas à viticultura. Apenas 7% das áreas estão isentas de resíduos de agrotóxicos, e estão em grande parte situadas em regiões com pouca agricultura ou agricultura pouco intensiva. Das 176 áreas hidrológicas francesas

pesquisadas, 63 tinham um nível de contaminação considerado "impróprio para consumo humano" de acordo com o "Compendium of Water Quality" - ou de 0,5 ug/L (UN-Water, 2015).

No Brasil, são monitorados oficialmente menos de 10% dos ingredientes ativos oficialmente registrados no país (Carneiro *et al.*, 2015). Entre algumas das substâncias não monitoradas, pode-se mencionar a bentazona, a qual é considerada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um poluente de água. Esta substância não aparece na portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde que regula a potabilidade da água. A bula desse agrotóxico descreve "um agroquímico da classe toxicológica I – extremamente tóxico e nocivo por ingestão" (Agrolink, 2019). Possui ainda a característica de ser altamente persistente no meio ambiente, ou seja, de difícil degradação (Carneiro *et al.*, 2015).

Nas regiões em que o Rio Jacuí percorre, antes de chegar a Cachoeira do Sul, na Depressão Central/RS, os cultivos de milho, soja, tabaco e arroz são os que possuem maior importância econômica. Uma parcela significativa das áreas produtivas de arroz do município de Cachoeira do Sul, RS, está localizada às margens do Rio Jacuí, aumentando o risco de contaminação por agrotóxicos deste recurso hídrico. No Rio Grande do Sul (RS), o arroz irrigado é uma importante atividade agrícola e econômica, com área total na safra de 2017/2018 de 1.077.959 hectares no estado, sendo destes 29.567 hectares cultivados no município de Cachoeira do Sul, RS (IRGA, 2018).

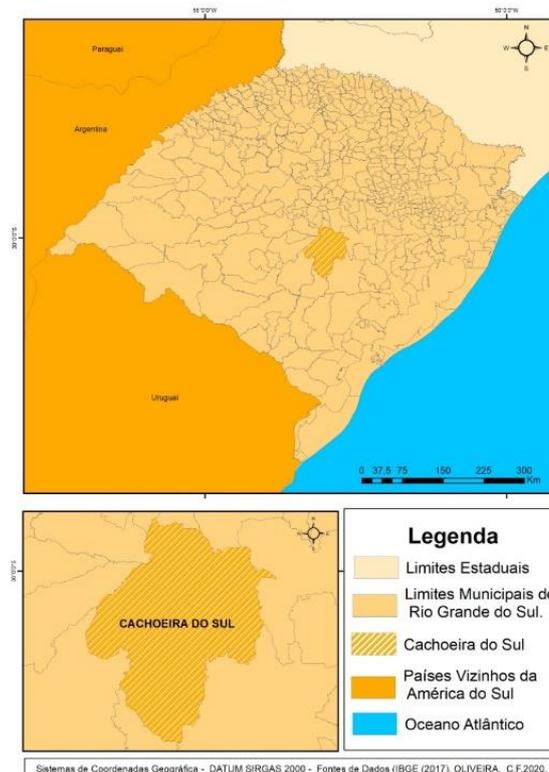
Em um estudo que monitorou oito princípios ativos de agrotóxicos, Silva *et al.* (2011) encontraram elementos traços de agrotóxicos em mananciais hídricos de lavouras de arroz, sendo estes: clomazone, imazapique, imazetapir, penoxsulam, quincloraque, carbofurano, 3-hidroxi-carbofurano e tebuconazole. Destes, apenas o penoxsulam não foi encontrado na região da Depressão Central/RS, sendo todos os outros agrotóxicos encontrados em análises nos mananciais hídricos de regiões orizícolas. A presença dos agrotóxicos nos mananciais pode trazer dificuldades para o tratamento da água em virtude da eventual necessidade do uso de tecnologias mais complexas e custosas (Fernandes Neto & Sarcinelli, 2009)

Com base nestas informações, o objetivo desse estudo foi avaliar a presença e a concentração dos princípios ativos de agrotóxicos presentes na água do rio Jacuí e na água disponibilizada para o consumo da população no município de Cachoeira do Sul, RS.

2. Metodologia

As amostragens de água para análise de agrotóxicos foram obtidas no município de Cachoeira do Sul (Figura 1), que está localizado na região da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (RS).

Figura 1: Mapa da região de estudo, com destaque para Cachoeira do Sul.

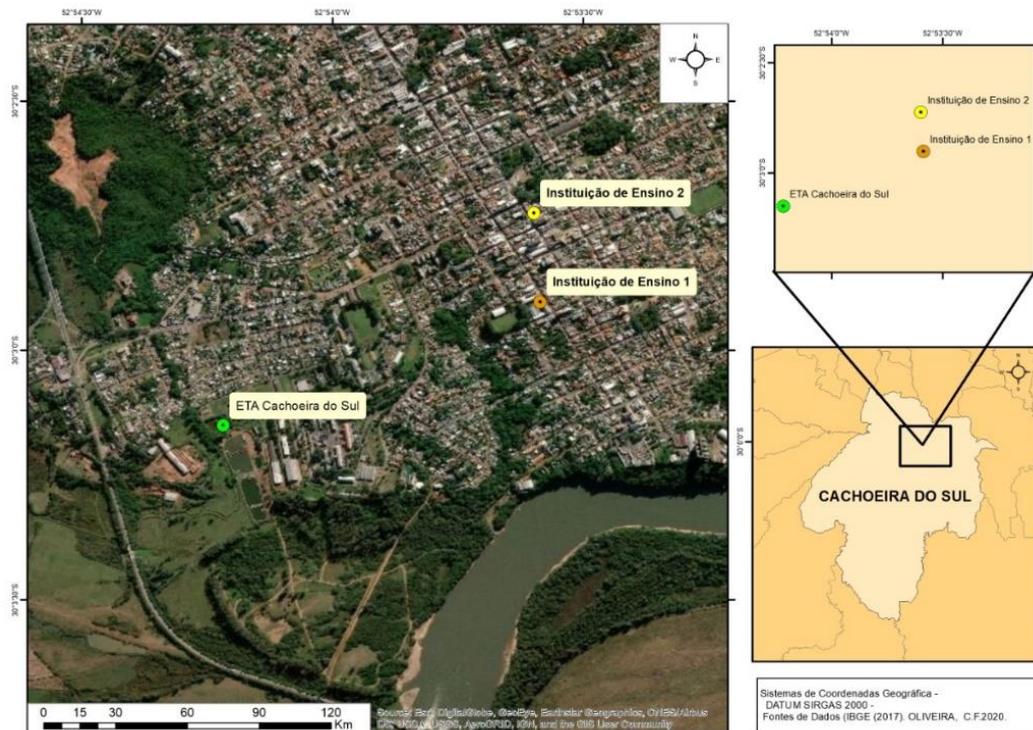


Fonte: Autores (2020).

As coletas foram realizadas entre os meses de agosto de 2017 e março de 2018, e foram feitas em três locais: no rio Jacuí, a montante da estação de tratamento de água (AR- água de rio); água potável, coletada na estação de tratamento (AT- água tratada); água fornecida pelo sistema de abastecimento público, da torneira de uma instituição de ensino do município (AE- água instituição de ensino). Importante considerar que as amostragens AR e AT foram coletadas ambas dentro da estação de tratamento e a água coletada em AE foi feita em duas instituições de ensino (Figura 2). Os três pontos de amostragem (AR, AT e AE) foram repetidos em cinco épocas do ano (agosto, novembro, dezembro, fevereiro e março), para identificação de resíduos de agrotóxicos, nos diferentes tempos. No período da amostragem, ocorreu a adição de carvão ativado no processo de potabilização da água, no mês

de dezembro, para diminuir odor na água gerado pela proliferação de algas, entretanto ele também pode ser utilizado como uma técnica voltada a remoção de agrotóxicos.

Figura 2 - Pontos de coletas de água para análise de agrotóxicos no município de Cachoeira do Sul.



Legenda: ETA Cachoeira do Sul: coleta de água do Rio (AR) e água Tratada (AT); Instituição de Ensino 1 e 2: coleta de água Instituição de Ensino (AE).
Fonte: Google Earth, satélites Landsat e Copernicus (2019).

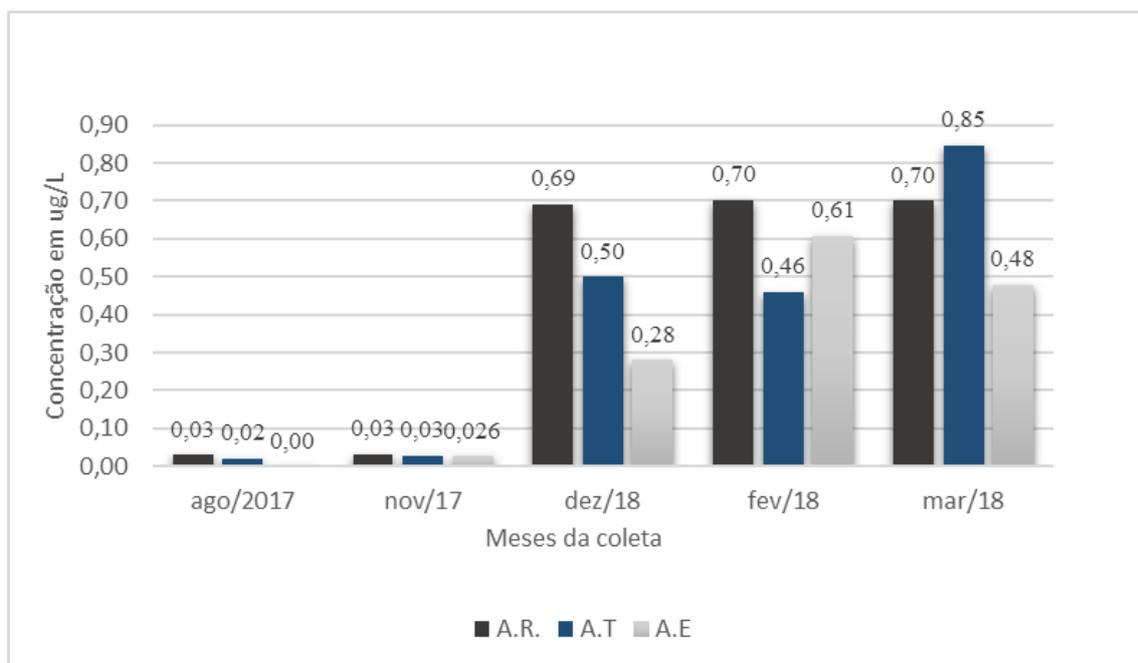
As amostras de água foram armazenadas em frascos resistentes, de vidro âmbar borossilicato, quimicamente inertes, devidamente vedados, de acordo com a NBR 9898 (ABNT, 1987). Imediatamente após a coleta, foram transportadas para análise no Laboratório de Análises de Resíduos de Pesticidas da Universidade Federal de Santa Maria (LARP/UFSM). Todas as coletas foram realizadas em condições de clima seco, para evitar mascarar resultados pela diluição da amostra. No laboratório, foi realizada a extração e análise das amostras, sendo investigados os pesticidas utilizados com frequência nas principais culturas do Rio Grande do Sul, tais como: herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematicidas e acaricidas (Plimmer, 2001). A determinação dos agrotóxicos foi efetuada por extração em fase sólida e determinação por cromatografia gasosa e líquida de ultra-alta eficiência acoplada à espectrometria de massas em série (UHPLCMS/ MS), segundo os métodos descritos por

Donato *et al.* (2015) e Martins *et al.* (2014), para amostras de água, sendo investigados 74 princípios ativos.

3. Resultados e Discussão

Os resultados apontaram a presença de resíduos de agrotóxicos em todos os períodos analisados do estudo (Figura 3), com identificação de 18 diferentes princípios ativos nas amostras de água. Nas amostras de água destinada ao consumo da população foram encontrados 15 tipos de agrotóxicos, que apresentaram variações em relação à concentração, conforme a época do ano, de acordo com as Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 apresentadas neste tópico.

Figura 3 – Concentração total de agrotóxicos nas amostras de água coletadas nos meses de agosto (2017), novembro (2017), dezembro (2017), fevereiro (2018) e março (2018).



Legenda: AR - água do rio; AT- água tratada; AE - água coletada em instituição de ensino.
Fonte: Autores (2018).

A Tabela 1 apresenta as concentrações identificadas do fungicida tebuconazol na amostra de água de rio, e da estação de tratamento no mês de agosto.

Tabela 1 – Agrotóxicos identificados na água do rio (AR), água tratada (AT) e água coletada em instituição de ensino (AE) (ug/L), em agosto de 2017, município de Cachoeira do Sul/RS.

Composto	AR	AT	AE
Propiconazol	< LOQ	n.d	n.d
Tebuconazol	0,03	0,02	n.d
Tetraconazol	< LOQ	n.d	n.d

Legenda: < LOQ- limite mínimo de quantificação - n.d. não detectado. Fonte: Autores (2018).

Os agrotóxicos Propiconazol, Tebuconazol e Tetraconazol são fungicidas sistêmicos do grupo dos Triazóis utilizados em arroz irrigado, entre outros cultivos (Agrolink, 2019). O Tebuconazol está relacionado com a ocorrência de malformações em células animais, tanto *in vivo* quanto *in vitro* (Menegola *et al.*, 2013). Entre as advertências para formulações comerciais à base dessas moléculas, consta que é perigoso para organismos aquáticos, além da recomendação de proibição da aplicação em terrenos agrícolas adjacentes aos cursos de água. Os fungicidas do grupo Triazol são considerados danosos ao meio ambiente, e quando presentes na água são de difícil degradação (Agrolink, 2019).

No presente estudo, os Triazóis mencionados foram identificados na água do rio (AR) e na água tratada (AT), não apresentando resíduos na água da instituição de ensino (AE). Destaca-se inclusive que estes princípios ativos, não foram identificados nos meses de novembro e dezembro. A identificação destes princípios ativos na água está relacionada com os cultivos de soja, milho, fumo e arroz, principalmente quando estes cultivos são realizados próximos às margens de rios (Stallones & Beseler, 2002; Silva *et al.*, 2011; Carneiro *et al.*, 2015).

No mês de novembro (Tabela 2), foram identificados quatro princípios ativos, entre eles o carbofurano. Este composto é utilizado como inseticida e nematicida, considerado um produto altamente móvel, apresentando alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir principalmente águas subterrâneas. Silva *et al.* (2009) identificaram o metabólito do inseticida carbofurano nas regiões da Depressão Central e da Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos, no RS, sendo a maior concentração média observada na Depressão Central, com o valor médio de 0,065µg/L. Moreira *et al.* (2004) monitoraram carbofurano e seu metabólito, o 3-hydroxy-carbofuran, em amostras de água do Rio Paraíba do Sul próximo a lavouras de arroz irrigado. Em uma análise inicial identificaram a presença de 20µg/L de carbofurano, e 49 dias depois a concentração observada foi de 1 µg/L, demonstrando a dinâmica das concentrações dos agrotóxicos nos corpos de água.

Logo, podem-se ter grandes quantidades de agrotóxicos na água por alguns dias, diminuindo em seguida pela diluição e mobilidade da água.

Tabela 2 – Agrotóxicos identificados na água do rio (AR), água tratada (AT) e água coletada em instituição de ensino (AE) (ug/L), em novembro de 2017, município de Cachoeira do Sul/RS.

Composto	AR	AT	AE
2,4 D	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Carbofurano	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Imidacloprido	0,033	0,029	0,026
Pirimetaniil	< LOQ	n.d	n.d.

Legenda: < LOQ- limite mínimo de quantificação - n.d. não detectado. Fonte: Autores (2018).

O Carbofurano foi proibido em diversos países do mundo, como Estados Unidos, Canadá e União Europeia, e no Brasil a ANVISA proibiu seu uso em outubro de 2017 (Brasil, 2017). No presente estudo foram encontrados resíduos deste inseticida exclusivamente nas amostras do mês de novembro de 2017, ou seja, quando o mesmo ainda era permitido. Este princípio ativo era utilizado como inseticida e nematocida e causa manifestações colinérgicas nas pessoas, além de ser um grande contaminante do solo e da água.

Em novembro, também foi identificado o inseticida imidacloprido, em valores quantificáveis, sendo o seu uso permitido para o fumo e a soja. O imidacloprido foi identificado em novembro, dezembro, fevereiro e março, com um aumento progressivo da concentração na água, sendo a maior concentração encontrada no mês de março (0,174ug/L). No município de Candelária, RS, onde predomina o cultivo de tabaco, Fan *et al.* (2018) identificaram a presença de 0,3 ug/L de imidacloprido em água subterrânea.

Nas análises realizadas em dezembro (Tabela 3), houve um aumento no número de tipos de agrotóxicos em relação aos meses de agosto e novembro. Foram identificados em valores quantificáveis a Atrazina, Bentazona, Clomazone, Imadacloprido e Quincloraque. O Bentazona e o Clomazone atingiram as maiores concentrações.

Tabela 3 – Agrotóxicos identificados na água do rio (AR), água tratada (AT) e água tratada coletada em instituição de ensino (AE) (ug/L), em dezembro de 2017, município de Cachoeira do Sul/RS.

Composto	AR	AT	AE
Atrazina	0,07	0,06	0,04
Bentazona	0,28	0,14	0,03
Clomazone	0,24	0,22	0,16
Imadacloprido	0,02	0,02	0,02
Quincloraque	0,08	0,06	0,03

Legenda: < LOQ- limite mínimo de quantificação - n.d. não detectado. Fonte: Autores (2018).

O clomazone foi o composto identificado com maior concentração na água tratada. Esse composto costuma ser utilizado em lavouras de arroz irrigado, soja e fumo, sendo considerado altamente móvel, apresentando alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir principalmente águas subterrâneas (Agrolink, 2018). Já o quincloraque é utilizado no cultivo do arroz, para o controle de ervas daninhas (principalmente do gênero *Echinochloa*). Porém, este produto não foi avaliado pelo IBAMA, quanto às precauções em relação aos riscos de contaminação ambiental. Para estes compostos, não foram definidos VMP pela MS 2014/2011 (legislação federal) e pela SES 320/2014 (legislação do Estado do RS). Outro composto identificado foi a atrazina, para o qual alguns trabalhos sugerem que este composto aumenta os riscos de câncer de mama com o consumo de água contaminada, e o risco do surgimento de cânceres na bexiga e no pulmão (Simpkins *et al.*, 2011; Rusiecki *et al.*, 2004).

Em dezembro, em função da proliferação de algas ocorrida no período, foi adicionado carvão ativado ao processo de tratamento da água. Neste mês, ocorreu uma leve redução na concentração de alguns compostos nas amostras de água tratada, em relação à água do rio, principalmente o composto bentazona, que reduziu em 50% a concentração na amostra analisada. Para o composto atrazina, a redução foi menor, indicando uma pouca eficiência do carvão ativado no processo de remoção deste agrotóxico. Alguns autores indicam a utilização de carvão ativado no tratamento da água, para redução de compostos químicos (Fernandes Neto & Sarcinelli, 2009). No presente estudo foi observado que o carvão ativado, quando utilizado, apresentou pouca influência na concentração de agrotóxicos, para a maioria das amostras analisadas. No entanto, esta técnica simples e de baixo custo, precisa ser melhor investigada, para assegurar de que se trata de uma alternativa viável de eliminação de agrotóxicos na água potável.

Em relação aos processos de tratamento de água, as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, constituintes do tratamento convencional de água, não garantem a remoção de agrotóxicos, e requerem processos mais complexos nas estações de tratamento (Rubbo, 2017). No Manual de Procedimentos de Vigilância em Saúde Ambiental do Ministério da Saúde (Brasil, 2006), no que se refere à qualidade da água para o consumo humano, é destaque o fato de que a maioria das substâncias tóxicas, como metais pesados e agrotóxicos, não são efetivamente removidos no tratamento de água convencional e requer processos mais complexos para sua remoção, a exemplo de adsorção e osmose inversa.

No mês de fevereiro (Tabela 4), foi observado um aumento nos tipos e na concentração detectável de agrotóxicos, destacando-se os valores para clomazone, quincloraque e atrazina, todos da classe de herbicidas.

Tabela 4 – Agrotóxicos identificados na água do rio (AR), água tratada (AT) e água tratada coletada em instituição de ensino (AE) (ug/L), em fevereiro de 2018, município de Cachoeira do Sul/RS.

Composto	AR	AT	AE
Atrazina	0,127	0,101	0,110
Carbendazim	0,020	n.d.	n.d.
Clomazone	0,158	0,114	0,152
Epoxiconazol	<LOQ	n.d.	n.d.
Imadacloprido	0,068	0,059	0,076
Propiconazol	<LOQ	n.d.	n.d.
Propoxur	0,070	0,047	0,056
Quincloraque	0,204	0,139	0,162
Simazina	n.d.	n.d.	<LOQ
Tetraconazol	0,024	<LOQ	0,025
Trifoxistrobina	0,031	<LOQ	0,026

Legenda: < LOQ- limite mínimo de quantificação - n.d. não detectado. Fonte: Autores (2018).

Nas análises realizadas em março (Tabela 5), os compostos Atrazina e Clomazone também foram identificados, sendo a concentração de Clomazone, na água tratada coletada na estação de tratamento, na ordem de 0,256 ug/L, e na água coletada em instituição de ensino, no valor

de 0,235ug/L. Estas foram as maiores concentrações identificadas de um único princípio ativo em relação a todos os outros compostos identificados ao longo do estudo.

Tabela 5 – Agrotóxicos identificados na água do rio (AR), água tratada (AT) e água tratada coletada em instituição de ensino (AE) (ug/L), em março de 2018, município de Cachoeira do Sul/RS.

Composto	AR	AT	AE
Atrazina	0,038	0,040	0,040
Azoxistrobina	0,049	0,036	<LOQ
Clomazone	0,243	0,256	0,235
Epoxiconazol	<LOQ	n.d	n.d
Imidacloprido	0,147	0,174	0,093
Propiconazol	<LOQ	0,022	<LOQ
Propoxur	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Quincloraque	0,126	0,167	0,054
Tebuconazol	0,097	0,099	0,057
Tiametoxam	<LOQ	0,052	<LOQ

Legenda: < LOQ- limite mínimo de quantificação - n.d. não detectado. Fonte: Autores (2018).

As análises realizadas em fevereiro e março (Tabelas 4 e 5) apresentaram valores mais elevados, correspondendo ao período crítico de contaminação. Nestes meses, dobrou a concentração de agrotóxicos em relação aos demais meses analisados. De acordo com os resultados de todos os meses de amostragem, o inseticida Imidacloprido foi o de maior incidência e concentração, seguido pelos herbicidas Clomazone e Quincloraque. O Council Directive (2006) que normatiza os padrões de potabilidade da água para a União Europeia, estabelece que o valor máximo de 0,1 ug/L por composto, ou concentração máxima 0,5 ug/L para a soma de todos os compostos identificados. Caso fosse aplicada esta normativa europeia no Brasil, as concentrações encontradas nas amostras do presente estudo, já seriam suficientes para considerar a água imprópria para o consumo humano. As maiores concentrações de agrotóxicos no Rio Jacuí foram identificadas no período de dezembro a março. Uma questão que demonstra a constante alteração nas concentrações desses compostos químicos na água, foi o fato de a concentração de agrotóxicos na água tratada ser superior àquela coletada no rio, para o mês de março. Esse fato também foi comprovado pela maior concentração presente na

água coletada em instituição de ensino em relação à água tratada dentro da estação de tratamento, como ocorrido na maioria dos agrotóxicos detectados em fevereiro nestes dois locais de coleta (Tabela 4).

As maiores concentrações totais identificadas em um único mês foram na água da IE no mês de fevereiro (0,607 ug/L), com a presença de oito diferentes agrotóxicos, e na água tratada no mês de março (0,846 ug/L). Na água do rio, a maior concentração identificada foi verificada no mês de fevereiro, atingindo o valor de 0,702 ug/L. Esses valores já podem ser considerados expressivos e alertam para a necessidade de serem propostas ações, para a transição do modelo de agricultura convencional, por práticas mais sustentáveis e menos impactantes ao meio ambiente e à saúde humana.

As concentrações dos agrotóxicos encontradas na água tratada (AT) foram superiores as da água de rio (AR), para as coletas do mês de março, e isto indica a dinamicidade destes elementos nas águas superficiais. Considerando à proteção da saúde humana, não há concentrações seguras para a ingestão de agrotóxicos. Além da água potável, devem ser consideradas outras vias de ingestão de agrotóxicos, que as pessoas estão expostas diariamente, como os alimentos, por exemplo. Portanto, qualquer concentração, mesmo que seja em nível traço, é significativa, quando se trata de saúde humana. Situações como aplicações aéreas de agrotóxicos, escoamento de águas utilizadas nas lavouras, períodos com mais ou menos chuvas, poderão alterar as concentrações dos agrotóxicos diluídos nas águas dos rios.

Com vistas a diminuir os resíduos de agrotóxicos na água, estratégias de proteção ambiental são necessárias e de iniciativas variadas, entre elas o incentivo aos produtores rurais na manutenção de áreas de reserva legal e preservação permanente próximo aos corpos hídricos, a diminuição na aplicação de agrotóxicos nos cultivos, a não utilização de produtos com registro proibido no país e a não utilização de pulverizações aéreas. Na impossibilidade imediata do abandono do uso de agrotóxicos são estratégias importantes para mitigar os impactos ambientais: o descarte correto das embalagens e aplicações dos venenos seguindo as especificações de uso do produto.

Segundo Fernandes Neto e Sarcinelli (2009), o consumo rotineiro dessas substâncias pode provocar alterações hepáticas e no sistema nervoso central, ocasionando sintomas como dores de cabeça, tonturas, irritabilidade, movimentos musculares involuntários; problemas com os sistemas cardiovascular e reprodutivo, com algumas evidências de desregulação endócrina e problemas nos olhos, rins, baço, também anemia e aumento do risco de

desenvolver câncer. Fan *et al.* (2018) também destaca uma série de problemas que podem ser provocados a partir da exposição, ou consumo de produtos contaminados com agrotóxicos.

Os parâmetros legais relacionados à presença de agrotóxicos podem ser consultados no Brasil, através da Portaria MS 2914/2011 (Brasil, 2011), que estabelece 27 parâmetros de agrotóxicos no padrão de potabilidade, para todo território nacional, e por meio da Portaria 320/2014 da Secretaria Estadual da Saúde do RS (Rio Grande do Sul, 2014), que acrescenta 46 parâmetros de agrotóxicos na avaliação de potabilidade da água, para o território gaúcho. Apesar da existência das portarias MS 2914/2011 e SES 320/2014, ainda não foram estabelecidos os valores máximos permitidos, para alguns princípios ativos, como, por exemplo, o clomazone e o quincloraque. As referidas portarias possuem valores máximos permitidos para agrotóxicos na água muito superiores aos padrões de quantidades estabelecidos pela União Europeia. Para o glifosato, por exemplo, no Brasil são aceitas 500 ug/L, enquanto que, na União Europeia, o VMP é de 0,1 ug/L para qualquer composto que venha a ser identificado. No caso do Tebuconazol, no Brasil o VMP é de 180 ug/L, sendo prescrito na MS 2914/2011. O VMP do Imidacloprido é 300 ug/L, conforme portaria SES 320/2014.

No presente estudo, para os compostos encontrados em maiores concentrações, os valores ficaram abaixo dos limites da legislação brasileira para consumo humano, porém acima dos limites preconizados pela legislação europeia. Rubbo (2017) detectou resíduos de agrotóxicos acima do VMP, em amostras de água distribuída à população do estado do RS, segundo o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 e pela Portaria SES 320/2014. No Rio Grande do Sul, o monitoramento em relação à presença de agrotóxicos é realizado por meio do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA). Este programa desenvolve ações de vigilância no contexto da promoção da saúde, bem como ações de prevenção dos riscos relacionados a doenças e agravos de transmissão hídrica (Brasil, 2015).

4. Considerações Finais

Os resultados apontam que o tratamento convencional realizado na água para atender os padrões de potabilidade, não remove os resíduos de agrotóxicos, os quais persistem e são ingeridos pela população diariamente. O período com maior contaminação da água disponibilizada para o consumo humano, coincide com um maior número de aplicações de agrotóxicos nas lavouras de soja da região, assim como em todo o estado do RS. Comparando

os valores identificados nas amostragens com os VMP pelas portarias MS 2914/2011 e SES 320/2014, identifica-se que em nenhum mês a quantidade estava superior ao VMP de algum agrotóxico individualmente. É perceptível a maior tolerância da legislação brasileira em relação a de outros países, sendo fundamental uma revisão destes valores. Na MS 2914/2011 existem parâmetros apenas para 22 princípios ativos e com altos valores permitidos. Além disso, o monitoramento que é realizado no estado, avalia uma amostra de água, por município, por ano, e com o fornecimento de falsos negativos pela falha de monitoramento ao longo do ano, pois como se viu neste trabalho, os valores podem variar consideravelmente em um curto período de tempo.

Medidas com o objetivo de remover estes compostos químicos nocivos da água são importantes e, em curto prazo, necessárias. Porém é fundamental repensar o modelo agrícola, implementando políticas públicas, que possam promover ações de proteção dos recursos hídricos e estimular os agricultores a produzirem sem agrotóxicos, utilizando como base experiências produtivas que busquem diminuir ou, até mesmo, suprimir a utilização de agroquímicos na produção de alimentos, tais como estímulo à produção orgânica e agroecológica, utilização de controle biológico, adoção do manejo integrado de pragas e doenças, entre outras práticas possíveis de serem utilizadas pelos agricultores.

Referências

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (2016). *Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos - PARA. Relatório das análises de amostras monitoradas no período de 2013 a 2015*. Brasília. Recuperado de http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/0/Relat%C3%B3rio+PARA+2013-2015_VERS%C3%83O-FINAL.pdf/494cd7c5-5408-4e6a-b0e5-5098cbf759f8.

Agrolink (2019). *Agrolinkfito*. Recuperado de <https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/busca-direta-produto>.

Agrolink. (2019) *Estatísticas agropecuária: Cachoeira do Sul – Cultura ou espécie: Soja*. Recuperado de <https://www.agrolink.com.br/regional/rs/cachoeira-do-sul/estatistica>.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (1987). *NBR 9897: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - procedimento*. Rio de Janeiro.

Brasil (2019). *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Informação técnicas – registros. Recuperado de <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/informacoes-tecnicas>.

Brasil (2006). *Ministério da Saúde*. Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. Brasília.

Brasil (2015). *Ministério da Saúde*. Monitoramento de Agrotóxicos na Água para Consumo Humano no Brasil, 2013. Boletim Epidemiológico, 46(4).

Brasil (2011). *Ministério da Saúde*. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Recuperado de http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/anexo/anexo_prt2914_12_12_2011.pdf

Brasil (2018). *Ministério da Saúde*. Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. Brasília. Recuperado de http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf.

Brasil (2017). *Ministério da Saúde*. Resolução - RDC nº 185, de 18 de outubro de 2017. Dispõe sobre a proibição do ingrediente ativo Carbofurano em produtos agrotóxicos no país e sobre as medidas transitórias de descontinuação de seu uso nas culturas de banana, café e cana-de-açúcar. Recuperado de http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2922962/RDC_185_2017_COMP.pdf/25d8fe02-a61d-49dd-8c44-e27d95284fbb.

Carneiro, F. F; (2015). ABRASCO: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: *Expressão Popular*, 624 p.

Council Directive (2006). *DIRETIVA 2006/118/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 12 de dezembro de 2006*. Relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0118&from=DE>

Donato, F. F., Martins, M. L., Munaretto, J. S., Prestes, O. D., Adaime, M. B., & Zanella, R. (2015). Development of a multiresidue method for pesticide analysis in drinking water by solid phase extraction and determination by gas and liquid chromatography with triple quadrupole tandem mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(10), 2077-2087.

Dubois A.; Lacouture L (2011). Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux Période 2007-2009. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. *Études & Documents*. Commissariat général au développement durable. N° 54 octobre.

Fan, F. M., Mesquita, M. O., Santos, V. C. F. D., Lucas, E. O., Zanella, R., Prestes, O. D., & Bandeira, N. M. G. (2018). Resíduos de agrotóxicos em água e solo de município em região produtora de fumo no Rio Grande do Sul. *Saúde coletiva, desenvolvimento e (in) sustentabilidades no rural*. p. 89-108.

Fernandes Neto, M. D. L., & Sarcinelli, P. D. N. (2009). Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição o processo de atualização da legislação brasileira. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(1), 69-78.

Fernandes Neto, M.L (2010). “Norma Brasileira de Potabilidade de Água: Análise dos parâmetros agrotóxicos numa abordagem de avaliação de risco”. 2010. Tese de Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro.

Google Earth Pro (2001): *Satélites Landsat e Copernicus*. 7.3. [S. l.]: GOOGLE. Recuperado de <https://earth.google.com/web/>.

Grützmacher, D. D., Grützmacher, A. D., Agostinetto, D., Loeck, A. E., Roman, R., Peixoto, S. C., & Zanella, R. (2008). Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(6), 632-637.

Hayes, W. J., & Laws, E. R. (1991). *Handbook of pesticide toxicology*. San Diego. Academic Press.

Health Canada (2015). *Examen spécial de l'atrazine: projet de décision aux fins de consultation*. REV2015-11. Agence de réglementation de La lutte antiparasitaire; Ottawa, Ontario.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) (2018). *Relatório de comercialização de agrotóxicos*. Recuperado de <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>.

INCA (Instituto Nacional do Câncer) (2018). *Brasil lidera ranking consumo agrotóxicos*. Recuperado de http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/comunicacaoinformacao/sit e/home/namidia/brasil_lidera_ranking_consumo_agrotoxicos

IRGA (Instituto Riograndense do Arroz) (2018). *Safras*. Recuperado de <https://irga.rs.gov.br/safras-2>.

Gaberell, L., Hoinkes, C. (2019). *Highly hazardous profits*. How Syngenta makes billions by selling toxic pesticides. Genebra, Suíça. Public Eye.

Martins, G. L., Friggi, C. A., Prestes, O. D., Vicari, M. C., Friggi, D. A., Adaime, M. B., & Zanella, R. (2014). Simultaneous LC–MS/MS determination of imidazolinone herbicides together with other multiclass pesticide residues in soil. *Clean–Soil, Air, Water*, 42(10), 1441-1449.

Menegola, E., Di Renzo, F., Metruccio, F., Moretto, A., & Giavini, E. (2013). Effects of mixtures of azole fungicides in postimplantation rat whole-embryo cultures. *Archives of toxicology*, 87(11), 1989-1997.

Moraes, R. F (2019). *Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória*. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Recuperado de http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9371/1/td_2506.pdf.

Moreira, M. R. S., Mucci, J. L. N., & Abakerli, R. B. (2004). Monitoramento dos resíduos de carbofurano em área de produção de arroz irrigado-Taubaté, São Paulo. *Embrapa Meio Ambiente-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

Mott, L.; Snyder, K (1987). *Pesticide Alert. A Guide to Pesticides in Fruits and Vegetables*. San Francisco: Sierra Club Books.

Pelaez, V., Terra, F. H. B., & da Silva, L. R. (2010). A regulamentação dos agrotóxicos no Brasil: entre o poder de mercado e a defesa da saúde e do meio ambiente. *Revista de Economia*, 36(1).

Pignati, W. A., Lima, F. A. N. D. S., Lara, S. S. D., Correa, M. L. M., Barbosa, J. R., Leão, L. H. D. C., & Pignatti, M. G. (2017). Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22, 3281-3293.

Plimmer, J. R (2001). *Handbook of Pesticide Toxicology*. JRP Consultants. 95-107.

Porto, M. F., & Soares, W. L. (2012). Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora. *Revista brasileira de Saúde ocupacional*, 37(125), 17-31.

Ribeiro, D. S., & Pereira, T. D. S. (2016). O agrotóxico nosso de cada dia. *VITTALLE-Revista de Ciências da Saúde*, 28(1), 14-26.

Rio Grande Do Sul (2014). *Secretaria Estadual da Saúde RS (SES RS)*. Portaria SES RS nº 320, de 28 de abril de 2014. Estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas, no controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no RS. Porto Alegre, RS.

Rubbo, J. P (2017). *Avaliação dos controles de agrotóxicos na água para consumo humano dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Sul em 2016*. 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Saúde Pública do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Rusiecki, J. A., De Roos, A., Lee, W. J., Dosemeci, M., Lubin, J. H., Hoppin, J. A., & Alavanja, M. C. (2004). Cancer incidence among pesticide applicators exposed to atrazine in the Agricultural Health Study. *Journal of the National Cancer Institute*, 96(18), 1375-1382.

Silva, D. R. O. D., Avila, L. A. D., Agostinetto, D., Dal Magro, T., Oliveira, E. D., Zanella, R., & Noldin, J. A. (2009). Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. *Ciência Rural*, 39(9), 2383-2389.

Silva, D. R. O. D., Avila, L. A. D., Agostinetto, D., Bundt, A. D. C., Primel, E. G., & Caldas, S. S. (2011). Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. *Química Nova*, 34(5), 748-752.

Simpkins, J. W., Swenberg, J. A., Weiss, N., Brusick, D., Eldridge, J. C., Stevens, J. T., ... & Breckenridge, C. B. (2011). Atrazine and breast cancer: a framework assessment of the toxicological and epidemiological evidence. *Toxicological Sciences*, 123(2), 441-459.

Stallones, L., & Beseler, C. (2002). Pesticide poisoning and depressive symptoms among farm residents. *Annals of epidemiology*, 12(6), 389-394.

Terra, F. H. B., & Pelaez, V. (2009). A história da indústria de agrotóxicos no Brasil: das primeiras fábricas na década de 1940 aos anos 2000. In *Anais do 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*.

UN-Water (2015). *Compendium of Water Quality Regulatory Frameworks: Which Water for Which Use?* Genebra, Suíça. The Clyvedon Press Ltd.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Evandro de Oliveira Lucas – 30%

Janaina Tauil Bernardo – 25%

Marilise Oliveira Mesquita – 25%

José Antônio Kroeff Schmitz – 20%