

Meio Ambiente e Sustentabilidade

Contaminação da água por agrotóxicos: estudo de caso do beneficiamento de batatas

Contamination of water by pesticides: a case study of the potatoes processing

Francisco Rossarolla Forgiarini¹, Carine Baggiotto¹,
Natielo Almeida Santana¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria^{RS}, RS, Brasil

RESUMO

A contaminação das águas por agrotóxicos é um dos principais problemas ambientais. Dentre as culturas agrícolas destaca-se a batata, que emprega grande quantidade de agrotóxicos durante toda a sua produção. Este artigo tem por finalidade apresentar um estudo de caso referente à atividade de beneficiamento de batatas, discutindo o processo de licenciamento ambiental da atividade e a análise dos impactos causados pelo lançamento de efluentes no meio ambiente. O efluente foi coletado em um tanque de sedimentação de uma indústria de beneficiamento de batatas do tipo inglesa, enviado ao Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas para detecção dos possíveis agrotóxicos presentes, sendo analisado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) e foi caracterizado físico-quimicamente por análises de temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, Condutividade Elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Sólidos Dissolvidos, Sólidos em Suspensão, Sólidos Sedimentáveis e Sólidos Totais utilizando o *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater*. Nas análises realizadas por HPLC foi encontrado a presença de 7 princípios ativos de agrotóxicos, e as análises físico-químicas acusaram que a turbidez e os sólidos suspensos estão em desacordo com a legislação existente. Pode-se concluir que as análises de resíduos de agrotóxicos deveriam ser uma exigência do órgão legislador para emissão de licenças ambientais, pois somente com as análises exigidas até então, não se pode mensurar todas as substâncias que estão sendo lançadas nos corpos hídricos. Ainda, sugere-se a adição nas legislações de limites mais restritivos com relação à agrotóxicos em águas superficiais.

Palavras-chave: Contaminação; Agrotóxico; Legislação ambiental

ABSTRACT

Contamination of water by pesticides is one of the main environmental problems. Among the agricultural crops, potatoes stand out, as they employ a large quantity of pesticides throughout their production. This article aims to present a case study on the potato processing activity, discussing the environmental licensing process of the activity and the analysis of the impacts caused by the release of effluents into the environment. The effluent was collected in a sedimentation tank of an English-type potato processing industry, sent to the Pesticide Residue Analysis Laboratory for the detection of the possible pesticides present, being analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and characterized physicochemically through temperature, turbidity, pH, dissolved oxygen, Electrical Conductivity, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Dissolved Solids, Suspended Solids, Settleable Solids and Total Solids analyses using the Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater. In the HPLC analysis, the presence of 7 active pesticides was found, and the physicochemical analyses showed that turbidity and suspended solids are in disagreement with existing legislation. It can be concluded that pesticide residue analyses should be a requirement of the legislative body for the issuance of environmental licenses, only with the analyses required until now, it is not possible to measure all substances being discharged into water bodies. Furthermore, it is suggested that more restrictive limits be added to legislation regarding pesticides in surface waters.

Keywords: Contamination; Agrochemicals; Environmental legislation

1 INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos resulta na contaminação de águas sub e superficiais e pode provocar graves problemas ambientais. A exposição aos compostos presentes nos agrotóxicos pode ser perigosa para organismos não-alvo, considerando sua natureza ameaçadora, amplo uso e não seletividade (Machado; Martins, 2018). A intensa utilização de produtos químicos, que afetam o meio ambiente, os consumidores e os trabalhadores rurais, ainda provoca a perda da biodiversidade, a degradação do solo, a contaminação e a escassez da água. A contaminação das águas superficiais por agrotóxicos ocorre de forma direta, através do lançamento de rejeitos em corpos d'água, ou indireta, pelo uso de pesticidas durante os cultivos agrícolas.

Os rejeitos agroindustriais apresentam grande potencial para a contaminação de águas por agrotóxicos (Ponce-Robles *et al.*, 2017). Os resíduos originados no beneficiamento de batata, por exemplo, podem conter moléculas de agrotóxicos ou seus metabólitos (compostos orgânicos persistentes), que podem ser muito prejudiciais à saúde humana e/ou animal (Pires; Matiozzo, 2005). O Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor brasileiro de batata inglesa, com uma produção de

aproximadamente 300 mil ton.ano⁻¹, sendo que grande parte desta produção passa por lavagem ou beneficiamento em agroindústrias (Ferreira; Netto, 2007; IBGE, 2017).

Segundo a Anvisa (2019), para o manejo de plantas daninhas, pragas ou doenças no cultivo da batata são utilizados mais de 100 princípios ativos, entre eles: glyphosate, Paraquat (Gramoxone) ou Diquat (Reglone), metribuzin (Sencor), fluazifop-p-butil (Fusilade 125) ou fenoxaprop-ethyl (Podium), haloxyfop (Verdict), acetamiprido, Tebuconazol, Mancozebe, Fluazinam e Clorpirifós. Perante isso, os resíduos originados pelo beneficiamento e lavagem da batata podem conter diversas moléculas e constituintes de agrotóxicos que podem resultar em contaminação e graves problemas sociais e ambientais.

Embora existam órgãos responsáveis pela regulação de descargas de efluentes no ambiente, o ecossistema aquático pode apresentar condições inadequadas para a manutenção da vida mesmo quando as características físico-químicas da água atendem os critérios de qualidade. Assim, a caracterização dos constituintes dessas misturas e a identificação dos compostos de maior preocupação em diferentes estruturas espaciais é uma das questões-chave para a proteção dos ecossistemas naturais e da saúde da população.

A disposição de efluentes no ambiente deve ser realizada de acordo com as legislações orientadoras, a fim de reduzir os impactos ambientais. No entanto, segundo ABBA (2006), ainda persistem dúvidas sobre procedimentos e falta de valores de referência que estabeleçam concentrações ou cargas limites para a disposição desses efluentes. Na legislação brasileira, são apresentados limites de alguns parâmetros de lançamento de efluentes. No entanto, não há citação direta sobre condições de lançamentos de efluentes de atividades específicas, tais como os produzidos por atividades agropecuárias. Assim, o licenciamento ambiental se torna falho, pois os condicionantes são muito amplos, abrindo muitas brechas para o não cumprimento da lei, além da falta de fiscalização. Corroborando com essa ideia, Hess (2018) aponta a necessidade evidente de revisão, para que sejam incluídos os limites máximos permitidos em águas de abastecimento público, de diversos poluentes extremamente

danosos à saúde humana, que ainda não constam na lista das substâncias com monitoramento obrigatório em água potável.

O não cumprimento da legislação faz do sistema de gestão ambiental ineficiente, e tem ocasionado o lançamento de águas residuárias sem tratamento adequado nos cursos de água. Esse lançamento de efluentes não tratados das indústrias de processamento de alimentos, normalmente contém parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5), concentrações de compostos orgânicos, sólidos suspensos, amônia ou alguns outros poluentes acima do limite permitido (Vymazal, 2014).

Perante isso, este estudo tem o objetivo de analisar o gerenciamento dos efluentes de uma indústria de beneficiamento de batatas com enfoque no licenciamento ambiental e na análise da presença de compostos tóxicos no efluente gerado.

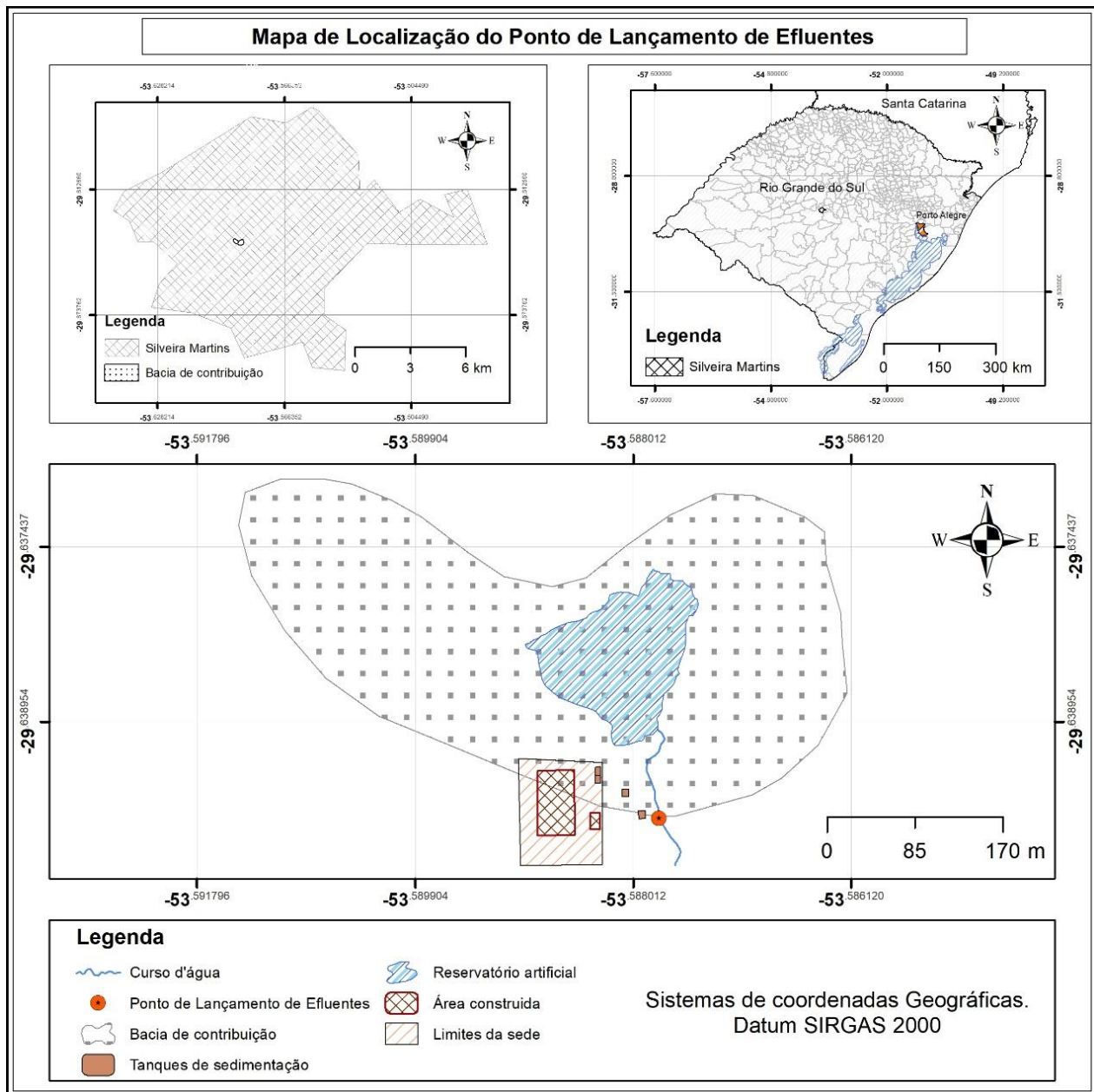
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local do estudo e amostragem

O efluente foi coletado em um tanque de sedimentação de uma indústria de beneficiamento de batatas do tipo inglesa no município de Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil. Esse tanque é a parte final do sistema de tratamento dos efluentes da indústria, o qual é composto por três tanques, em que o efluente passa de um tanque para o outro até ser lançado em um rio (Figura 1).

Foram realizadas quatro campanhas de amostragem, sendo que em cada campanha foram coletadas 2 amostras. As amostras foram coletadas na superfície do tanque utilizando galões de poliestireno com capacidades para 2 L. As amostras foram dispostas em caixa térmica, encaminhadas para o laboratório e efetuadas as análises físico-químicas e dos agrotóxicos.

Figura 1 – Mapa de localização do ponto de lançamento de efluentes



Fonte: Autores (2023)

2.2 Caracterização do Efluente

A caracterização físico-química do efluente foi realizada por análises de temperatura, turbidez, pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Condutividade Elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Dissolvidos, Sólidos em Suspensão, Sólidos Sedimentáveis e Sólidos Totais. Os

processos analíticos utilizados estão preconizados no *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WPCF, 2012).

O efluente coletado também foi analisado por cromatografia líquida de alta eficiência (*High Performance Liquid Chromatography*, HPLC) utilizando o método descrito por Zanella *et al.* (2003), assim foram identificados os agrotóxicos presentes no efluente.

A partir dos valores das variáveis químicas e físicas do efluente foram calculadas as médias e os desvios padrão. Utilizando as equações 1, 2 e 3 foi calculada a concentração de agrotóxicos no corpo hídrico receptor para a avaliação dos impactos ambientais.

$$Q_{ST} = C_{ST} * Q_L \quad (1)$$

Onde:

Q_{ST} =Carga Sólida Total (Kg/dia);

C_{ST} =Concentração de Sólidos Totais (Kg/L);

Q_L =Vazão de efluente lançada (L/dia).

$$Q_{AG} = Q_{ST} * C_{AGS} \quad (2)$$

Onde:

Q_{AG} =Carga de Agrotóxico (μ g/dia);

Q_{ST} =Carga Sólida Total (Kg/dia);

C_{AGS} =Concentração de Agrotóxico no Sedimento (μ g/Kg);

$$C_{ACH} = \frac{Q_{AG}}{Q_{90}} \quad (3)$$

Onde:

C_{ACH} =Concentração de Agrotóxico Corpo Hídrico (μ g/L);

Q_{AG} =Carga de Agrotóxico (μ g/dia);

Q_{90} =Vazão de Referência com 90% de permanência (L/dia).

A vazão de referência do rio onde o efluente é lançado foi determinada a partir da vazão específica da região e a área da bacia até o ponto de lançamento. A vazão específica com 90% de permanência da região é de $1,20 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^2$ (Forgiarini *et al.*, 2015). A área da bacia é de 10,87 ha, assim, a vazão de referência resultante com 90% de permanência foi de $0,13 \text{ L.s}^{-1}$.

2.3 Licenciamento ambiental

Foram pesquisadas as legislações que estão em vigência no Brasil e legislações internacionais, na União Europeia, Estados Unidos e outros países. Nas legislações foram analisados os valores de referência para os parâmetros analisados buscando verificar quão abrangentes elas são em relação aos contaminantes e parâmetros, quanto à quantidade de poluentes descritos e seus limites.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efluente da indústria de beneficiamento de batatas apresentou parâmetros físico-químicos de acordo com as legislações vigentes, exceto para os valores de turbidez e sólidos suspensos (Tabela 1). O pH do efluente manteve-se próximo à 6,0, que é o limite inferior previsto nas Resoluções CONSEMA nº 355/2017 e na CONAMA nº 430/2011, pois os critérios de proteção à vida aquática em águas superficiais fixam o pH entre 6 e 9 (CETESB, 2017). Já a condutividade elétrica (CE) ficou sempre acima de $100 \mu S.cm^{-1}$. De acordo com a CETESB (2017), a CE representa uma medida indireta da concentração de poluentes, sendo níveis superiores a $100 \mu S.cm^{-1}$, considerados críticos para a biota aquática.

O valor da turbidez do efluente foi 4 vezes maior do que o limite estabelecido na Resolução CONAMA 430/2011. A elevada turbidez é ocasionada pela presença de partículas em suspensão, ou de substâncias em solução (CETESB, 2017). A água turva contribui para a maior dispersão da luz incidente que resulta na redução do processo de fotossíntese de organismos aquáticos afetando a produção de oxigênio dissolvido (Hussain, Ahamad e Nath, 2016).

A presença de sólidos suspensos foi 435% acima do limite tolerado pela legislação. A grande quantidade de sólidos suspensos contribuiu para a maior turbidez da água. Diversos contaminantes da água, exceto os gases dissolvidos, contribuem para o aumento da concentração de sólidos suspensos (1 micron) (Silva *et al.*, 2018). Desta forma, a maior presença destes compostos provoca impactos negativos

significativos, conferindo uma cor avermelhada à água que impede a penetração da luz solar e, ao longo dos anos, poderá assorear e extinguir sua fauna.

Os valores de DQO e DBO₅ no efluente não foram superiores à legislação estadual. No entanto, a legislação federal não limita valores para estes parâmetros. A demanda química e bioquímica de oxigênio, indicadores indiretos da quantidade de matéria orgânica presente no meio, são indispensáveis para o monitoramento da qualidade do efluente (Júnior *et al.*, 2019). A quantidade de matéria orgânica é importante para se conhecer o grau de poluição de uma água residuária, para se dimensionar às estações de tratamento de esgotos e medir sua eficiência. Quanto maior o grau de poluição orgânica, maior a DBO do corpo d'água.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos do efluente, corpo receptor e valores de referências descritos por legislações brasileiras

Parâmetro	Efluente	Valores de referência efluente		Corpo receptor	Valores de referência corpo receptor CONAMA ³
		CONSEMA ¹	CONAMA ²		
Temperatura (°C)	21,1 ± 4,5*	< 40	< 40	-	-
pH	6,3 ± 0,1	6 e 9	5 a 9	-	-
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	149,4 ± 28,1	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	165,5 ± 62,5	-	Até 40	-	-
Sólidos Suspensos (mg. L ⁻¹)	609,0 ± 286,4	140	-	361,5	-
Sólidos Totais (mg. L ⁻¹)	850,0 ± 206,1	-	-	504,5	-
Sólidos Dissolvidos (mg. L ⁻¹)	238,0 ± 82,1	-	-	141,3	500
Sólidos Sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	0,3 ± 0,1	≤1,0	≤1,0	0,2	1
DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	20,5 ± 15,3	120	-	12,2	5
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	70,3 ± 23,0	330	-	41,7	-
OD (mg L ⁻¹)	2,5 ± 1,7	-	≥5	≥5	≥5

* Média e desvio padrão de 2 repetições e 4 amostragens

¹ CONSEMA 355/2017 (até 100 m³.d⁻¹)

² CONAMA 430/2011

³ Classe 2 CONAMA 357/2006

Fonte: Organização dos autores

Observou-se que o OD do efluente apresentou concentrações inferiores ao de referência para corpos receptores classe 2. A concentração de OD no efluente está muito abaixo de valores observados em outros efluentes tratados. Júnior *et al.*(2019) verificaram OD de 8,78 mg.L⁻¹ (6,28 mg L⁻¹ acima do observado neste estudo) em um sistema de lagoas de estabilização e Fernandes (2018) observou valor de 5,51 mg.L⁻¹ (2,5 mg L⁻¹ acima do observado neste estudo) em águas de reuso. Concentrações de OD abaixo de 4 mg L⁻¹ são prejudiciais a biota aquática. Segundo Apha (2012) a verificação de OD é um parâmetro importante na análise ambiental, para verificar a qualidade das águas de uma bacia, pois sua variação revela o grau de poluição existente.

Nas análises realizadas por HPLC, além da presença de 6 princípios ativos indicados para uso na cultura da batata, foi encontrado o princípio ativo Fenpropatrina, que não é indicado para essa cultura e é considerado altamente tóxico, o que pode trazer contaminação adicional tanto no solo, quanto no corpo hídrico onde o efluente da lavagem é lançado (Tabela 2).

Tabela 2 – Caracterização e concentração dos agrotóxicos presentes no sedimento de um tanque de sedimentação de uma indústria de beneficiamento de batatas no município de Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil

Princípio ativo	Classe	Classificação*	LOQ	LOD	C _{AGS}
Azoxistrobina	Fungicida	Medianamente tóxico	5,00	2,00	21,00
Clorpirifós	Inseticida	Altamente tóxico	5,00	2,00	278,00**
Difenoconazol	Fungicida	Extremamente tóxico	20,00	6,00	36,00
Fenpropatrina	Inseticida/Acaricida	Altamente tóxico	10,00	3,00	239,00**
Flutolanil	Fungicida sistêmico	Medianamente tóxico	5,00	2,00	6,00
Tebuconazol	Fungicida	Pouco tóxico	5,00	2,00	62,00
Tiametoxam	Inseticida	Medianamente tóxico	5,00	2,00	11,00

LOQ-Limite de quantificação do método (do inglês Limit of quantification) em µg/Kg

LOD-Limite de detecção do método (do inglês Limit of detection) em µg/Kg

CAGS-concentração dos agrotóxicos no sedimento em µg/Kg

*Classificação toxicológica quanto a periculosidade (EMBRAPA, 2017)

** Valores acima do limite, segundo a Legislação da União Europeia, a qual foi comparada

Fonte: Organização dos autores.

Segundo pesquisa com os produtores de batata e com o escritório da EMATER em Silveira Martins, os produtos utilizados na cultura da batata no município são Pyrinex 480 EC (Clorpirifós), Furadan (Carbofurano), Connect (Beta-Ciflutrina e Imidacloprido), Engeo Pleno (Tiametoxam) e Priorixtra (Azoxistrobina). Alguns deles foram encontrados na análise HPLC (Tabela 2), assim como outros (Difenoconazol, Fenpropratrina, Flutolanil, Tebuconazol). De forma geral, a concentração dos agrotóxicos nos sedimentos foi bastante alta, sendo que o Clorpirifós e Fenpropratrina foram os que apresentaram maiores concentrações. Inseticidas como o Clorpirifós e Fenpropratrina são compostos que se apresentam em grande concentração em sedimentos, como já relatado por Tang *et al.* (2018). Os sedimentos são compartimentos ambientais naturais e reservatórios para pesticidas no meio aquático e surgem como uma potencial fonte poluidora. O limite de influência dos agrotóxicos disponíveis no ambiente, testado a partir da *DL50* para ratos, é de 112,8 mg kg⁻¹ (fluquinconazole por exemplo) para os fungicidas (Hamadache *et al.*, 2018) e de 0,9 mg kg⁻¹ (Aldicarbe por exemplo) para os inseticidas (Agrawal, Pandey; Sharma, 2010). Desta forma, os compostos observados no sedimento não apresentam potencial de riscos diretos à saúde humana, mas em termos de preservação de outros organismos e de problemas crônicos de saúde, devido a exposição constante e a bioacumulação, ao ser humano o risco destas concentrações é bastante elevado.

Imura *et al.* (2019) enfatizam que a azoxistrobina prejudica os microrganismos do solo através da redução da sua biodiversidade e atividade enzimática o que afeta as funções ecossistêmicas. Em seres humanos, o efeito da ingestão de alimentos contendo resíduos de azoxistrobina pode resultar em despolarização de membranas quando existe a presença de agentes medicamentosos no organismo (Imura *et al.*, 2019). Um número crescente de estudos experimentais descobriu que o azoxistrobina tem o potencial de causar toxicidade e neurotoxicidade no desenvolvimento humano. Cao *et al.* (2018) sugerem coletivamente que este agrotóxico é tóxico em estágios embrionários em zebrafish. Zebrafish (*Danio rerio*) tem sido usado para investigar a toxicidade crônica de poluentes devido ao baixo custo, tamanho pequeno,

transparência embrionária, ciclo reprodutivo curto e alta similaridade genética com humanos.

A presença no efluente de Difenconazol, um fungicida de amplo espectro, resulta em um grave risco ambiental. Sua aplicação de forma sucessiva e em altas doses pode provocar danos crônicos e irreversíveis à saúde humana e efeitos adversos indesejáveis no ambiente (Wang *et al.*, 2019). Por ser um agrotóxico com transporte ambiental de longo alcance, ocorre a distribuição desses compostos nos diversos compartimentos ambientais, que podem ser transferidos com rapidez das plantas e solo para água, florestas, etc., resultando efeitos imediatos ao ecossistema e a saúde humana (Zhao *et al.*, 2018). Mu *et al.* (2013) relataram que diminui a frequência cardíaca em larvas de zebrafish durante 24 horas, e Chen *et al.* (2022) verificaram a inibição da maturação dos gametas e interrupção do comportamento reprodutivo, reduzindo a fertilidade nesses mesmos indivíduos.

O flutolanil apresentou-se com baixa concentração no sedimento e segundo Yang *et al.* (2016) é considerado um fungicida de baixa toxicidade. Apesar disso, Teng *et al.* (2019) apontam alterações patológicas no fígado de zebrafish após exposição ao flutolanil e concluíram em seu estudo que a exposição crônica do zebrafish ao flutolanil leva à desregulação endócrina e distúrbios reprodutivos.

Da mesma forma, o tebuconazol é um fungicida com baixa periculosidade (pouco tóxico), porém a sua concentração no sedimento foi bastante elevada, mas não ao ponto de provocar danos ambientais. O tebuconazol é persistente em sedimentos e é considerado tóxico para peixes de água doce quando em concentrações acima de 2,37 mg L⁻¹ (Bernabò *et al.*, 2016), muito acima do observado em nosso estudo. Estudos realizados por diversos autores indicaram que o tebuconazol apresenta riscos inevitáveis à saúde humana e uma variedade de resultados adversos foi documentada, incluindo toxicidade hepática, efeitos de desregulação endócrina e problemas de desenvolvimento e reprodução (Li *et al.*, 2020).

O clorpirifós é um inseticida organofosforado que não era autorizado no Brasil até o ano de 2018 (Anvisa, 2014), porém no ano de 2019, foi autorizada a sua

comercialização. A presença deste inseticida no ambiente é extremamente prejudicial devido à sua baixa seletividade, ou seja, ocasiona a morte de organismos não alvos e isso pode alterar drasticamente o equilíbrio natural do ecossistema (Sarwar, 2015). Estudos epidemiológicos sugeriram que o clorpirifós pode afetar negativamente a inteligência e a memória das crianças (Rauh *et al.*, 2011). Shelton *et al.* (2014) desenvolveram uma pesquisa em que verificaram que a exposição ao clorpirifós durante a gravidez também pode aumentar o risco de Transtorno do Espectro Autista (TEA). O contato com clorpirifós mesmo que em baixas concentrações pode resultar em diversos problemas de saúde como o acúmulo de acetilcolina nas terminações nervosas, efeitos neurotóxicos e comportamentais, déficits cognitivos, toxicidade reprodutiva, teratogenicidade, anormalidades imunológicas e defeitos de desenvolvimento e recém-nascidos (Carvalho *et al.*, 2017).

A exposição crônica ou a bioacumulação de alguns piretróides como a detectada neste estudo, a fenpropatrina, pode provocar toxicidade neuro comportamental em mamíferos (Liu *et al.*, 2015). Além da não recomendação do uso deste pesticida no cultivo da batata, a detecção da presença deste agrotóxico no efluente resulta em um grave problema ambiental, visto que os piretróides são extremamente tóxicos no ambiente aquático (Luo *et al.*, 2019). A Fenpropatrina no sistema aquático dissipa-se rapidamente da fase aquosa dissolvida e liga-se ao carbono orgânico em partículas de sedimentos (Fojut; Young, 2011). Este agrotóxico representa um risco para os organismos não visados que habitam os sedimentos, mas também atuam como uma fonte secundária de contaminantes que se libertam para as águas superficiais e causam efeitos adversos nas espécies da coluna de água (Siegler *et al.*, 2015). Segundo Luo *et al.* (2019) a presença de concentrações de piretróides acima de $0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$ é extremamente prejudicial para invertebrados aquáticos.

O tiametoxam é um inseticida sistêmico do grupo neonicotinoide que apresentou concentração baixa no sedimento. Segundo Anderson *et al.* (2013) em locais com agricultura intensa os teores médios de tiametoxam ficam entre 20,1 e 2 ,

acima do observado neste estudo. Yang *et al.* (2023) verificaram alterações do perfil comportamental e toxicidade de zebrafish, quando exposto ao tiametoxam.

A presença de diversos princípios ativos nos sedimentos do efluente evidenciam que as análises de resíduos de agrotóxicos deveriam ser uma exigência do órgão legislador para emissão de licenças ambientais, pois somente com as análises exigidas até então, não se pode mensurar todas substâncias que estão sendo lançadas nos corpos hídricos. Segundo Rubinger (2009), as análises somente dos parâmetros físico-químicos são insuficientes, pois se tornaria impossível determinar quimicamente todos os componentes existentes em uma amostra de água ou efluente e avaliar seu efeito potencial aos seres.

Quanto à legislação existente para contaminação de águas superficiais por agrotóxicos a Resolução CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011) que complementa e altera a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), estabelece padrões de qualidade para corpos d'água e lançamento de efluentes, porém não relaciona padrões de agrotóxicos na água e recomenda que possíveis substâncias causadoras de danos aos seres vivos deverão ser investigadas, e que critérios de toxicidade deverão se basear em resultados de testes ecotoxicológicos padronizados utilizando organismos aquáticos.

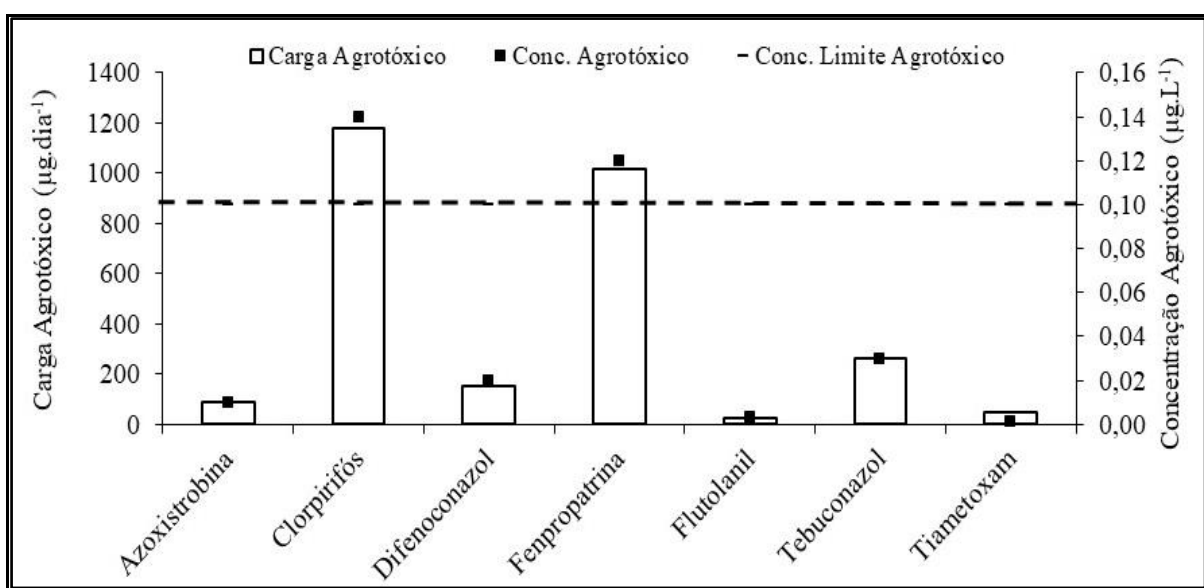
Da mesma forma, a Resolução CONSEMA nº 355/2017 (Rio grande do Sul, 2017) dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, menciona somente que "Os efluentes líquidos de que trata esta Resolução devem atender aos padrões de toxicidade estabelecidos em resolução específica sobre a matéria ou conforme exigências do órgão ambiental competente, definidos caso a caso, até que a mesma esteja em vigor".

Apesar das resoluções existentes, ainda há poucas referências em relação aos limites tolerados de agrotóxicos em cursos de água no Brasil. Para A União Europeia, a concentração máxima é $0,1\mu\text{g L}^{-1}$ para cada agrotóxico e $0,5\mu\text{g L}^{-1}$ para o total de agrotóxicos em águas destinadas ao consumo humano, independentemente de sua toxicidade (Council Directive, 1980), limites semelhantes também são adotados por

outros países, como Estados Unidos e Canadá (Carney, 1991). No entanto, os danos reais que os princípios ativos provocam nos diferentes compartimentos ambientais ainda são pouco conhecidos. A toxicologia ambiental surge como uma ferramenta importante para o estabelecimento de limites permissíveis de poluentes na água para a proteção da vida aquática, na avaliação da eficiência do tratamento de efluentes industriais, na avaliação da carga poluidora de efluentes com baixo teor orgânico, na avaliação da toxicidade de novos produtos, como também, em programas de monitoramento da qualidade das águas.

As concentrações dos agrotóxicos na água estão exibidas na Figura 2. A concentração dos agrotóxicos no efluente apresentou comportamento semelhante, demonstrando que o sedimento apresenta grande contribuição de reserva potencial de poluição. O Clorpirifós e a Fenpropratrina ficaram acima do limite de concentração máxima permitido pela União Europeia, porém a concentração total dos agrotóxicos foi de $0,32\mu\text{g L}^{-1}$ e não ultrapassou o valor máximo permitido na legislação citada.

Figura 2 – Carga e concentração dos agrotóxicos presentes na análise do efluente de uma da indústria de beneficiamento de batatas no município de Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Autores (2023)

Como sugestões acerca dos agrotóxicos e suas legislações, deveriam ser revisados e incluídos um maior número de princípios ativos que as legislações abrangem como tóxicos, pois existem mais princípios ativos nocivos e a lista não é alterada desde 2005. Além disso, pode-se levar em consideração a legislação da União Europeia para limites de agrotóxicos ou incorporá-los à Legislação Brasileira. Sendo assim, para as atividades agrícolas que utilizam agrotóxicos sugere-se o seguinte artigo que deveria fazer parte da legislação de licenciamento ambiental (por exemplo, Resolução CONAMA 430/2011): *“Art. XX. As atividades agrícolas que utilizem agrotóxicos deverão realizar análises em seus efluentes para detectar a presença de quaisquer compostos ativos. Parágrafo Único. A concentração dos agrotóxicos no corpo de água receptor não poderá ser superior à 0,1 µg. L⁻¹ e, para o total de agrotóxicos, 0,5µg.L⁻¹, nas condições da vazão de referência.”*

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efluente da atividade de beneficiamento de batatas analisado no presente artigo encontra-se fora dos padrões das legislações vigentes, pois existem parâmetros físico-químicos que não atendem as normas regulatórias. Também, foram encontrados vários princípios ativos de agrotóxico nesse resíduo. Isso evidencia que a exigência de apenas um tratamento simplificado de sedimentação no licenciamento ambiental da atividade não é suficiente.

As legislações atuais deixam a responsabilidade de análises adicionais para o órgão ambiental competente, o que permite a subjetividade. As análises de resíduos de agrotóxicos deveriam ser uma exigência do órgão legislador para emissão ou renovação de licenças ambientais, pois somente com as análises exigidas até então não se pode mensurar todas as substâncias que estão sendo lançadas nos corpos hídricos.

Não obstante, destaca-se o papel da EMATER para a orientação técnica a respeito do uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas. Tanto a exposição humana e de organismos não-alvos, quanto a contaminação por veiculação hídrica, que pode afetar

diretamente o ser humano. O órgão é fundamental para o desenvolvimento da extensão rural, que visa garantir a produção de alimentos de qualidade e em quantidade, mas, que também se preocupa com a saúde do meio ambiente e dos agricultores.

REFERÊNCIAS

ABBA – Associação Brasileira da Batata. **Direito Ambiental na Agricultura**. Recursos Hídricos e Beneficiamento de Batata. Batata Show. Nº 14, Ano 6, 2006.

AGRAWAL, A.; PANDEY, R. S.; SHARMA, B. Water pollution with special reference to pesticide contamination in India. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 2, n. 05, p. 432, 2010. DOI: 10.4236/jwarp.2010.25050

ANDERSON, T. A.; SALICE, C. J.; ERICKSON, R. A.; MCMURRY, S. T.; COX, S. B.; SMITH, L. M. Effects of landuse and precipitation on pesticides and water quality in playa lakes of the southern high plains. **Chemosphere**, v.92, n.1, p. 84-90, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.054>

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regularização de produtos – agrotóxicos**. Monografias autorizadas. Disponível em: <https://portal.anvisa.gov.br/registros-e-autorizacoes/agrotoxicos/produtos/monografia-de-agrotoxicos/autorizadas>. Acesso em: 05 fev. 2019.

ANVISA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos - Relatório 2012 (2º etapa)**. 2014. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em: 11 jan. 2019.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington D. C., 2012.

BERNABÒ, I.; GUARDIA, A.; MACIRELLA, R.; SESTI, S.; CRESCENTE, A.; BRUNELLI, E. Effects of long-term exposure to two fungicides, pyrimethanil and tebuconazole, on survival and life history traits of Italian tree frog (*Hyla intermedia*). **Aquatic Toxicology**, v. 172, p. 56-66, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.12.017>

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, de 31 de março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2011.

CAO, F.; WU, P.; HUANG, L.; LI, H.; QIAN, L.; PANG, S.; QIU, L. Short-term developmental effects and potential mechanisms of azoxystrobin in larval and adult zebrafish (*Danio rerio*). **Aquat Toxicol** v. 198, p. 129-140, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.02.023>

CARNEY, M. European drinking water standards. **Journal American Water Works Association**, Denver, v.83, n. 6, p. 48-55, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1991.tb07162.x>

CARVALHO, R. A.; PARREIRAS, S.; DE PAULA VENÂNCIO, V.; CHEQUER, F. M. D. Avaliação da persistência de resíduos de clorpirifós em alimento e no ambiente após o cultivo de couve-flor. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 14, n.2, 2017. DOI: :10.5216/ref.v14i2.43616

CETESB -Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016**. São Paulo: CETESB. 2017. https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2017_02-06_VF.pdf, p. 1-43. Acesso em: 25 jan. 2019.

CHEN, X.; ZHENG, J.; ZHANG, J.; DUAN, M.; XU, H.; ZHAO, W.; YANG, Y.; WANG C., XU, Y. Exposure to difenoconazole induces reproductive toxicity in zebrafish by interfering with gamete maturation and reproductive behavior. **Science of The Total Environment**, v. 838, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155610>

COUNCIL DIRECTIVE. **Relating to the quality of water intended for human consumption**. European Communities, p. 19, 1980. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:01998L0083-20151027&from=EN#:~:text=This%20Directive%20concerns%20the%20quality,it%20is%20wholesome%20and%20clean>. Acesso em: 8 ago. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Uso de agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/uso-de-agrotoxicos>. Acesso em: 8 ago. 2023.

FERNANDES, A. C. A. **Avaliação do potencial de reúso de água residuária da ETE Dom Nivaldo Monte para fins não potáveis**. Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Mestrado em Ciências Ambientais. 2018.

FERREIRA, M. D.; NETTO, L. H. Avaliação de processos nas linhas de beneficiamento e classificação de batatas. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 279-285, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200030>

FORGIARINI, F. R.; HISTER, C. A. L.; HORN, J. F.; MORAES, L. M.; LOPES, G. da S. **A gestão ambiental e suas implicações: estudo de caso em Silveira Martins/RS**. In: LORENZI JÚNIOR, D.; BOBSIN, D.; SONZA, I. B.; TRAVERSO, L. D. (Org.). **Desafios da gestão: interfaces do turismo, agronegócio e meio ambiente**. 1ed. Santa Maria: CESMA, v. p. 337-357, 2015.

FOJUT, T. L.; YOUNG, T. M. Pyrethroid sorption to Sacramento River suspended solids and bed sediments, **Environ. Toxicol. Chem.** v.30, p. 787–792, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.448>

HAMADACHE, M.; AMRANE, A.; HANINI, S.; OTHMANE, B. Multilayer perceptron model for predicting acute toxicity of fungicides on rats. **International Journal of Quantitative Structure-Property Relationships (IJQSPR)**, v. 3, n.1, p. 100-118, 2018. DOI:10.4018/IJQSPR.2018010106

HESS, S. C. **Metais pesados, hormônios e agrotóxicos estão na água que chega às torneiras.** 2018. Rede Brasil Atual. Saúde e Ciência. Disponível em <https://www.redebrasilatual.com.br/saude/2018/03/esgoto-hormonios-metais-pesados-e-agrotoxicos-estao-em-amostras-de-agua-que-chega-as-torneiras>. Acesso em: 15 abr. 2019.

HUSSAIN, I.; AHAMAD, K.; NATH, P. Water turbidity sensing using a smartphone. **RSC Advances**, v. 6, n.27, p. 22374-22382, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1039/C6RA02483A>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017.** Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76431. Acesso em: 29 abr. 2019.

IMURA, N.; AE, M.; HOSHINO, R.; ABE, M.; YAMAMURO, T.; OYAMA, K.; OYAMA, Y. Membrane hyperpolarization and depolarization of rat thymocytes by azoxystrobin, a post harvest fungicide. **Chemico-biological interactions**, v. 300, p. 35-39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2019.01.006>

JÚNIOR, A. S. M.; SANTOS, G. R.; SILVA, G. S.; MELO, R. C. C.; JESUS, T. A. MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation** (ISSN 2357-7797), v. 7, n. 1, p. 128-146, 2019.

LI, S.; JIANG, Y.; SUN, Q.; COFFIN, S.; CHEN, L.; QIAO, K.; GUI, W.; ZHU, G. Tebuconazole induced oxidative stress related hepatotoxicity in adult and larval zebrafish (*Danio rerio*). **Chemosphere**, v. 241, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125129>

LIU, J.; HUANG, W.; HAN, H.; SHE, C.; ZHONG, G. Characterization of cell-free extracts from fenpropathrin-degrading strain *Bacillus cereus* ZH-3 and its potential for bioremediation of pyrethroid-contaminated soils. **Science of the Total Environment**, v. 523, p. 50-58, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.124>

LUO, X.; ZHANG, D.; ZHOU, X.; ZHANG, S.; LIU, Y. Biodegradation of fenpropathrin by *Rhodospseudomonas* sp. strain PSB07-21 cultured under three different growth modes. **Journal of basic microbiology**. v. 59, p. 591-598, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201800490>

MACHADO, S. C.; MARTINS, I. Risk assessment of occupational pesticide exposure: Use of endpoints and surrogates. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.08.008>

MU, X.; PANG, S.; SUN, X.; GAO, J.; CHEN, J.; CHEN, X.; LI, X.; WANG, C. Evaluation of acute and developmental effects of difenoconazole via multiple stage zebrafish assays. **Environmental Pollution**, v. 175, p. 147-157, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.12.029>

PIRES, A. M.; MATTIAZZO, M. E. Efluentes da indústria processadora de batata x preservação do meio ambiente ênfase no uso agrícola de resíduos. *In: Seminário Mineiro sobre processamento de batatas*, 2005, Pouso Alegre/MG.[**Anais...**] Pouso Alegre/MG: EPAMIG, p. 1-22, 2005.

PONCE-ROBLES, L.; RIVAS, G.; ESTEBAN, B.; OLLER, I.; MALATO, S.; AGÜERA, A. Determination of pesticides in sewage sludge from an agro-food industry using QuEChERS extraction followed by analysis with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Analytical and bioanalytical chemistry**, v.409, n.26, p. 6181-6193, 2017. DOI: [10.1007/s00216-017-0558-5](https://doi.org/10.1007/s00216-017-0558-5)

RAUH, V.; ARUNAJADAI, S.; HORTON, M.; PERERA, F.; HOEPNER, L.; BARR, D. B.; WHYATT, R. Seven-year neurodevelopmental scores and prenatal exposure to chlorpyrifos, a common agricultural pesticide. **Environmental health perspectives**, v.119, n. 8, p. 1196-1201, 2011. DOI: [10.1289/ehp.1003160](https://doi.org/10.1289/ehp.1003160)

RIO GRANDE DO SUL - Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução Consema N ° 355/2017**, Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. 2017.

RUBINGER, C. F. **Seleção de métodos biológicos para a avaliação toxicológica de efluentes industriais**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). 90 f. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2009.

SARWAR, M. The killer chemicals as controller of agriculture insect pests: The conventional insecticides. **International Journal of Chemical and Biomolecular Science**, v.1, n. 3, p. 141-147, 2015.

SHELTON, J. F.; GERAGHTY, E. M.; TANCREDI, D. J.; DELWICHE, L. D.; SCHMIDT, R. J.; RITZ, B.; HANSEN, R. L.; HERTZ-PICCIOTTO, I. Neurodevelopmental disorders and prenatal residential proximity to agricultural pesticides: the CHARGE study. **Environmental health perspectives**, v. 122, n. 10, p.1103-1109, 2014. DOI: [10.1289/ehp.1307044](https://doi.org/10.1289/ehp.1307044)

SIEGLER, K.; PHILLIPS, B. M.; ANDERSON, B. S.; VOORHEES, J. P.; TJEERDEMA, R. S. Temporal and spatial trends in sediment contaminants associated with toxicity in California watersheds. **Environmental pollution**, v. 206, p. 1-6, 2015. DOI: [10.1016/j.envpol.2015.06.028](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.028)

SILVA, J. D. S.; HECK, M. C.; BUZO, M. G.; ALMEIDA, I. V.; VICENTINI, V. E. P. Evaluation of textile laundry effluents and their cytotoxic effects on *Allium cepa*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 28, p. 27890-27898, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2813-5>

TANG, W.; WANG, D.; WANG, J.; WU, Z.; LI, L.; HUANG, M.; XU, S.; YAN, D. Pyrethroid pesticide residues in the global environment: an overview. **Chemosphere**, v.191, p. 990-1007, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.115>

TENG, M.; ZHOU, Y.; SONG, M.; DONG, K.; CHEN, X.; WANG, C.; BI, S.; ZHU, W. Chronic toxic effects of flutolanil on the liver of zebrafish (*Danio rerio*). **Chemical research in toxicology**, v.32, n. 6, p. 995-1001, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.8b00300>

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: a review. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 724-751, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.034>

YANG, J.; GUO, C.; LUO, Y.; FAN, J.; WANG, W.; YIN, X.; XU, J. Effect of thiamethoxam on the behavioral profile alteration and toxicity of adult zebrafish at environmentally relevant concentrations. **Science of The Total Environment**, v. 858, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159883>

YANG, Y., QI, S., CHEN, J.; LIU, Y.; TENG, M.; WANG, C. Toxic Effects of Bromothalonil and Flutolanil on Multiple Developmental Stages in Zebrafish. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. V.97, n. 1, p. 91 -97, 2016. DOI: 10.1007/s00128-016-1833-4

WANG, K.; SUN, D. W.; PU, H.; WEI, Q. Surface-enhanced Raman scattering of core-shell Au@Ag nanoparticles aggregates for rapid detection of difenoconazole in grapes. **Talanta**, v. 191, p. 449-456, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.08.005>

ZANELLA, R.; PRIMEL, E.G.; GONÇALVES, F.F.; KURZ, M.H.S.; MISTURA, C. M. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicide residues in surface and agricultural waters. **Journal of Separation Science**. v.26, p. 935-938, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.200301309>

ZHAO, F.; LIU, J.; XIE, D.; LV, D.; LUO, J. A novel and actual mode for study of soil degradation and transportation of difenoconazole in a mango field. **RSC advances**, v. 8, n.16, p. 8671-8677, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8RA00251G>

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

1 – Francisco Rossarolla Forgiarini

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor do Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.

<https://orcid.org/0000-0002-6173-883X> - francisco.forgiarini@ufsm.br

Contribuição: Conceituação, Escrita – revisão e edição.

2 – Carine Baggiotto

Doutora em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.

<https://orcid.org/0000-0002-6986-7580> - baggiotto.esa@gmail.com

Contribuição: Redação inicial, coleta e análise dos dados, discussão dos resultados.

3 – Natielo Almeida Santana

Pós-Doutor em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.

<https://orcid.org/0000-0003-2461-144X> - natielo_sm@hotmail.com

Contribuição: Auxílio nas análises estatísticas, Escrita – revisão e edição.

Como citar este artigo

FORGIARINI, F., R.; BAGGIOTTO, C.; SANTANA, N., A. Contaminação da água por agrotóxicos: estudo de caso do beneficiamento de batatas. **Extensão Rural**, Santa Maria, v.30, e 72051, p. 1-21, 2023. DOI 10.5902/2318179672051. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2318179672051>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.