

Review

Physicochemical and Toxicological Characteristics of Sulfluramid and its Environmental Implications

Amanda Rocha Rodrigues^{1*}, Ana Julia de Oliveira Gotto¹, Bruna de Oliveira Silva Santos¹, Jessica Camila Miranda Cardoso¹, Nadiely Cristina Silva¹, Pedro Luiz Rosa Espinosa¹

¹Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Limeira, SP, Brazil.

Received June 06, 2024; Accept March 24, 2025

Abstract

Sulfluramid is an agrotoxic classified as an insecticide and is used to combat leaf-cutting ants. This insecticide is applied to the soil in tablet form and its main degradation product is perfluorooctane sulfonate (PFOS). In the environment, sulfluramid tends to remain in the soil, with low solubility and hydrophobic characteristics. Its degradation product, PFOS, does not remain in the soil and is soluble in water. Sulfluramid was not found in rivers in Brazil, but its degradation product, PFOS, was detected in the country's drinking, surface, and groundwater. The potability criterion for sulfluramid was calculated, resulting in 1.5 µg/L, but it was not possible to calculate the protection criterion for aquatic life, due to the lack of specific toxicological data for aquatic life. However, this criterion was calculated for PFOS, which resulted in a value of 2.0 µg/L. In addition, the USEPA has established a maximum permitted value of PFOS for drinking water of 0.004 µg/L. It was not possible to conclude whether sulfluramid is found at safe levels in Brazilian waters. Regarding PFOS, it was concluded that the waters in southern Brazil, where the compound was detected, do not meet safe levels for human consumption according to the USEPA standard. However, for aquatic life, surface waters in the southeast and northeast, as well as along the Brazilian coast, are considered safe. Since sulfluramid is a source of PFOS in the environment and is a persistent organic pollutant (POP) globally restricted under the Stockholm Convention, Brazilian authorities must take action to ban the use of sulfluramid as an insecticide.

Keywords: Aquatic life; Ecotoxicity; Occurrence; PFOS; Potability; Risk assessment.

*Corresponding author: a230843@dac.unicamp.br

Características Físico-Químicas e Toxicológicas da Sulfluramida e suas Implicações Ambientais

Resumo

Sulfluramida é um agrotóxico classificado como inseticida e age no combate de formigas cortadeiras. Esse inseticida é aplicado no solo na forma de pastilhas e possui o sulfonato de perfluorooctano (PFOS) como seu principal produto de degradação. No meio ambiente, a sulfluramida possui a tendência de permanecer no solo, apresentando baixa solubilidade e características hidrofóbicas. Seu produto de degradação, PFOS, não permanece no solo e é solúvel em água. A sulfluramida não possui ocorrência em rios do Brasil, mas encontrou-se seu produto de degradação, PFOS, em águas potáveis, superficiais e subterrâneas do país. Calculou-se o critério de potabilidade para a sulfluramida, com base em dados toxicológicos, resultando em 1,5 µg/L. Não foi possível calcular o critério de proteção para a vida aquática devido à ausência de dados toxicológicos para organismos aquáticos. No entanto, calculou-se esse critério para o PFOS que resultou em um valor de 2,0 µg/L. Além disso, a USEPA estabeleceu um valor máximo permitido de PFOS para águas potáveis de 0,004 µg/L. Não foi possível concluir se a sulfluramida se encontra em níveis seguros em águas brasileiras. Em relação ao PFOS, concluiu-se que as águas do sul do Brasil nas quais foram reportadas ocorrência do composto, não estão em níveis seguros para consumo humano, com base no padrão da USEPA. Entretanto, para vida aquática, águas superficiais do sudeste, nordeste e da costa brasileira estão em níveis seguros. Considerando que a sulfluramida é uma das fontes de PFOS no ambiente e que este composto é um poluente orgânico persistente (POP) com restrições globais pela Convenção de Estocolmo, é necessário que as autoridades brasileiras tomem ações para banir o uso de sulfluramida como um inseticida.

Palavras-chave: Avaliação de risco; Ecotoxicidade; Ocorrência; PFOS; Potabilidade; Vida aquática;

INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos são produtos, sintéticos ou naturais, utilizados no combate de seres nocivos às práticas agrícolas. Eles possuem diferentes classificações de acordo com sua ação, a exemplo dos inseticidas, que são utilizados contra insetos, larvas e formigas (Montenegro e Dolce, 2024). A sulfluramida é um inseticida utilizado contra formigas cortadeiras do gênero *Atta* spp. e *Acromyrmex* spp., possuindo uso autorizado para práticas agrícolas, não agrícolas e domésticas (Anvisa, 2024). Existem 11 inseticidas registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) que possuem a sulfluramida como ingrediente ativo, sendo eles: Fluramim, Forisk AG, Formicida Granulado Citromax S, Formicida Granulado Dinagro S, Formicida Granulado Dinagro-S2, Grão Verde AG, Isca Formicida Atta Mex-S, Isca-Formicida Atta Mex-S2, Mirex-S2, Mirex-S, Mirex-SH (Brasil, s.d).

A sulfluramida é aplicada nos solos na forma de pastilhas e seu modo de ação nos organismos alvo ocorre por contato ou ingestão (Brasil, s.d.). No meio ambiente, o principal produto de degradação do inseticida é o sulfonato de perfluorooctano (PFOS), que é um composto químico persistente no ambiente, conhecido como “forever chemical”. Esse composto pode atingir águas superficiais e subterrâneas, através do carregamento pelas chuvas e pela infiltração no solo (Nascimento *et al.*, 2018; Stefano *et al.*, 2023), conforme ilustrado na Figura 1. O PFOS causa diversos problemas à saúde ambiental, sendo

um composto que bioacumula e biomagnifica (Xiao, Simeik, Gulliver, 2013; Antonopoulou *et al.*, 2024). Existem estudos que avaliaram a toxicidade do PFOS, além de analisar concentrações de PFOS em diversos organismos. Por exemplo, 250 µg/L de PFOS causou supressão no crescimento de peixe zebra (*Danio rerio*), além de causar alteração entre a proporção dos sexos, com uma dominância de fêmeas (Wang *et al.*, 2011). Para sapos da espécie *Rana pipiens*, o PFOS a 1000 µg/L causou uma diminuição de 30% no peso corpóreo (Flynn *et al.*, 2022). Além disso, PFOS já foi detectado em seres humanos em amostras de sangue e de leite materno (Kannan *et al.*, 2004; Karrman *et al.*, 2007).

O Brasil produz e consome sulfluramida, sendo que, em 2022, de acordo com o Relatório de Comercialização de Agrotóxicos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o país produziu mais de 37 toneladas e comercializou internamente cerca de 35 toneladas do inseticida (IBAMA, 2022). Portanto, diante do elevado consumo de sulfluramida no Brasil e a persistência ambiental do seu produto de degradação, o PFOS, a finalidade deste trabalho foi realizar um levantamento das características físico-químicas e dos dados toxicológicos da sulfluramida para, então, ser possível calcular critérios de qualidade da água para consumo humano e proteção da vida aquática. Além disso, foi verificada a ocorrência e regulamentação da substância no Brasil e em outros países.

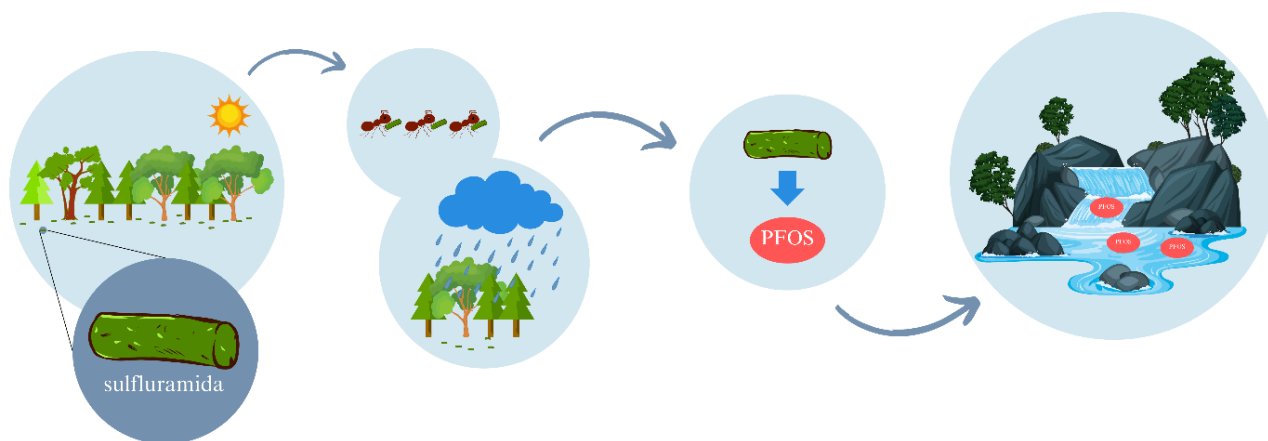


Figura 1. Esquema da aplicação da sulfluramida, sua biotransformação em PFOS e carregamento do principal produto de degradação até as águas superficiais.

METODOLOGIA

Levantamento Bibliográfico

O trabalho foi realizado com base em pesquisas bibliográficas em revistas científicas, a partir das plataformas Scopus, Science Direct e Web of Science. As buscas se basearam em dados de ocorrência de sulfluramida em água no Brasil e na Europa, excluindo dados de ocorrência em solo e de alimentos. Para os estudos de caracterização da toxicidade da sulfluramida, buscou-se por estudos crônicos em mamíferos que possuem semelhanças com seres humanos e que apresentaram valores de concentração de efeito não observado (CENO). Além disso, foram considerados os estudos de toxicidade com organismos aquáticos de água doce que apresentaram valores de concentrações de efeito ou letal 10 ou 50% (CE_x ou CL_x). Estudos de toxicidade que não apresentaram os valores desejados ou que não utilizaram os organismos de interesses foram descartados.

Não foi estabelecido um corte temporal, uma vez que há poucos artigos publicados sobre sulfluramida. Além disso, considerando que o principal produto de degradação do inseticida é PFOS, também foram pesquisados artigos relacionados a ele. Os dados de ocorrência de PFOS foram restringidos ao Brasil e os artigos de toxicidade seguiram os mesmos critérios de exclusão que os citados para sulfluramida. Em relação ao PFOS, um critério de exclusão estabelecido durante as pesquisas foi utilizar apenas a sigla, sem considerar o nome por extenso (sulfonato de perfluorooctano).

Foram pesquisados artigos no idioma Português e Inglês. As palavras-chave utilizadas para busca de ocorrências foram: sulfluramida, sulfluramida e PFOS, usos da sulfluramida, PFOS e ocorrência e Brasil, PFOS e

ocorrência e Brasil e água, N-EtFOSA ocorrência em água. Já para a busca de dados toxicológicos foram: sulfluramida toxicidade crônica, N-EtFOSA toxicidade, sulfluramida toxicidade em ratos, CENO e sulfluramida, CEO e sulfluramida, PFOS toxicidade aquática, CENO e PFOS, CEO e PFOS.

Levantamento de Produtos Comerciais e Consumo

Para obter informações dos produtos que contém sulfluramida e que são comercializados no Brasil, bem como a quantidade de ingrediente ativo consumido em território nacional, utilizou-se o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e o Relatório de Comercialização de Agrotóxicos do IBAMA.

Levantamento de Características Físico-Químicas e Ocorrência Global

As características físico-químicas da sulfluramida foram obtidas nas seguintes bases de dados: SciFinder, CompTOX e PPDB. Para o levantamento mundial sobre o uso e a ocorrência da sulfluramida foram consultados o painel de relatórios da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes e a rede NORMAN, especializada no monitoramento de contaminantes emergentes.

Cálculo do Critério de Potabilidade

O Critério de Potabilidade é um valor máximo tolerável de certa substância que garante os usos pretendidos da água de uma forma segura. Para seu cálculo, é necessário o conhecimento do valor de Ingestão

Diária Aceitável (IDA). Esse valor se refere à quantidade máxima de uma substância química que o ser humano pode ingerir sem que haja efeito adverso, sendo calculado a partir da Equação 1 (Umbuzeiro, 2012).

$$(Eq. 1) \quad IDA = \frac{\text{Concentração de efeito não observado (CENO)}}{\text{Fator de incerteza}}$$

A concentração de efeito não observado (CENO) é a maior concentração na qual não se observa efeito adverso no organismo em que o estudo foi realizado, portanto, é um valor encontrado na literatura. No cálculo da IDA, o CENO é baseado em estudos toxicológicos feitos com mamíferos que possuem semelhanças com seres humanos. Já o fator de incerteza está relacionado às diferenças interespecies e intraespecies dos estudos utilizados para o CENO (Brasil, 2019).

Com o valor de IDA, o Critério de Potabilidade pode ser calculado conforme Equação 2 (Umbuzeiro, 2012). O fator de alocação é a parcela da IDA destinada a uma fonte de exposição (consumo de água ou alimento). O peso médio corpóreo e o consumo de água foram adotados de acordo com os valores utilizados no Brasil.

$$(Eq. 2) \quad \text{Critério de potabilidade} = \frac{IDA \times \text{Fator de alocação} \times \text{Peso médio corpóreo}}{\text{Consumo de água}}$$

Cálculo do Critério de Qualidade da Água

Os Critérios de Qualidade da Água (CQA) para a proteção da vida aquática visam proteger as diferentes espécies que compõem um ecossistema aquático e é calculado conforme a Equação 3.

$$(Eq. 3) \quad CQA = \frac{\text{Menor valor dentro de um conjunto de dados ecotoxicológicos}}{\text{Fator de avaliação}}$$

Portanto, para o seu cálculo é necessário possuir uma base de dados ecotoxicológicos da substância em estudo para, então, utilizar a menor resposta que indica o organismo mais sensível. A base de dados ecotoxicológicos deve ser formada por dados crônicos e agudos e a prioridade de escolha para utilização dos dados segue a ordem crescente do fator de avaliação apresentado na Tabela 1. O fator de avaliação é definido de acordo com a disponibilidade dos dados, podendo variar de 10 a 1000 (Umbuzeiro *et al.*, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características Físico-Químicas da Sulfluramida

A sulfluramida apresenta baixa solubilidade em água e seu alto valor de Log Kow indica que o composto é lipofílico. O alto valor de Koc revela que a sulfluramida possui uma forte tendência a se adsorver ao carbono orgânico presente no solo, favorecendo sua permanência nesse meio. Embora a sulfluramida seja altamente volátil em sua forma pura, quando ela entra em contato com solução aquosa tende a não volatilizar. Além disso, o valor de pKa da sulfluramida indica que o composto permanece principalmente em sua forma molecular, o que facilita sua absorção pelas células dos organismos (Tabela 2).

Em vista disso, pode-se inferir que o transporte de sulfluramida para corpos hídricos é negligenciável (Gilljam *et al.*, 2016; Leonel, Nascimento e Miranda, 2023) e que possui tendência a permanecer no solo por adsorção à matéria orgânica. Para solos brasileiros nos quais é utilizado, o inseticida possui tempo de meia vida de 36,5 a 38,5 dias (Guida *et al.*, 2023). Sua degradação possui como produto o PFOS e pode ocorrer de forma abiótica e biótica, sendo que a última é a forma mais predominante (Avenidaño *et al.*, 2015; Yin *et al.*, 2018; Zabaleta *et al.*, 2018; Guida *et al.*, 2023).

Nos estágios iniciais da biotransformação, a sulfluramida é degradada em ácido acético perfluorooctano sulfonamida (FOSAA) e perfluorooctano sulfonamida (FOSA) (Avenidaño *et al.*, 2015). A respeito disso, a análise de solos brasileiros realizada por Guida *et al.* (2023) verificou a ocorrência de FOSA em maiores concentrações em comparação a ocorrência de PFOS, indicando a fase inicial da degradação da sulfluramida. O PFOS apresenta solubilidade em água de 7,5 g/L, um Log Kow de $4,512 \pm 0,862$ e um Koc de 2,15 (Advanced Chemistry Development (ACD/Labs)), indicando que possui a propensão a permanecer na água.

Ocorrência em Águas

Foram encontrados 11.489 dados de ocorrência de sulfluramida em águas superficiais da Europa no período de 2011 a 2020 (NORMAN, 2024). Para todos esses dados, a concentração de sulfluramida foi menor que os limites de detecção, que variaram de 0,0005 a 0,17 µg/L, ou menor que os limites de quantificação, que variaram de 0,001 a 0,5 µg/L (NORMAN, 2024). Não foram encontrados dados de ocorrência para sulfluramida em águas superficiais brasileiras e, também, não foram encontrados dados de ocorrência de sulfluramida em água potável, tanto em territórios nacionais quanto internacionais.

Como o produto final de degradação da sulfluramida é o PFOS e este possui a tendência de estar em águas, pesquisou-se dados de ocorrência de PFOS em águas brasileiras e os resultados estão apresentados na

Tabela 3. É possível notar que a substância é encontrada em água em níveis baixos, sendo que a menor concentração encontrada é menor que 1×10^{-5} µg/L.

Critério de Potabilidade

Como não foi possível encontrar valor de IDA para a sulfluramida na literatura, foi necessário calcular esse valor de acordo com a Equação 1. Para isso, foi necessário obter dados toxicológicos, especificamente CENO, com mamíferos na literatura. Os dados de CENO para sulfluramida encontrados na literatura estão apresentados na Tabela 4. Utilizou-se o valor de CENO do estudo 3, já que este foi o mais sensível encontrado (0,1 mg/kg/dia). Foi adotado 100 como fator de incerteza devido às diferenças intra e interespecies. Com isso, dividindo-se o valor de CENO pelo fator de incerteza, foi obtido uma IDA de 0,001 mg/kg/dia para a sulfluramida.

Com a IDA calculada, foi possível obter o Critério de Potabilidade. Usualmente, para o fator de alocação, reserva-se uma faixa de até 20% para o consumo de água. Como foi observado nas características físico-químicas, a sulfluramida não tende a ser encontrada nas águas, portanto, adotou-se um valor de 5% para o fator de alocação. Além disso, o peso médio corpóreo adotado no Brasil é de 60 kg e, o consumo de água é de 2 litros (Umbuzeiro, 2012). Considerando esses valores e que a IDA da sulfluramida é 0,001 mg/kg/dia, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Critério de Potabilidade} &= \\ \frac{0,001 \text{ mg/kg/dia} \times 0,05 \times 60 \text{ kg}}{2 \text{ L/dia}} &= \\ 0,0015 \text{ mg/L} &= 1,5 \text{ µg/L} \end{aligned}$$

Critério de Qualidade da Água

Para a biota aquática, não foram encontrados dados de toxicidade para a sulfluramida. Com isso, não foi possível calcular CQA para o inseticida. Entretanto, sabe-se que a sulfluramida é uma das fontes de PFOS ao ambiente aquático e por esse motivo foi realizado um levantamento de dados de toxicidade crônica (Tabela 5) e aguda (Tabela 6) de PFOS. Os valores de concentração de efeito 10% e 50% (CE₁₀ e CE₅₀) e concentração letal 10% e 50% (CL₁₀ e CL₅₀) representam a concentração que causa efeito ou letalidade em 10% e 50% dos organismos utilizados nos testes.

Observando as Tabelas 5 e 6, percebe-se que há 3 valores de CENO para 2 níveis tróficos diferentes (crustáceo e peixe), portanto, de acordo com a Tabela 1, foi utilizado um fator de incerteza igual a 50 para o cálculo do CQA do PFOS. O valor de CENO escolhido foi de 100 µg/L, encontrado para diminuição do comprimento do corpo do *D. rerio*. Portanto, o CQA foi calculado da seguinte forma:

$$CQA = \frac{100 \text{ µg/L}}{50} = 2 \text{ µg/L}$$

Risco ao Ser Humano e a Biota Aquática

Para avaliar o risco é necessário comparar os valores de ocorrência com os valores dos critérios obtidos. Com isso, é possível calcular um Coeficiente de Risco (CR) que é uma divisão entre a maior concentração ocorrência do composto pelo Critério de Potabilidade ou CQA calculado e, quanto mais próximo de 1 for esse valor, maior risco aos seres humanos ou a vida aquática.

Tomando por base os valores de ocorrência de sulfluramida em águas superficiais de rios europeus, pode-se concluir que os mesmos estão seguros em relação a presença desse inseticida, pois todos os valores de LD e LQ são menores que o critério de potabilidade calculado para a sulfluramida. Entretanto, a sulfluramida é uma das fontes de PFOS no ambiente, por isso, também é importante avaliar o risco deste composto aos seres humanos.

Recentemente, a Environmental Protection Agency dos Estados Unidos (USEPA) publicou o critério para potabilidade de PFAS, sendo que o Nível Máximo de PFOS permitidos na água potável é de 0,004 µg/L (USEPA, 2024). Para a água de torneira de Porto Alegre - RS foram detectados PFOS em concentrações de 0,0046 a 0,044 µg/L. Utilizando o valor da USEPA como base, foi possível concluir que essa água não está segura para o consumo humano, pois seu CR é 11. Ainda, considerando que águas subterrâneas serão utilizadas para abastecimento humano, e que os tratamentos de água convencionais não são eficientes na remoção de PFOS (Xiao, Simcik, Gulliver, 2013), conclui-se que as águas subterrâneas de Porto Alegre (<0,003 - 0,0158 µg/L de PFOS) apresentam risco à saúde humana, pois o PFOS foi encontrado em uma faixa de valores acima do Nível Máximo permitido pela USEPA, com um valor de CR de 3,95.

Para diminuir o coeficiente de risco em relação à potabilidade, é necessário investir em tratamentos de água que sejam eficientes na remoção de PFOS. Alguns tratamentos que já são comumente utilizados nas estações de tratamento de água, como adsorção em carvão ativado e coagulação, são capazes de remover PFOS. Entretanto, esses tratamentos não removem mais que 50% de PFOS da água (Yuan *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024). Por isso, diversos estudos envolvendo processos de oxidação e redução estão sendo desenvolvidos visando uma alta remoção de PFOS (Antopoulou *et al.*, 2024). Por exemplo, ultrassom de dupla frequência combinado com persulfato atingiu >99% de remoção de PFOS (Lei *et al.*, 2020) e um sistema ultravioleta/sulfito de alto fluxo de fótons atingiu 98% de remoção de PFOS (Gu *et al.*, 2016).

Para a biota aquática foi possível analisar o risco somente para o PFOS. A maior concentração de ocorrência encontrada em águas doces superficiais foi na Bahia com o valor de 0,002 µg/L e o CQA calculado foi de 2 µg/L. Portanto, o CR é de 0,001 e com isso foi possível concluir que o PFOS não apresenta risco à biota aquática.

Regulamentação Brasileira e Internacional

O Brasil não possui regulamentação para sulfluramida e também não há um critério estabelecido em legislação para limites de sulfluramida na água. Sabendo que a sulfluramida se degrada em PFOS e que este químico pode atingir águas superficiais e subterrâneas, também é importante entender sua regulamentação. No Brasil, não há regulamentação para o PFOS, entretanto, a USEPA lançou o primeiro padrão para águas potáveis em relação a 6 PFAS's, incluindo o PFOS. Nesse padrão, estabeleceu-se que o Nível Máximo Permitido (NMP) para o PFOS em águas potáveis é de 0,004 µg/L (USEPA, 2024).

Na revisão do texto da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) de 2019, o PFOS foi incluso na lista de POP com restrições globais, ou seja, é um composto que deve ter seu uso banido pelos países, entretanto, pode ser utilizado a partir de justificativas aceitáveis. Portanto, diversos países baniram o uso de sulfluramida e do PFOS, como por exemplo, países da União Europeia, Estados Unidos e China (IPEN, 2019). Porém, o Brasil continua utilizando o inseticida com a justificativa do mesmo ser indispensável ao combate das formigas (Stockholm Convention, 2022). Em 2024 tramita pelos órgãos públicos o Processo de nº 25351.935544/2023-30 aberto pela ANVISA para a exclusão do uso saneante da sulfluramida, de acordo com as diretrizes da convenção.

Com isso, percebe-se que o Brasil está tomando providências para a suspensão do uso da sulfluramida como inseticida. Essa medida é de extrema importância considerando que a substância é uma fonte de PFOS ao ambiente.

CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Como já citado, a degradação de sulfluramida tem PFOS como produto, portanto, o inseticida é uma fonte de PFOS para as águas brasileiras. Zabaleta *et al.* (2018) apontam que a relação FOSA:PFOS pode ser utilizada como um indicador de sulfluramida no ambiente, já que antes de chegar em PFOS, a sulfluramida se degrada a FOSA. Entretanto, essa relação precisa ser melhor estudada antes de ser estabelecida, pois pode haver outras fontes emissoras de FOSA e PFOS no ambiente.

Gilljam *et al.* (2016) fizeram uma análise para entender a quantidade de PFOS que é emitida ao meio ambiente em função do uso de sulfluramida. Considerando a produção de sulfluramida entre 2004 e 2015 (514,17 toneladas, entre importação e produção) e que toda a sulfluramida é convertida em PFOS, os autores chegaram à conclusão de que o inseticida foi responsável por emitir 487 toneladas de PFOS ao ambiente. Entretanto, Guida *et al.* (2023) argumentam que não é correto admitir que toda a sulfluramida se degrada em PFOS, pois o meio ambiente não é um sistema fechado e outros processos podem acontecer durante a degradação. Dessa forma, considerando a produção de sulfluramida dos anos de 2009 a 2020 (343,5 toneladas), é estimado que há uma emissão de 116 - 951 toneladas de PFOS ao ambiente e, considerando que toda a sulfluramida seja convertida em PFOS, estimaram uma emissão de 357 toneladas de PFOS (Guida *et al.*, 2023).

CONCLUSÃO

Sulfluramida tende a permanecer no solo, limitando sua movimentação às águas superficiais e subterrâneas. No entanto, esse inseticida se degrada em PFOS, um composto químico persistente que pode atingir corpos hídricos. O critério de potabilidade calculado para sulfluramida foi de 1,5 µg/L, porém não foi possível determinar um CQA devido à ausência de dados toxicológicos específicos para a vida aquática. Além disso, como não foram encontrados dados de ocorrência de sulfluramida em águas brasileiras, não foi possível realizar uma avaliação de risco para o inseticida.

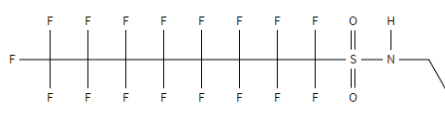
Entretanto, considerando que o PFOS é o principal produto de degradação de sulfluramida e utilizando como referência o valor máximo permitido em águas potáveis pela USEPA e o CQA estabelecido neste estudo, foi possível realizar a avaliação de risco desse composto. Com isso, as águas brasileiras dos locais apresentados na Tabela 3 não são seguras para consumo humano, embora ainda estejam dentro dos limites de segurança para a biota aquática. Assim, é fundamental que o Brasil tome medidas preventivas e proíba o uso da sulfluramida como inseticida, uma vez que esta substância é uma das fontes de contaminação por PFOS em recursos hídricos.

Tabela 1. Fator de avaliação conforme disponibilidade de dados.

Conjunto de dados	Fator de avaliação (FA)
Três CENO pelo menos para três espécies (peixes, invertebrados, algas) representando três níveis tróficos	10
Dois CENO para espécies de diferentes níveis tróficos (peixes e/ou invertebrados e/ou algas)	50
Um CENO (peixes ou invertebrados)	100
Pelo menos uma C(E)L ₅₀ de cada um dos três níveis tróficos do conjunto de dados (peixes, invertebrados, algas)	1000

Fonte: Umbuzeiro, 2011.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas da sulfluramida.

Nome	Sulfluramida	
Fórmula molecular	C ₈ F ₁₇ SO ₂ NHC ₂ H ₅	
Fórmula química		
Massa molecular	527,20 g/mol	
CAS number	4151-50-2	
Parâmetros*	Valor	Classificação
Solubilidade (mg/L)	56×10 ⁻³ ⁽¹⁾ 428,6 ⁽²⁾	Baixa solubilidade ⁽⁵⁾
pKa	8,36 ⁽²⁾	-
Log Kow	6,80 ⁽²⁾	Hidrofóbico ⁽⁵⁾
Koc (pH = 7)	376000 ⁽¹⁾	Alta absorção ao solo ⁽⁵⁾
Pressão de Vapor (mmHg)	0,0009 ⁽¹⁾ 0,0269 ⁽³⁾ 0,189 ⁽²⁾	Altamente volátil ⁽⁶⁾
K _H (atm.m ³ /mol)	1,58×10 ⁻¹⁰ ⁽²⁾	Não volátil ⁽⁵⁾
Tempo de meia vida em solo (dias)	36,5 - 38,5 ⁽⁴⁾	-

* Todos os parâmetros foram obtidos por programas de predição a 25°C. (1) Wang *et al.*, 2011. (2) Mansouri *et al.*, 2018 (3) ACD/Labs® (www.acdlabs.com) (4) Guida *et al.*, 2023. (5) United States Environmental Protection Agency, 2012. (6) Lewis *et al.*, 2016.

Tabela 3. Ocorrência de PFOS em ambiente aquático brasileiro

Matriz ambiental	Local/Amostras	LD/LQ (µg/L)	Concentração encontrada (µg/L)	Referência
Água subterrânea	Águas subterrâneas da Região de Porto Alegre/20 pontos de amostragem	$3 \times 10^{-3}/1 \times 10^{-2}$	$<LD - 1,58 \times 10^{-2}$	Stefano <i>et al.</i> , 2023
Águas superficiais	Rio Itanhém (Bahia)/6 pontos de amostragem	$1 \times 10^{-4}/NR$	$1,41 \times 10^{-5} - 2,03 \times 10^{-3}$	Nascimento <i>et al.</i> , 2018
	Lago Guaíba, Arroio Dilúvio e Rio Gravataí, Rio Jacuí e Rio Sinos/4 pontos no lago, 1 ponto para cada rio	$3 \times 10^{-3}/1 \times 10^{-2}$	<LQ	Stefano <i>et al.</i> , 2023
Oceanos	Baía de Guanabara (Rio de Janeiro)/12 amostras a partir de 5 pontos	$9 \times 10^{-5}/NR$	$4 \times 10^{-4} - 9,2 \times 10^{-4}$	Quinete <i>et al.</i> , 2009
	Água superficial costeira de Caravelas (Bahia)/10 pontos de amostragem	$1 \times 10^{-5}/NR$	$<LD - 5,7 \times 10^{-5}$	Nascimento <i>et al.</i> , 2018
	92 pontos de amostragens no percurso entre oceanos, incluindo pontos na costa brasileira.	$6 \times 10^{-8}/4,2 \times 10^{-7}$	$3,24 \times 10^{-3} - 6,56 \times 10^{-3}$	González-Gaya <i>et al.</i> , 2014
Água potável	Diferentes bairros do Rio de Janeiro/26 amostras a partir de 13 pontos	$9 \times 10^{-5}/NR$	$5,8 \times 10^{-4} - 6,7 \times 10^{-3}$	Quinete <i>et al.</i> , 2009
	Águas de torneira de Porto Alegre/21 amostras	$4,1 \times 10^{-4}/1,2 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-3} - 4,4 \times 10^{-2}$	Schwanz, 2016

NR = não reportado no estudo.

Tabela 4. Dados de CENO a partir de testes crônicos com sulfluramida.

1	Identificação do estudo	USEPA Data Evaluation Report: Subchronic Oral Toxicity Study. Guideline 82-1, no. 417994-05, 1990 (Liem e Swentzel, 1990).
	Resultado	O estudo foi realizado com camundongos alimentados com sulfluramida por 90 dias e, com base na diminuição do peso corpóreo, o estudo propôs um CENO de 10 mg/kg/dia.
2	Identificação do estudo	Pharmakon Research International. Developmental Toxicity Study in Rats with Sulfluramid. Study n° PH 328-GC-001-90 (Stockholm Convention, 2008).
	Resultado	O estudo foi realizado com administração oral de sulfluramida a ratos fêmeas grávidas do dia 6 ao 15 da gestação. O estudo propõe um CENO de 1 mg/kg/dia para os efeitos adversos gestacionais (perda de peso) e um CENO de 4 mg/kg/dia para os efeitos adversos no desenvolvimento dos fetos (malformações viscerais e no esqueleto).
3	Identificação do estudo	Pharmakon Research International. Developmental Toxicity Study in Rabbits with Sulfluramid. Study n° PH 329-GC-001-90 (Stockholm Convention, 2008)
	Resultado	O estudo foi realizado com administração oral de sulfluramida a coelhos fêmeas grávidas do dia 6 ao 18 da gestação. O estudo propõe um CENO de 0,1 mg/kg/dia para os efeitos adversos gestacionais (perda de peso) e um CENO de 1,5 mg/kg/dia para os efeitos adversos no desenvolvimento dos fetos.

Tabela 5. Testes crônicos com organismos aquáticos de água doce expostos a PFOS.

Organismo	Efeito observado	Endpoint	Tempo de exposição	Resultado (µg/L)	Fonte
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (alga)	Inibição do crescimento	CE ₅₀	72 h	3,5×10 ⁴	Rosal <i>et al.</i> , 2010
<i>Daphnia magna</i> (crustáceo)	Reprodução	CENO	21 dias	1,25×10 ³	Ji <i>et al.</i> , 2008
<i>Ceriodaphnia dubia</i> (crustáceo)	Mortalidade e reprodução	CL ₁₀ CE ₁₀	6 dias	1,3×10 ⁴ 6,9×10 ³	Krupa <i>et al.</i> , 2022
<i>Moina macrocopa</i> (crustáceo)	Reprodução	CENO	7 dias	3,125×10 ²	Ji <i>et al.</i> , 2008
<i>Hyalella azteca</i> (crustáceo)	Reprodução	CE ₁₀	42 dias	7×10 ²	Krupa <i>et al.</i> , 2022
<i>Danio rerio</i> (peixe)	Mortalidade e diminuição do peso	CL ₅₀ CE ₁₀	30 dias	4,90×10 ² 9,8×10 ¹	Krupa <i>et al.</i> , 2022
	Diminuição no comprimento do corpo	CENO	117 hpf*	1×10 ²	Jantzen <i>et al.</i> , 2016

*Os embriões foram expostos ao composto de 3 horas pós fertilização (hpf) a 120 hpf,

Para cada organismo da tabela são utilizadas normas específicas que definem o tempo de exposição para a realização dos ensaios, classificando-os como crônico. CENO = concentração de efeito não observado, CE₅₀ = concentração de efeito 50%, CL₅₀ = concentração letal 50%

Tabela 6. Testes agudos com organismos aquáticos de água doce expostos a PFOS.

Organismo	Efeito observado	Endpoint	Tempo de exposição	Resultado (mg/L)	Fonte
<i>Daphnia magna</i> (crustáceo)	Imobilidade	CE ₅₀	48 h	3,736×10 ⁴	Ji <i>et al.</i> , 2008
<i>Moina macrocopa</i> (crustáceo)	Imobilidade	CE ₅₀	48 h	1,795×10 ⁴	Ji <i>et al.</i> , 2008
<i>Lampsilis siliquoidea</i> (molusco bivalve)	Imobilidade	CE ₅₀	48 h*	1,65×10 ⁴	Hazelton <i>et al.</i> , 2012
		CE ₅₀	96 h**	1,581×10 ⁵	
<i>Ligumia recta</i> (molusco bivalve)	Imobilidade	CE ₅₀	48 h*	1,35×10 ⁴	Hazelton <i>et al.</i> , 2012
		CE ₅₀	96 h**	1,417×10 ⁵	
<i>Danio rerio</i> (peixe)	Mortalidade	CL ₅₀	96 h	5,847×10 ⁴	Hagenaars <i>et al.</i> , 2011

*Organismos na fase de glochídia/larva, **Organismos na fase juvenil,

Para cada organismo da tabela são utilizadas normas específicas que definem o tempo de exposição para a realização dos ensaios, classificando-os como agudo. CE₅₀ = concentração de efeito 50%, CL₅₀ = concentração letal 50%.

AGRADECIMENTOS

Às Professoras Doutoras Amanda dos Santos e Gisela de Aragão Umbuzeiro, pela orientação e auxílio na elaboração da pesquisa e escrita deste trabalho.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

AR: revisão da literatura, análise dos resultados, escrita e edição do manuscrito; **AG**: revisão da literatura, análise dos resultados, escrita e edição do manuscrito; **BS**: revisão da literatura, análise dos resultados, escrita e edição do manuscrito; **JC**: revisão da literatura, análise dos resultados, escrita e edição do manuscrito; **NS**: revisão da literatura, análise dos resultados, escrita e edição do manuscrito; **PE**: revisão da literatura, análise dos resultados, escrita e edição do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Advanced Chemistry Development (ACD/Labs), version 11.02, Toronto, ON, Canada, www.acdlabs.com
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. (2024). Monografias de agrotóxicos. Ministério da Saúde, Brasil. <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos>
- Antonopoulou, A., Spyrou, A., Tzamaría, A., Efthimiou, I., Triantafyllidis, V. (2024) Current state of knowledge of environmental occurrence, toxic effects, and advanced treatment of PFOS and PFOA. *Science of Total Environment*, 913, 169332, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169332>
- Avendaño, S. M., & Liu, J. (2015). Production of PFOS from aerobic soil biotransformation of two perfluoroalkyl sulfonamide derivatives. *Chemosphere*, 119, 1084–1090. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.059>
- Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA. (n.d.). Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/
- Brasil. Ministério da Saúde. (2019). Resolução da Diretoria Colegiada nº295, de 29 de julho de 2019. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2019/rdc0295_29_07_2019.pdf
- Flynn, R. W., Hoover, G., Iacchetta, M., Guffey, S., Perre, C., Huerta, B., Li, W., Hoverman, J. T., Lee, L., & Sepúlveda, M. S. (2022). Comparative Toxicity of Aquatic Per- and Polyfluoroalkyl Substance Exposure in Three Species of Amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/etc.5319>
- Gilljam, J. L., Leonel, J., Cousins, I. T., & Benskin, J. P. (2016). Is Ongoing Sulfluramid Use in South America a Significant Source of Perfluorooctanesulfonate (PFOS)? Production Inventories, Environmental Fate, and Local Occurrence. *Environmental Science and Technology*, 50(2), 653–659. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04544>
- González-Gaya, B., Dachs, J., Roscales, J. L., Caballero, G., & Jiménez, B. (2014). Perfluoroalkylated substances in the global tropical and subtropical surface oceans. *Environmental Science and Technology*, 48(22), 13076–13084. <https://doi.org/10.1021/es503490z>
- Gu, Y., Dong, W., Luo, C., & Liu, T. (2016). Efficient Reductive Decomposition of Perfluorooctanesulfonate in a High Photon Flux UV/Sulfite System. *Environmental Science & Technology*, 50(19), 10554–10561. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03261>
- Guida, Y., Machado Torres, F. B., Barizon, R. R. M., Assalin, M. R., & Rosa, M. A. (2023). Corrigendum to “Confirming sulfluramid (EtFOSA) application as a precursor of perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in Brazilian agricultural soils” [*Chemosphere* 325 (June 2023) 138370] (*Chemosphere* (2023) 325, (S0045653523006379), (10.1016/j.chemosphere.2023.138370)). *Chemosphere*, 336(March), 139278. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139278>
- Hagenaars, A., Vergauwen, L., De Coen, W., & Knapen, D. (2011). Structure-activity relationship assessment of four perfluorinated chemicals using a prolonged zebrafish early life stage test. *Chemosphere*, 82(5), 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.076>
- Hazelton, Peter D.; Cope, W. Gregory; Pandolfo, Tamara J.; Mosher, Shad; Strynar, Mark J.; Barnhart, M. Christopher; Bringolf, R. B. (2012). Partial Life-Cycle and Acute Toxicity of Perfluoroalkyl Acids to Freshwater Mussels. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(7), 1611–1620. <https://doi.org/10.1002/etc.1866>
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. (2022). Painéis de Informações de Agrotóxicos. Brasil. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos#painel-comercializacao>
- IPEN for a toxics-free future. (2019). Não à sulfluramida. Razões para a proibição deste agrotóxico em todo o mundo [Fact sheet]. https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-sulfluramide_portugues-factsheet-v1_10a-pt_copia.pdf
- Jantzen, C. E., Annunziato, K. A., Bugel, S. M., & Cooper, K. R. (2016). PFOS, PFNA, and PFOA sub-lethal exposure to embryonic zebrafish have

- different toxicity profiles in terms of morphometrics, behavior and gene expression. *Aquatic Toxicology*, 175, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.03.026>
- Ji, K., Kim, Y., Oh, S., Ahn, B., Jo, H., & Choi, K. (2008). Toxicity of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid on freshwater macroinvertebrates (*Daphnia magna* and *moina macrocopa*) and fish (*Oryzias latipes*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(10), 2159–2168. <https://doi.org/10.1897/07-523.1>
- Kannan, K., Corsolini, S., Falandysz, J., Fillmann, G., Kumar, K. S., Loganathan, B. G., Mohd, M. A., Olivero, J., Wouwe, N. V., Yang, J. H., & Aldous, K. M. (2004). Perfluorooctanesulfonate and Related Fluorochemicals in Human Blood from Several Countries. *Environmental Science & Technology*, 38(17), 4489–4495. <https://doi.org/10.1021/es0493446>
- Karrman, A., Ericson, I., van Bavel, B., Darnerud, P. O., Aune, M., Glynn, A., Lignell, S., & Lindström, G. (2007). Exposure of Perfluorinated Chemicals through Lactation: Levels of Matched Human Milk and Serum and a Temporal Trend, 1996–2004, in Sweden. *Environmental Health Perspectives*, 115(2), 226–230. <https://doi.org/10.1289/ehp.9491>
- Krupa, P. M., Lotufo, G. R., Mylroie, E. J., May, L. K., Gust, K. A., Kimble, A. N., Jung, M. G., Boyda, J. A., Garcia-Reyero, N., & Moore, D. W. (2022). Chronic aquatic toxicity of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) to *Ceriodaphnia dubia*, *Chironomus dilutus*, *Danio rerio*, and *Hyaella azteca*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241(June). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113838>
- Lei, Y.-J., Tian, Y., Sobhani, Z., Naidu, R., & Fang, C. (2020). Synergistic degradation of PFAS in water and soil by dual-frequency ultrasonic activated persulfate. *Chemical Engineering Journal*, 388, 124215. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124215>
- Leonel, J.; Nascimento, R. A.; Miranda, D. de A. (2023). Compostos perfluorados: uma ameaça ao oceano limpo. *Química Nova*, XY(00), 1–9.
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment*, 22(4), 1050–1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Liem, D. S., Swentzel, K. C. (1990). 90-day Subchronic Dietary Toxicity Study in Rats Sulfluramid (MRD-89-472, MRID No. 417994-05). United States Environmental Protection Agency. <https://archive.epa.gov/pesticides/chemicalsearch/chemical/foia/web/pdf/128992/128992-042.pdf>
- Mansouri, K., Grulke, C. M., Judson, R. S., & Williams, A. J. (2018). OPERA models for predicting physicochemical properties and environmental fate endpoints. *Journal of Cheminformatics*, 10(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13321-018-0263-1>
- Montenegro, M. & Dolce, J. (Org.) (2024). Atlas dos agrotóxicos: Fatos e Dados do uso dessas substâncias na agricultura. Heinrich-Boll-Stiftung, 2 ed. <https://br.boell.org/sites/default/files/2024-05/240416-atlas-do-agrotoxico-2024-segunda-edicao.pdf>
- Nascimento, R. A., Nunoo, D. B. O., Bizkarguenaga, E., Schultes, L., Zabaleta, I., Benskin, J. P., Spanó, S., & Leonel, J. (2018). Sulfluramid use in Brazilian agriculture: A source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) to the environment. *Environmental Pollution*, 242, 1436–1443. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.122>
- NORMAN. (2024). NORMAN EMPODAT Database - Chemical Occurrence Data. <https://www.norman-network.com/nds/empodat/chemicalSearch.php>
- Quinete, N., Wu, Q., Zhang, T., Yun, S. H., Moreira, I., & Kannan, K. (2009). Specific profiles of perfluorinated compounds in surface and drinking waters and accumulation in mussels, fish, and dolphins from southeastern Brazil. *Chemosphere*, 77(6), 863–869. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.079>
- Rosal, R., Rodea-Palomares, I., Boltes, K., Fernández-Piñas, F., Leganés, F., & Petre, A. (2010). Ecotoxicological assessment of surfactants in the aquatic environment: Combined toxicity of docusate sodium with chlorinated pollutants. *Chemosphere*, 81(2), 288–293. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.050>
- Schwanz, T. G., Llorca, M., Farré, M., & Barceló, D. (2016). Perfluoroalkyl substances assessment in drinking waters from Brazil, France and Spain. *Science of the Total Environment*, 539, 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.034>
- Stefano, P. H. P., Roisenberg, A., D’Anna Acayaba, R., Roque, A. P., Bandoria, D. R., Soares, A., & Montagner, C. C. (2023). Occurrence and distribution of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in surface and groundwaters in an urbanized and agricultural area, Southern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 6159–6169. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22603-x>
- Stockholm Convention. (2008). Toxicological Summary for Sulfluramid: Toxicity to superior animals. United Nations Environment Programme. https://chm.pops.int/Portals/0/Repository/addinfo_2008/UNEP-POPS-POPRC-SUB-F08-PFOS-LEAF14.English.pdf
- Stockholm Convention. (2022). Reports Dashboard: Part D PFOS - Question 3. United Nations Environment Programme. https://ers.pops.int/eRSodataReports2/ReportSC_Dashboard.html

- Umbuzeiro, G. A. (coord.). (2012). Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas. Limiar. <https://www.abas.org/arquivos/guiapotabilidade.pdf>
- Umbuzeiro, G. A., Simone, S. (coords.). (2011). Protocolo para Derivação de Critérios de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática no Brasil: Critérios de Qualidade da Água (CQA). <https://wordpress.ft.unicamp.br/laeg/wp-content/uploads/sites/33/2017/10/Protocolo-Para-Deriva%C3%A7%C3%A3o-de-Crit%C3%A9rios-de-Qualidade-da-%C3%81gua-Para-Prote%C3%A7%C3%A3o-da-Vida-Aqu%C3%A1tica-no-Brasil.pdf>
- United States Environmental Protection Agency - USEPA. (2012). Estimating Physical / Chemical and Environmental Fate Properties with EPI Suite (Framework Manual EPA-748-B12-001). Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-05/documents/05.pdf>
- United States Environmental Protection Agency - USEPA. (2024). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Final PFAS National Primary Drinking Water Regulation. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>
- Wang, M., Chen, J., Lin, K., Chen, Y., Hu, W., Tanguay, R. L., Huang, C., & Dong, Q. (2011). Chronic zebrafish PFOS exposure alters sex ratio and maternal related effects in F1 offspring. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(9), 2073–2080. <https://doi.org/10.1002/etc.594>
- Wang, P., An, G., Carra, I., Hassard, F., Campo Moreno, P., Sakar, H., Jodkowska, M., Wang, D., Jefferson, B., Chu, W., & Jarvis, P. (2024). Removal of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) by coagulation: Influence of coagulant and dosing conditions. *Separation and Purification Technology*, 355, 129562. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.129562>
- Wang, Z., MacLeod, M., Cousins, I. T., Scheringer, M., & Hungerbühler, K. (2011). Using COSMOtherm to predict physicochemical properties of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Environmental Chemistry*, 8(4), 389–398. <https://doi.org/10.1071/EN10143>
- Xiao, F., Simcik, M. F., & Gulliver, J. S. (2013). Mechanisms for removal of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from drinking water by conventional and enhanced coagulation. *Water Research*, 47(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.024>
- Yin, T., Te, S. H., Reinhard, M., Yang, Y., Chen, H., He, Y., & Gin, K. Y. H. (2018). Biotransformation of Sulfluramid (N-ethyl perfluorooctane sulfonamide) and dynamics of associated rhizospheric microbial community in microcosms of wetland plants. *Chemosphere*, 211, 379–389. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.157>
- Yuan, J., Mortazavian, S., Passeur, E., & Hofmann, R. (2022). Evaluating perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) removal across granular activated carbon (GAC) filter-adsorbers in drinking water treatment plants. *Science of the Total Environment*, 838, 156406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156406>
- Zabaleta, I., Bizkarguenaga, E., Nunoo, D. B. O., Schultes, L., Leonel, J., Prieto, A., Zuloaga, O., & Benskin, J. P. (2018). Biodegradation and Uptake of the Pesticide Sulfluramid in a Soil-Carrot Mesocosm. *Environmental Science and Technology*, 52(5), 2603–2611. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03876>

