

## 1 Introdução

A presente ficha informativa resume as informações técnicas emergentes disponíveis para auxiliar no desenvolvimento de critérios regulatórios ou valores orientadores para proteger diferentes categorias de uso de corpos d'água superficiais (incluindo os usados como fontes de água potável). Esta ficha também destaca considerações referentes à amostragem e análise para avaliações da qualidade de corpos d'água superficiais, com ênfase na presença de PFAS. As informações contidas nesta ficha informativa estão baseadas na Seção 16 do Guia Técnico.

## 2 Critérios Regulatórios e Tipos de Uso Benéfico

As agências regulamentadoras podem optar pelo desenvolvimento e implementação de critérios numéricos da qualidade de corpos d'água superficiais (ou valores orientadores) visando proteger o uso designado desses corpos d'água que podem ser impactados negativamente por PFAS. Os critérios regulamentadores selecionados para um corpo d'água são geralmente os mais rigorosos entre todos os valores identificados para cada tipo de uso de água. Os critérios estabelecidos para águas superficiais não consideram fatores analíticos ou de tratamento / remoção.

O foco principal do Guia Técnico está nos seguintes tipos de uso que podem ser afetados pela presença de PFAS (ver Seção 16.1.1):

- fonte de água potável;
- *habitat* para a vida aquática e animais selvagens;
- consumo humano de organismos aquáticos;
- contato humano com água durante atividades de recreação, considerando exposição pelas vias de ingestão acidental e contato dérmico com águas superficiais, sedimentos e espuma potencialmente contendo PFAS;
- suprimento agrícola, considerando agricultura, horticultura, operações leiteiras, pecuária, dessedentação de animais e uso para irrigação de lavouras para consumo humano ou pecuário (ou seja, ingresso via lavouras), com potenciais exposições humanas através do contato dérmico e inalação de PFAS na água usada para irrigação, bem como o consumo de PFAS presente em animais ou lavouras contaminadas por água de irrigação;
- recarga natural e artificial da água subterrânea, com considerações semelhantes àsquelas para usos benéficos como água potável e abastecimento agrícola.

Em geral, no caso de PFAS, os dois usos mais relevantes são o uso como água potável e o consumo de organismos aquáticos presentes na água superficial, quem podem absorver e bioacumular PFAS através de seus tecidos

Até o momento, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) tem publicado critérios preliminares para águas superficiais e tecidos da biota que protegem a vida aquática contra ácido perfluorooctanóico (PFOA) (USEPA 2022 Ref#2300) e ácido perfluorooctano sulfônico (PFOS) (USEPA 2022 Ref#2302). Atualmente, apenas alguns estados já estabeleceram formalmente critérios referentes à presença de PFAS em corpos d'água superficiais que protegem os diversos tipos de uso dessas águas. Os padrões ou critérios disponíveis, quando estabelecidos pelos estados, estão apresentados na *Water and Soil Values Table* publicada na seguinte página das fichas informativas: (<https://pfas-1.itrcweb.org/fact-sheets>).

Uma vez estabelecido um valor protetivo de um corpo d'água, podem ser utilizados mecanismos regulatórios para proteger o corpo d'água, visando manter os valores de proteção ou reduzir concentrações para níveis abaixo desses valores. Exemplos desses mecanismos regulatórios incluem limites de outorga de lançamento de efluentes do *National Pollutant Discharge Elimination System* (NPDES) para fontes pontuais, licenças emitidas por outras entidades e melhores práticas de gestão para fontes não pontuais, bem como cargas oriundas de todas as fontes destinadas a um determinado corpo d'água, baseando-se no cálculo de *Total Maximum Daily Loads – TMDLs* (cargas máximas totais diárias).

O ITRC desenvolveu uma série de fichas informativas que resumem a ciência recente e tecnologias emergentes referentes às PFAS. As informações apresentadas nesta ficha informativa e em outras sobre PFAS encontram-se descritas em maiores detalhes no *ITRC PFAS Technical and Regulatory Guidance Document (Guia Técnico)* (<https://pfas-1.itrcweb.org/>).

Esta ficha descreve os aspectos relacionados ao gerenciamento dos impactos de PFAS em corpos d'água superficiais, incluindo:

- Usos benéficos de águas superficiais impactadas por PFAS;
- Abordagens regulatórias para o desenvolvimento de critérios de qualidade e valores orientadores para corpos d'água superficiais;
- Considerações referentes à amostragem e análise para avaliações da qualidade de corpos d'água superficiais, incluindo espumas nesses corpos d'água.

### 3 Derivação de Critérios Numéricos

Atualmente, o foco do desenvolvimento de critérios para PFAS está nos dois principais usos de água superficial: (i) proteção da saúde humana contra a exposição às PFAS presentes em águas superficiais, como por exemplo, a ingestão de água potável e o consumo de peixes e outras espécies aquáticas; e (ii) proteção da biota, baseando-se nos dados disponíveis de ecotoxicidade, fatores de bioacumulação e concentração, além de considerações sobre a vida selvagem que depende de ecossistemas aquáticos, entre outros.

#### Proteção da Saúde Humana

Até o momento, a via de exposição por ingestão de PFAS é a mais significativa para humanos. Proteção à saúde humana pode ser alcançada usando critérios numéricos de qualidade das águas superficiais baseados em risco, ou diretrizes e recomendações não obrigatórias baseadas em risco desenvolvidas para corpos d'água específicos visando proteger fontes de água potável e usos relacionados ao consumo de peixes, com base em concentrações aceitáveis nos tecidos de peixes (USEPA 2000 Ref#1686).

Os critérios de saúde humana são desenvolvidos utilizando valores de toxicidade e premissas de exposição. Os valores de toxicidade usados tanto para critérios de saúde humana quanto para recomendações sobre o consumo de peixe são doses de referência (RfD; ng/kg/dia ou mg/kg/dia) para efeitos não carcinogênicos e *Cancer Slope Factors* (CSF; [mg/kg/dia]-1) para efeitos carcinogênicos. Um nível de risco (por exemplo, 1 em 1.000.000; 1 em 100.000) também deve ser selecionado para critérios de efeitos carcinogênicos. Os valores de toxicidade utilizados para PFAS variam entre as agências regulamentadoras, sendo baseados em diferentes seleções de efeitos toxicológicos críticos, fatores de incerteza e outras considerações. Os estados podem basear seus critérios de qualidade da água e recomendações sobre o consumo de peixe em valores de toxicidade recomendados pela USEPA ou por outras fontes além da USEPA, ou podem ainda desenvolver seus próprios valores de toxicidade. A USEPA ainda não estabeleceu critérios de saúde humana para águas superficiais referentes a qualquer substância PFAS, e os valores de toxicidade para um número limitado de PFAS estão em diferentes estágios de desenvolvimento e adoção para uso em avaliações de risco à saúde humana.

As premissas de exposição também podem variar entre as diferentes agências, de acordo com a população-alvo sujeita aos efeitos da substância química na saúde e às preferências da agência. Para critérios de águas superficiais, a população-alvo é geralmente adulta, mas também podem ser consideradas subpopulações sensíveis, como mães que estão amamentando e crianças. No desenvolvimento de critérios de qualidade de água protetores à saúde humana para águas designadas para uso como água potável, com base em premissas padronizadas de exposição, a dose relativa oriunda do consumo de peixes *versus* água potável depende do fator de bioconcentração (BCF) ou do fator de bioacumulação (BAF), bem como da taxa presumida de ingestão de água potável e de organismos aquáticos. A exposição decorrente da ingestão de organismos aquáticos será maior do que a exposição a partir de água potável no caso daquelas PFAS com potencial de bioacumulação significativa em organismos aquáticos. (Tabela 5-1, consultar as *External Data Tables* em <https://pfas-1.itrcweb.org>).

Adotando a metodologia da USEPA, os critérios de saúde humana podem ser derivados usando uma variante da equação apresentada na caixa de texto ao lado (USEPA 2000 Ref#1686). Os termos da equação que representam a exposição a partir da água potável (taxa de ingestão de água potável) ou consumo de peixe (BAF ou BCF, taxa de ingestão de peixes) podem ser removidos, conforme necessário, dependendo do tipo de uso designado do corpo d'água.

#### Proteção da Biota

Além dos critérios de qualidade da água baseados na saúde humana, as agências regulamentadoras desenvolvem critérios para proteger os receptores ecológicos. Geralmente existem duas categorias destes critérios: vida aquática e vida selvagem que depende de água. A vida aquática, como peixes e invertebrados, vive em corpos d'água e está exposta direta e indiretamente a contaminantes.

#### Equação Padrão da USEPA para o Critério Não Carcinogênico Referente à Combinação de Ingestão de Água Potável + Consumo de Peixes / Mariscos

$$SWC = \frac{RfD \times BW \times RSC}{DWIR + ((BCF \text{ ou } BAF) \times FIR)}$$

SWC = critério de água superficial (mg/L)  
RfD = dose de referência (mg/kg/dia)  
BW = peso corporal (kg)  
RSC = contribuição relativa da fonte (adimensional)  
DWIR = taxa de ingestão de água potável (L/dia)  
BCF = fator de bioconcentração (L/kg)  
BAF = fator de bioacumulação (L/kg)  
FIR = taxa de ingestão de peixes (kg/dia)

A fauna dependente de água, como aves e mamíferos, consome peixes e outros organismos que vivem em corpos d'água e que estão expostos indiretamente através da cadeia alimentar. Diferentes critérios são especificados para a vida aquática de água doce e salgada, bem como para exposições e efeitos de curto prazo (agudos) e de longo prazo (crônicos).

A USEPA tem uma abordagem padrão para derivar critérios de vida aquática que se baseia em uma compilação de dados de toxicidade aguda e crônica, quando disponíveis, para oito grupos taxonômicos (USEPA 1985 Ref#1610) (Seção 16.3.2 do Guia Técnico). Até o momento, a maioria dos dados disponíveis de toxicidade aquática é para PFOS e PFOA e, portanto, PFOS e PFOA são os únicos PFAS para os quais a USEPA atualmente desenvolveu critérios preliminares (USEPA 2022 Ref#2302; USEPA 2022 Ref#2300). Dados para PFNA, PFBA e PFBS são escassos e limitados (ver Seção 7.2 do Guia Técnico).

Os critérios de qualidade de águas superficiais baseados na vida aquática podem não ser protetores da vida selvagem, particularmente no caso de PFAS bioacumulativas, como PFOS. Portanto, pode ser necessário calcular um critério que aborde a exposição da vida selvagem através de transferência a partir da cadeia alimentar. Este critério seria calculado de maneira semelhante ao usado para derivar um critério para a saúde humana - o critério é calculado usando premissas quanto à ingestão de alimentos e água da vida selvagem (específicas para o receptor relevante, como por exemplo, garças ou visons que comem peixes ou outros organismos aquáticos), valores de toxicidade derivados para a vida selvagem e um fator de bioacumulação (BAF) ou fator de bioconcentração (BCF) (USEPA 1995 Ref#1802). Conforme observado na Seção 16.3.3 do Guia Técnico, o desenvolvimento de tais critérios está em sua fase inicial, uma vez que (i) existem poucos estudos de laboratório ou de campo com dados sobre a toxicidade de PFAS para a vida selvagem, (ii) existem dados limitados sobre PFAS na dieta da vida selvagem que depende de ecossistemas aquáticas e (iii) as propriedades únicas de PFAS tornam difícil a modelagem de taxas de ingresso na cadeia alimentar.

### 4 Considerações Referentes à Amostragem e Análise

A coleta de amostras para análise de PFAS em águas superficiais, sedimentos, biota e espuma contendo PFAS deve ser adaptada para atender aos objetivos de amostragem, visando auxiliar na caracterização da área e na condução de avaliações da qualidade da água. Conforme descrito na Seção 11.1 do Guia Técnico, considerações especiais referentes à amostragem para análise de PFAS incluem os tipos de equipamentos ou materiais de amostragem usados, devido ao uso generalizado e aos produtos que contêm essas substâncias, e à necessidade de limites baixos de quantificação laboratorial. Consultar a Seção 11.2 do Guia Técnico e o Arquivo Excel de Métodos Analíticos (Tabelas 11-2, 11-3, 11-4 e 11-5, consultar as *External Data Tables* em <https://pfas-1.itrcweb.org>). Os meios a serem amostrados devem ser determinados com base no uso benéfico atribuído ao recurso hídrico sob avaliação e nos potenciais receptores de interesse.

#### Águas Superficiais

Devido às propriedades químicas das PFAS, as concentrações no corpo d'água superficial, próximo ao ponto de lançamento, podem ser maiores na camada superficial ou logo abaixo dela. Conforme observado abaixo, caso esteja presente em uma área, a espuma contendo PFAS pode conter níveis dessas substâncias várias ordens de magnitude acima das concentrações encontradas na coluna de água subjacente. Dependendo dos objetivos do estudo, estas zonas de maior potencial de contaminação devem ser evitadas ou descartadas durante a coleta de amostras.

#### Sedimentos

Os sedimentos podem ser um depósito de contaminantes, um mecanismo de transporte ou uma fonte de contaminantes para o corpo d'água superficial (e para organismos bentônicos). Portanto, pode ser necessário coletar amostras de sedimentos para análise de PFAS, visando auxiliar no entendimento de sua contribuição para a qualidade da água superficial ou para as concentrações nos tecidos da biota. Ao usar técnicas convencionais de amostragem de sedimentos e testemunhos, certifique-se de que o equipamento em contato com as amostras está livre de PFAS (por exemplo, sem revestimentos à base dessas substâncias).

#### Biota

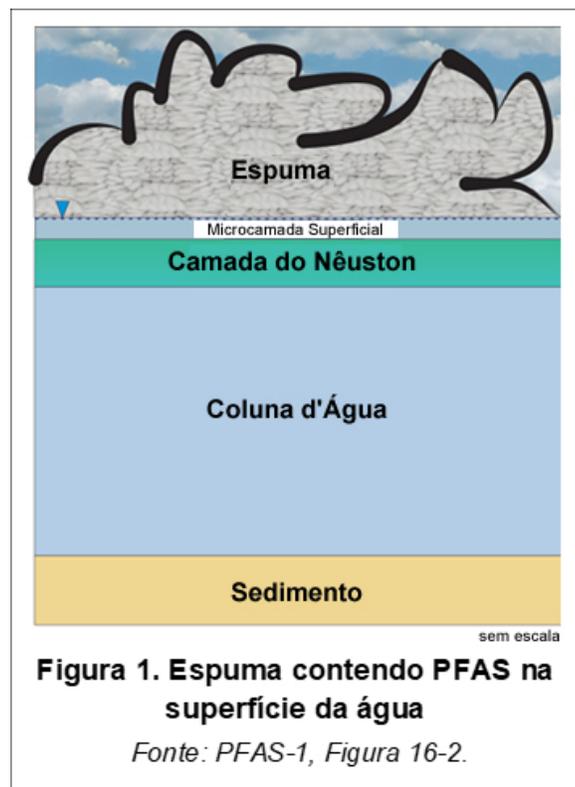
Devido a evidências indicando que algumas PFAS tendem a acumular-se na biota aquática, o desenvolvimento de critérios de qualidade de águas superficiais é baseado nessa característica, onde a amostragem da biota pode ser um componente importante em um plano de monitoramento. Deve-se considerar cuidadosamente as espécies, a faixa de tamanho e o(s) tipo(s) de tecido(s) (como por exemplo, filé de peixe ou peixe inteiro) selecionados para análise.

Considerações adicionais incluem amostragem de águas superficiais e sedimentos na mesma área onde a biota é coletada e está exposta às PFAS. Embora seja reconhecido que muitas espécies da biota aquática são migratórias ou encontradas em áreas bastante extensas, esta informação ajuda na identificação de fontes de PFAS, bem como no desenvolvimento de fatores de bioconcentração (BCFs), fatores de bioacumulação (BAFs) e fatores de acumulação biota-sedimento (BSAFs) específicos da área em questão (Tabela 5-1, consultar as *External Data Tables* em <https://pfas-1.itrcweb.org>).

### Espuma na Superfície de Corpos d'Água Superficiais

Espuma contendo PFAS pode formar-se em corpos d'água superficiais quando as PFAS, em fase dissolvida, são agitadas pela ação do vento ou das ondas, agregando-se em uma massa na superfície da água ou acima dela. A espuma contendo PFAS pode ter uma ampla variedade de aparências visuais e texturas (MPCA 2020 Ref#1819). A **Figura 1** inclui uma representação simplificada de espuma contendo PFAS em águas superficiais.

A espuma pode representar uma fonte significativa de incerteza na avaliação de águas superficiais. À medida que a espuma é formada, ela remove as PFAS da coluna d'água. Espuma concentrada contendo PFAS pode, portanto, ser encontrada em corpos d'água superficiais contendo concentrações variando de não detectáveis a baixas de PFAS. Embora seja comum encontrar espuma contendo PFAS perto de pontos de lançamento de efluentes, essas espumas também podem ocorrer a alguma distância. A espuma pode se dividir em pedaços e ser transportada rio abaixo como “ilhas de espuma”, sendo que pode ocorrer o particionamento dessas “ilhas”, que voltam a se dissolver na coluna de água, aumentando as concentrações de PFAS nas águas superficiais em locais distantes da fonte inicial. Os riscos associados à exposição à espuma contendo PFAS não são bem compreendidos até o presente momento. Deve ser ressaltado que a presença de espuma não significa necessariamente que há PFAS, pois a espuma pode se formar naturalmente, devido à presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água com tensão superficial reduzida e condições turbulentas.



Os protocolos de amostragem devem especificar o local onde a amostra será coletada na espuma ou na coluna d'água. O *Department of Environment, Great Lakes, and Energy* (EGLE) do estado de Michigan publicou um guia de amostragem de espuma em corpos d'água superficiais e um relatório sobre o estudo de espuma em corpos d'água superficiais (MI EGLE 2019 Ref#1818; MI EGLE 2021 Ref# 1932). A espuma contendo PFAS pode ocorrer na interface ar-água e acima dela, conforme mostrado na **Figura 1**. A espuma em si é a camada superior visível e, provavelmente, será caracterizada por concentrações de PFAS muito mais altas do que aquelas encontradas na coluna de água subjacente. Da mesma forma, a microcamada superficial (SML), que está presente na interface ar-água e tem apenas cerca de 50 µm de espessura, normalmente contém as concentrações mais altas de PFAS de todas as camadas (MPCA 2020 Ref#1819). A determinação de quais porções das camadas de espuma devem ser amostradas depende dos objetivos estabelecidos quanto à qualidade dos dados, pois a inclusão de espuma ou da microcamada superficial na amostra provavelmente resultará em concentrações mais altas do que amostras contendo apenas a coluna de água e a camada do nêuston. A camada do nêuston (a zona diretamente subjacente à microcamada superficial, normalmente enriquecida com vida biológica) representa a base da teia alimentar aquática (Wurl et al. 2017). Pode ser importante considerar as concentrações de PFAS nesta camada para avaliações de risco ecológico e estudos de transferência trófica.

O laboratório analítico deve ser avisado de que podem haver níveis muito elevados de PFAS na espuma contendo PFAS, para que possa tomar as precauções necessárias no sentido de evitar falhas nos instrumentos durante as análises.

### 5 Padrões de Lançamento de Efluentes Contendo PFAS

A proteção da qualidade de águas superficiais dos impactos decorrentes de lançamentos de efluentes a partir de estações de tratamento públicas e estações de tratamento industriais, baseia-se no estabelecimento de limites para poluentes presentes nos lançamentos oriundos dessas instalações. Limites referentes ao lançamento de efluentes em corpos receptores são aplicados por meio de outorgas emitidas pelo *National Pollution Discharge Elimination System* (NPDES).

Esses limites são desenvolvidos através do estabelecimento de limites para efluentes baseados em viabilidade tecnológica (TBEL) e na qualidade da água (WQBELs) para um poluente específico, usando-se o valor mais restritivo dos dois para obter o limite final determinado na outorga. Atualmente, apenas o estado da Carolina do Norte possui uma licença NPDES com TBEL para PFAS, enquanto o estado de Minnesota adotou uma licença NPDES com WQBEL para ácido perfluorooctano sulfônico (PFOS).

Os limites de efluentes também são baseados nas diretrizes sobre limites de lançamento de águas residuais (ELG), que são padrões nacionais de lançamento de efluentes desenvolvidos pela EPA, setor por setor. Esses regulamentos são baseados em viabilidade tecnológica, buscando os maiores níveis de redução de poluição, sendo economicamente viáveis para indústria. Os padrões para lançamentos diretos são incorporados às outorgas NPDES, emitidas pelos estados e escritórios regionais da EPA, como também às licenças ou outros mecanismos de controle para lançamentos indiretos (<https://www.epa.gov/eg/learn-about-effluent-guidelines>).

Na data de publicação deste documento, não havia ELG estabelecidos pela USEPA para PFAS. A USEPA delineou uma abordagem para estabelecer ELG para determinadas PFAS em seu *PFAS Strategic Roadmap* (USEPA 2021[2223]) e lançou o Plano 15 do seu *Effluent Guidelines Program* em 2023 (USEPA 2023 Ref#2745 (Ver Seção 16.6.5)).

### 6 Referências e Acrônimos

As referências citadas nesta ficha informativa e em outros documentos podem ser encontradas em <https://pfas-1.itrcweb.org/references/>. Números de referência estão incluídos nesta ficha informativa para citações não exclusivas na lista de referência do Guia Técnico.

Os acrônimos utilizados nesta ficha informativa e no Guia Técnico podem ser encontrados em <https://pfas-1.itrcweb.org/acronyms/>.



#### Substâncias Per e Polifluoroalquiladas (PFAS) - Equipe

**Sandra Goodrow** • New Jersey Department of Environmental Protection  
609-940-4164 • [Sandra.Goodrow@dep.nj.gov](mailto:Sandra.Goodrow@dep.nj.gov)

**Kristi Herzer** • Vermont Department of Environmental Conservation  
802-461-6918 • [Kristi.Herzer@vermont.gov](mailto:Kristi.Herzer@vermont.gov)

Setembro de 2023



**ITRC**  
1250 H St. NW, Suite 850  
Washington, DC 20005  
[itrcweb.org](http://itrcweb.org)

