

Identificação da substância

Nome comum	Fórmula química	Nº CAS	Sinônimos
Flúor	F ₂	7782-41-4	
Fluoreto de Hidrogênio	HF	7664-39-3	Ácido fluorídrico, Ácido hidrofluorídrico
Fluoreto de Cálcio	CaF ₂	7789-75-5	Difluoreto de cálcio, Espatoflúor, (mineral Fluorita)
Fluoreto de Sódio	NaF	7681-49-4	(mineral Viliaumita, Viliialmita)
Fluorofosfato de sódio	Na ₂ PO ₃ F	10163-15-2	MPF, monofluorofosfato de sódio, Fluorofostato dissódico
Ácido Fluorsilícico	H ₂ SiF ₆	16961-83-4	Ácido hexafluorsilícico, Ácido hidrofluorsilícico, Ácido fluossilícico
Fluorsilicato de sódio	Na ₂ SiF ₆	16893-85-9	Fluoreto de sílica e sódio, Hexafluorsilicato de sódio, Hexafluorsilicato dissódico, Silicofluoreto de sódio, Fluossilicato de sódio
Fluoraluminato de sódio	Na ₃ AlF ₆	15096-52-3 (comercial) 13775-53-6 (p.analítica)	Fluoreto de alumínio e sódio, Hexafluoroaluminato de sódio, Aluminofluoreto de sódio, Hexafluoreto de alumínio trissódico, Hexafluoraluminato trissódico, (mineral Criolita)
Fluorofosfato de cálcio	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	1306-05-4	(mineral Fluorapatita ou Apatita)
Ácido fluoracético	C ₂ H ₃ FO ₂	144-49-0	Ácido monofluoracético, Ácido alfa-fluoracético, Monofluoracetato, MF
Fluoracetato de sódio	C ₂ H ₃ FO ₂ Na	62-74-8	Monofluoracetato de sódio, FAS

Descrição e usos

O flúor é o 13º elemento mais abundante no solo e o mais eletronegativo e reativo de todos os elementos químicos, por isso nunca é encontrado na natureza em sua forma pura, mas sim na forma iônica fluoreto (íon F⁻), combinado a metais ou ao hidrogênio. Os fluoretos são encontrados na natureza em minerais e rochas (fluorita, criolita, viliaumita, fluorapatita). O

fluoreto de sódio e o fluoreto de cálcio também podem ser sintetizados e comercializados na forma de cristais (incolor a branco). Outros compostos como o hexafluorsilicato de sódio (pó branco) e o ácido fluorsilícico (líquido incolor, de odor pungente) são empregados na fluoretação da água de abastecimento, somados ao fluoreto de sódio. Diferente desses ácidos e sais de flúor, que estão no estado sólido, o fluoreto de hidrogênio (HF, em temperatura acima de 20°C) e o flúor estão na forma gasosa, extremamente reativos.

Os compostos inorgânicos de flúor são utilizados na indústria farmacêutica, de plásticos, de componentes elétricos e lâmpadas fluorescentes, de vidro e aço; na esmaltação de louças e porcelanas; na octanagem da gasolina; em preservantes de couro e madeira; em herbicidas, antimofos e produtos veterinários para pediculose. O flúor também é utilizado em produtos dentais (cremes dentais e enxaguatórios bucais), na forma de monofluorofostato de sódio ou de fluoreto de sódio.

Entre os organofluorados, destacam-se o ácido fluoracético e seu sal de sódio, e o fluoracetato de sódio, utilizados respectivamente como inseticida e rodenticida (raticida). A comercialização desse último é proibida no Brasil, por ser um veneno potente e altamente letal. Em alguns países, os mesmos são utilizados para o controle populacional de roedores.

Comportamento no ambiente

Os compostos de flúor são abundantes na natureza e amplamente distribuídos na biosfera. Além de rochas e minerais, os fluoretos estão presentes no solo, água, ar, plantas e animais. O conteúdo de flúor na superfície terrestre varia de 20 a 500 ppm de flúor (expresso em fluoretos), até 8.300 ppm nas camadas mais profundas, o que pode resultar em concentrações elevadas nas águas subterrâneas, em determinadas regiões. Os fluoretos são liberados no ambiente por fontes naturais, como emissões vulcânicas e pela ressuspensão da poeira a partir de solos que contenham fluoretos, e pelas atividades antropogênicas, como queima de carvão, incêndios, produção de fertilizantes a partir de rochas fosfáticas e processos industriais, que resultam, em geral, no carreamento de fluoretos para atmosfera aderidas em partículas maiores. O aquecimento a altas temperaturas de minerais, carvão, argila contendo fluoretos, pode liberar fluoreto de hidrogênio em plantas termelétricas a carvão, fundições de alumínio, plantas de fertilizantes, fábricas de plásticos e de vidro, tijolos e cerâmicos e instalações de tratamento de resíduos, atividades que geram partículas menores ou mesmo aerossóis. Partículas maiores contendo fluoretos podem se depositar no solo, água ou vegetação; enquanto partículas menores, aerossóis ou a forma gasosa, podem ser transportados a longas distâncias, por muitos dias, até serem removidos da atmosfera por deposição seca ou úmida, ou hidrólise.

O fluoreto de hidrogênio na forma gasosa pode ser absorvido pela chuva e passar para a forma aquosa do ácido fluorídrico que, por sua vez, pode atingir a superfície do solo, água ou vegetação, durante uma precipitação. O fluoreto não pode ser destruído no ambiente, apenas muda de forma.

Na atmosfera, próximo a áreas urbanas, sem interferência de instalações industriais, as concentrações encontradas são, em geral, menores que $1 \mu\text{g}$ fluoreto/ m^3 de ar, que é o valor guia considerado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como suficientemente protetivo à saúde humana. Concentrações mais elevadas podem ser encontradas em instalações industriais e seu entorno, onde valores para saúde ocupacional devem ser observados.

Na água, os fluoretos podem ser constituintes naturais, com concentrações que dependem das precipitações na região, que causam a lixiviação de depósitos naturais. A contribuição antrópica também pode ocasionar a lixiviação de fluoretos para águas subterrâneas, bem como o seu arraste superficial e a deposição aérea para cursos de águas superficiais. As concentrações encontradas nas águas superficiais são próximas a 0,2 ppm de fluoreto. Podem formar complexos com alumínio (em águas doces) e com cálcio (em água do mar) e seu transporte e transformação são influenciados pelo pH, dureza da água e a presença de materiais de troca iônica como argila, ligando-se fortemente às partículas de sedimento. As maiores concentrações de fluoreto são encontradas em águas subterrâneas, entre 0,02 e 1,5 ppm, com concentrações máximas em torno de 10 mg/L notadamente em regiões que apresentam ocorrências naturais de fluoretos em minerais e rochas, onde a água destinada para consumo humano precisa ser tratada.

No solo, os fluoretos ligam-se fortemente às moléculas de metais ou orgânicas, o que resulta numa baixa taxa de lixiviação, a depender da composição do solo e de suas propriedades físicas. O fluoreto apresenta grande afinidade por alguns metais, como manganês, ferro e cálcio, o que favorece sua permanência no solo e, conseqüentemente, sua captação por plantas e animais e sua bioacumulação. As folhas de chá são conhecidas por acumular elevadas concentrações de fluoretos. Animais podem bioacumular fluoreto, preferencialmente nas estruturas ósseas, do que em tecidos, carne ou músculos.

Exposição humana e efeitos na saúde

A população geral está exposta a pequenas concentrações de fluoreto pelo consumo de água potável e de alimentos, e pelo uso de produtos odontológicos que contenham fluoreto. Em áreas com ocorrência natural de fluoretos, com concentrações elevadas na água subterrânea e no solo, a água de consumo humano torna-se uma importante fonte de exposição ao fluoreto.

Quase todos os alimentos contêm pequenas quantidades de fluoreto, como carnes, frutas e vegetais; por outro lado, folhas de chá, peixes e crustáceos podem apresentar teores maiores. A exposição dérmica pelo contato ao solo pode ser relevante em solos de áreas industriais com alta taxa de deposição aérea.

O fluoreto é um micronutriente, quase a totalidade que ingressa no corpo é removida na urina, com uma parte armazenada nos ossos e dentes. A ingestão adequada tem um efeito benéfico à saúde bucal, protegendo contra cárie dentária principalmente em crianças. A concentração mínima de fluoreto em água ingerida necessária para produzir esse efeito protetor é de 0,5 mg/L. A medida é adotada por muitos países, por ser uma alternativa de saúde pública efetiva e de baixo custo.

A presença de flúor constante e em baixas concentrações na saliva, seja pelo uso de dentifrícios contendo a substância ou pela reposição endógena pelo próprio organismo, promove a aceleração da remineralização do esmalte dos dentes. Quando ingerido durante o período do desenvolvimento dos dentes, o fluoreto faz o esmalte ser mais resistente a ataques de ácidos. Entretanto, o excesso de flúor também pode ser prejudicial e causar efeito adverso no esmalte do dente, com o aumento da incidência de fluorose dentária no período de desenvolvimento dos dentes em crianças expostas a concentrações de fluoreto na água de beber entre 0,9 e 1,2 mg/L, a depender da quantidade de água ingerida, especialmente em países de clima quente, com maior consumo de água. A exposição crônica através da ingestão ou inalação de grandes quantidades de fluoreto pode causar fluorose óssea. O fluoreto pode se acumular gradualmente nos ossos por vários anos e causar o aumento da densidade óssea, calcificação dos tendões e dos ligamentos e deformidades ósseas. Em casos extremos, pode ocorrer a fluorose esquelética incapacitante e, em casos extremos, a fratura de ossos.

A ingestão acidental de fluoretos pelo uso do creme dental, especialmente por crianças pequenas, pode ser evitada com a supervisão de adultos e o uso de quantidades pequenas dispensadas na escovação, uma vez que a concentração mínima recomendada para a prevenção de cáries é de 1.000 ppm de fluoreto (mgF/kg) em cremes dentais.

O flúor e o fluoreto de hidrogênio são irritantes para a pele, olhos e vias respiratórias, podendo causar danos ao coração e pulmão ou mesmo levar à morte, caso contato com grandes quantidades. A exposição acidental ao HF por via oral, inalatória ou cutânea pode causar queimaduras severas, náusea, vômito, dor de estômago e arritmia cardíaca. O aparecimento desses sintomas pode levar horas e até dias, especialmente em casos de exposição a soluções diluídas de HF (menores que 20%).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica os fluoretos inorgânicos utilizados na fluoretação da água para abastecimento como não classificável quanto à carcinogenicidade para o ser humano (Grupo 3).

Padrões e valores orientadores para Fluoretos

Meio	Concentração	Comentário	Referência ¹
Água potável ²	1,5 mg/L	VMP (Padrão de Potabilidade)	Portaria GM/MS 888/2021
Água potável	0,7 mg/L 0,6 – 0,8 mg/L 0,8 – 1,0 mg/L*	Concentração ideal de íon fluoreto na água consumo humano Padrão de Potabilidade adotado no Estado de São Paulo	Resolução SS-250/1995
Água subterrânea ²	1500 µg/L 2000 µg/L 1000 µg/L	VMP (consumo humano) ⁴ VMP (dessedentação) ⁴ VMP (irrigação) ⁴	CONAMA 396/2008
Águas doces ³	1,4 mg/L	VM (classes 1, 2 e 3)	CONAMA 357/2005
Águas salinas ³	1,4 mg/L	VM (classe 1 e 2)	CONAMA 357/2005
Águas salobras ³	1,4 mg/L	VM (classe 1 e 2)	CONAMA 357/2005
Efluentes ³	10,0 mg/L	VM (Padrão de lançamento)	CONAMA 430/2011

¹As regulamentações podem ter alterações: Resolução CONAMA nº 357, alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009 e nº 430, de 2011 e complementada pela Resolução nº 393, de 2007; ²Fluoreto; ³Fluoreto total; *As águas destinadas ao consumo humano que apresentarem teores de íon fluoreto na faixa de 0,8 mg/L a 1,0 mg/L somente serão consideradas dentro do Padrão de Potabilidade, desde que o Serviço de Abastecimento Público de Água comprove que a média das temperaturas máximas diárias do ar do município por ele abastecido, observadas durante um período mínimo de 1 ano, encontra-se abaixo de 14,7°C; VMP = Valor Máximo Permitido; VM = Valor Máximo.

Referências/Sites relacionados

OGA, S.; CAMARGO, M.M.A; BATISTUZZO, J.A.O. (eds). **Fundamentos de Toxicologia**. 5ª edição. São Paulo: Atheneu Editora, 2021. 848 p.

<http://www.atsdr.cdc.gov/>

<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/>

<https://www.efsa.europa.eu/>

<http://www.epa.gov/>

<http://www.funasa.gov.br/>

<http://www.iarc.fr/>

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>

<http://www.mma.gov.br/conama/>

<http://www.who.int/en/>

Divisão de Toxicologia Humana e Saúde ambiental

Outubro de 2014

Atualizado em novembro de 2022