



**Ensino Médio com Habilitação Profissional de  
TÉCNICO EM QUÍMICA**

**Programa de Articulação da Formação Profissional  
Média e Superior (AMS)**

**Ana Caroline Pires Turini**

**Maria Tereza Fernandes**

**ANÁLISE DO EXCESSO DE FLUORETOS NA ÁGUA E  
NO SOLO DE REGIÕES AFASTADAS DE CENTROS  
URBANOS**

**Piracicaba – SP**

**2025**

**Ana Caroline Pires Turini  
Maria Tereza Fernandes**

**ANÁLISE DO EXCESSO DE FLUORETOS NA ÁGUA E NO  
SOLO DE ÁREAS AFASTADAS DE CENTROS URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química com Articulação Média – Superior da escola ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, orientado pelos professores Eduardo Antedomenico e Wagner Fernando Ferreira, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química.

**Piracicaba – SP**

**2025**

Ana Caroline Pires Turini  
Maria Tereza Fernandes

**ANÁLISE DO EXCESSO DE FLUORETOS NA ÁGUA  
E NO SOLO DE ÁREAS AFASTADAS DE CENTROS URBANOS**

Data de aprovação: 19/11/25

**FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

 Prof. Wagner Fernando Ferreira Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa	 Prof. Eduardo Antedomenico Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa
 Colaborador: André Ferrisse Empresa: Fermentec	 Prof. Maria Rosa Briense de Oliveira Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa
 Colaboradora: Débora Fernandes Silva Empresa: Mérieux NutriSciences	 Colaborador: Luis Paulo Fava Empresa: Mérieux NutriSciences

Piracicaba – SP

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à empresa Mérieux NutriSciences, especialmente ao Marcos Ceccatto, pela colaboração nas análises, na metodologia e pelo auxílio nas dúvidas que surgiram ao longo do projeto.

Aos nossos professores, por compartilharem seus conhecimentos na área de Química e suas experiências de vida durante esses três anos. Em especial, ao professor Wagner Fernando Ferreira e à professora Márcia Regina Dal Medico, por nos orientarem e acompanharem de perto, tanto nas questões da pesquisa quanto nas pessoais.

Aos nossos familiares, que nos acompanharam durante este ano e nos apoiaram com a mobilidade e o deslocamento — sem eles, as coletas não teriam sido possíveis.

Por fim, agradecemos à Larrisa Caroliny B. Benedito, e a todos os alunos e professores da pós-graduação em Cariologia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, por nos auxiliarem na formulação do tema, nas indicações de referências e na escrita do trabalho.

*"A diferença entre o remédio e o veneno está na dose"*

(Paracelso - Médico e físico do século XVI)

## RESUMO

O abastecimento de água tratada nas residências, especialmente em regiões afastadas dos centros urbanos, pode apresentar falhas de distribuição. Devido a isso, muitos cidadãos recorrem a fontes alternativas, como poços artesianos e bicas, ligados ao lençol freático. A ausência ou o excesso de determinados íons nessas águas pode causar riscos à saúde pública. O fluoreto é aplicado no tratamento da água para reduzir a cárie, entretanto, seu excesso pode provocar fluorose dentária e, em casos avançados, alterações ósseas. Este trabalho teve como objetivo analisar a relação entre a concentração de íons fluoreto no solo e nas águas subterrâneas de áreas afastadas das cidades, considerando as características físico-químicas do solo e os possíveis riscos à saúde da população. Amostras de solo e água foram coletadas em zonas com fontes não tratadas e encaminhadas para análise laboratorial pelo método da Potenciometria. Os resultados demonstraram teores abaixo do valor mínimo recomendado, indicando suscetibilidade à cárie.

**Palavras-chave:** Fluoreto; Fluorose; Águas Subterrâneas; Solo.

## **ABSTRACT**

The supply of treated water to households, especially in areas distant from urban centers, may present distribution failures, so as a result, many residents rely on alternative sources, such as artesian wells and natural springs, fed by the groundwater table. The absence or excess of certain ions in these waters is able to pose potential risks to public health. Fluoride, which is added during water treatment to reduce dental cavities, may cause fluorosis and, in severe cases, bone alterations when presented in high concentrations. This study aimed to analyze the relationship between fluoride ion concentration in soil and groundwater from rural areas, considering the physicochemical characteristics of the soil and the possible impacts on public health. Soil and water samples were collected from sites with untreated sources and analyzed in the laboratory using the potentiometric method. The results indicated fluoride levels below the minimum recommended value, increase susceptibility to dental cavities.

**Key words:** Fluoride; Fluorosis; Groundwater; Soil.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	10
1.1. Justificativas.....	10
1.2. Problemas de Pesquisa.....	11
1.3. Hipóteses.....	12
1.4. Objetivo Geral.....	12
1.5. Objetivos Específicos.....	12
<b>2. Desenvolvimento</b> .....	14
<b>2.1. Fundamentação Teórica</b> .....	14
2.1.1. Aspectos Gerais: Flúor.....	14
2.1.1.1. Ciclo Hidrogeoquímico.....	15
2.1.1.2. Presença de Fluoretos no Solo.....	16
2.1.1.3. Presença de Fluoretos no Ar.....	17
2.1.1.4. Fluoretos de Origem Humana.....	17
2.1.1.5. Presença em Água Subterrânea.....	18
2.1.2. Técnicas de Dosagem de Fluoretos.....	19
2.1.2.1. Métodos Potenciométricos.....	19
2.1.2.2. Eletrodo Íon Específico.....	20
2.1.2.3. Coleta de Amostra e Preparo para Análise.....	21
2.1.2.4. TISAB II e CDTA.....	22
2.1.2.5. Curva de Calibração.....	23
2.1.3. Fluoretação de Água no Tratamento.....	24
2.1.3.1. Atuação Anticariogenicidade do Fluoreto.....	25
2.1.4. Toxicidade do Flúor e a Fluorose.....	26
2.1.4.1. Dentária.....	27
2.1.4.2. Esquelética.....	28
<b>2.2. Metodologia</b> .....	29

2.2.1. Coleta das Amostras de Efluente.....	30
2.2.1.1. Materiais e Reagentes.....	30
2.2.1.2. Procedimento.....	30
2.2.2. Análise de Fluoretos na Água.....	32
2.2.2.1. Materiais e Reagentes.....	32
2.2.2.2. Procedimento.....	32
2.2.3. Coleta das Amostras de Solo.....	33
2.2.3.1. Materiais e Reagentes.....	33
2.2.3.2. Procedimento.....	33
2.2.4. Análise de Fluoretos no Solo.....	36
2.2.4.1. Materiais e Reagentes.....	36
2.2.4.2. Procedimento.....	36
2.2.5. Entrevista com Moradores.....	36
<b>2.3. Resultados e Discussões.....</b>	<b>36</b>
2.3.1. Análise dos resultados analíticos.....	36
2.3.2. Análise das entrevistas.....	39
<b>3. Conclusão.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

# 1. Introdução

O flúor é um elemento amplamente presente na natureza, principalmente em solos e águas. Desde a década de 1950, ele vem sendo utilizado no Brasil, em pequenas quantidades, para melhorar a qualidade de vida da população, atuando no controle da cárie dentária e sendo considerado fundamental para a saúde pública (FUNASA, 2012).

No entanto, quando suas concentrações ultrapassam os limites recomendados, o fluoreto pode causar problemas de saúde, como a fluorose dentária (Cury, 2024) e, em casos mais avançados, a fluorose esquelética (Ladeb et al., 2019).

Em regiões afastadas dos centros urbanos, onde muitas vezes o abastecimento público de água é inexistente ou irregular, a população recorre a fontes não tratadas, como poços e bicas. Nessas situações, as concentrações de fluoreto são pouco estudadas e frequentemente negligenciadas em comparação com outros parâmetros de qualidade da água.

Além disso, devido às características químicas do íon fluoreto, poucos vegetais conseguem acumulá-lo em seus tecidos (Cury, 2024). Assim, sua maior concentração tende a ocorrer no solo, e, por sua alta eletronegatividade, o íon pode ser facilmente lixiviado, alcançando as águas subterrâneas e elevando seus níveis, o que potencialmente representa riscos à saúde humana.

Os fatores que levam ao excesso de fluoretos podem estar associados tanto a causas naturais quanto a atividades antrópicas. Dessa forma, compreender a relação entre as concentrações de fluoreto no solo e nas águas subterrâneas torna-se essencial para garantir que nenhuma população esteja exposta a riscos simplesmente por não dispor de um sistema de abastecimento de água eficiente em sua localidade.

## 1.1. Justificativas

Devido ao grande crescimento populacional é comum que as cidades cresçam progressivamente, de modo a deslocar as periferias para localidades cada vez mais afastadas dos centros urbanos e, com isso, longe de muitos serviços importantes, como o tratamento de água.

Quando se considera realidades extremamente afastadas, costuma-se imaginar que a água encanada chega com qualidade inferior à esperada devido aos produtos presentes serem todos consumidos ao longo do caminho. Para compensar essa perda, adiciona-se uma quantidade maior de compostos, contudo ainda dentro de limites que não representam risco à população.

Um ponto que acaba passando despercebido) são os abastecimentos de água não convencionais, como poços e bicas, que não passam por tratamento. Nesses casos, a principal preocupação costuma ser a presença de microrganismos ou a ausência de alguns compostos que beneficiam a população, como o flúor, adicionado à água como medida de prevenção da cárie.

Mas esse conhecimento não está totalmente correto, principalmente quando analisamos o caso específico do flúor. Ele pode estar presente em concentrações muito maiores do que as permitidas pelas regulamentações governamentais em águas de abastecimentos não tratadas, uma vez que esse mineral está naturalmente no solo, e não é absorvido pela maioria das plantas.

Deste modo, populações que utilizam água dessas fontes estão sujeitas a altas concentrações de flúor, o que, principalmente em populações mais jovens, causa alterações no esmalte dentário, doença conhecida como fluorose dentária. Em casos mais extremos, acaba por interromper o desenvolvimento dos demais ossos do corpo.

## **1.2. Problemas de Pesquisa**

Uma das particularidades do flúor é não ser absorvido pelas plantas, uma vez que esse elemento é especialmente tóxico para elas, desse modo, é comum encontrá-lo no solo. A quantidade de fluoretos encontrados no solo tem ligação direta com a quantidade desse mesmo elemento encontrado em fontes de água alimentadas por lençóis freáticos abaixo dele? Determinadas composições do solo facilitam ou favorecem o escoamento dos íons flúor até os lençóis freáticos? As concentrações de flúor encontradas na água são prejudiciais às populações próximas?

### **1.3. Hipóteses**

- A quantidade de flúor na água de lençóis freáticos tem ligação direta com a disponibilidade do elemento no solo;
- Esse flúor chega ao lençol freático pela lixiviação do solo;
- Solos que facilitam o escoamento da água estão acima de águas com alta concentração de flúor;
- Solos com baixo escoamento da água estão acima de águas com baixas concentrações de flúor;
- Populações que consomem água de fontes não tratadas apresentam graus de fluorose, mesmo que mínimos.

### **1.4. Objetivo Geral**

Investigar a relação entre a concentração de flúor no solo e em águas subterrâneas em áreas afastadas de centros urbanos, considerando a influência das características físico-químicas do solo no transporte de íons flúor e os possíveis riscos à saúde das populações locais.

### **1.5. Objetivos Específicos**

- Determinar os níveis de flúor em águas subterrâneas consumidas por populações rurais;
- Avaliar a concentração de flúor nos solos próximos a nascentes, bicas e poços;
- Estudar como as propriedades físico-químicas do solo influenciam o escoamento de íons flúor até o lençol freático;
- Correlacionar os dados de solo e água para identificar padrões de contaminação por flúor;
- Avaliar os riscos de fluorose dentária associados ao consumo dessa água.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. Fundamentação Teórica**

O flúor, representado pelo símbolo F na Tabela Periódica, é um elemento amplamente distribuído na natureza, com destaque para sua presença no solo e na água, embora raramente seja encontrado em sua forma elementar devido à sua alta eletronegatividade. Este elemento, amplamente discutido nas áreas da saúde pública e odontologia, desperta interesse tanto por seus benefícios quanto pelos possíveis riscos associados à sua exposição excessiva.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma análise abrangente dos aspectos gerais do flúor, abordando seu ciclo hidrogeoquímico e a presença de fluoretos em diferentes compartimentos ambientais como solo, ar e água subterrânea, incluindo também suas fontes de origem antrópica.

Além disso, serão detalhadas as metodologias empregadas para a dosagem de fluoretos, com ênfase em métodos potenciométricos, no uso de eletrodo íon-específico, no papel da solução TISAB II contendo CDTA e na importância da calibração instrumental para garantir a precisão das análises. Em seguida, discute-se a fluoretação da água como medida de saúde pública, sua atuação anticariogênica e os efeitos sistêmicos adversos causados pela ingestão crônica ou aguda de fluoretos, com destaque para as manifestações clínicas da fluorose dentária e esquelética.

#### **2.1.1. Aspectos Gerais: Flúor**

Representado pelo símbolo F na Tabela Periódica, é um dos elementos químicos mais presentes no solo e nas águas, ocupando a 13ª e 15ª posição, respectivamente. Contudo, raramente é encontrado em sua forma pura na natureza, sendo mais comum em compostos chamados fluoretos, isso acontece devido a sua alta eletronegatividade. Além disso, apresenta grande afinidade por metais bi e tri valentes (como o manganês, ferro e cálcio), característica essa que facilita sua fixação nos seres vivos. Isoladamente, o flúor é um gás que possui um odor desconfortável (FUNASA, 2012).

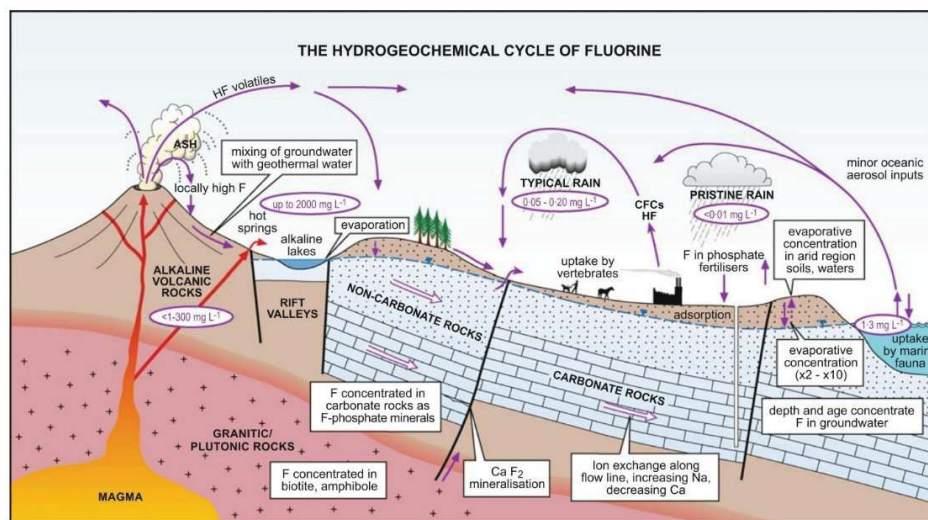
Como reforçado pelo professor Jaime Cury, em seu livro “Cariologia e Fluoretos em Odontologia – Da Pediatria a Geriatria”, o flúor é um elemento que está

espalhado pela natureza, tanto nos minerais, quanto na água e, conseqüentemente, nos vegetais. Mas o vegetal que possui maior concentração é a espécie *Camellia sinensis*, sendo o único que consegue concentrar fluoreto em seu organismo, espécie famosa por dar origem a milhares de chás. Apesar dessa concentração incomum quando comparada aos demais vegetais, ela não representa, de fato, um risco aos consumidores do chá, uma vez que a quantidade de flúor solúvel no líquido não ultrapassa sequer o limite máximo permitido para águas de abastecimento público (1,5 mgF/kg), muito inferior à dose provavelmente tóxica decorrente da exposição aguda ao elemento. Esses aspectos serão discutidos mais adiante, no tópico Toxicidade do Flúor e a Fluorose.

### 2.1.1.1. Ciclo Hidrogeoquímico

Os processos que controlam a liberação, transporte e acúmulo de flúor no ambiente são conhecidos como seu ciclo hidrogeoquímico, que é dado por:

**Imagem 01:** Diagrama esquemático mostrando o ciclo hidrogeoquímico do flúor.



**Fonte:** Edmunds & Smedley, 2013, p. 314.

Em resumo, ele é um processo dinâmico que envolve diversas esferas naturais, atmosfera, hidrosfera, geosfera e biosfera, e é regulado por múltiplas fontes e mecanismos, assim como mostra a Figura 1.

O flúor é introduzido na água por meio do intemperismo de rochas

(dissolução de minerais), chuva e atividades antropogênicas (aerossóis industriais). Na atmosfera, o flúor é incorporado através da evapotranspiração (de plantas e corpos d'água), atividades vulcânicas e emissões industriais. Na biosfera, ele pode ser absorvido por vegetais e organismos vivos (EDMUNDS & SMEDLEY, 2013, p. 313-314 e SILVA, 2022).

De acordo com Chowdhury et al. (2019, apud Silva, 2022) a liberação e mobilização do flúor nos aquíferos são condicionadas principalmente pelo tipo de rocha, pela atividade tectônica, pelas propriedades físico-químicas da água, pelo tipo de solo, pelo intemperismo, pela altitude e pelo clima – dispostos em ordem decrescente de impacto.

#### **2.1.1.2. Presença de Fluoretos no Solo**

Um importante reservatório de flúor decorrente das características de seu ciclo hidrogeoquímico é o solo, e estudos diversos indicam que o flúor está presente em diferentes tipos de rochas, incluindo ígneas, metamórficas e sedimentares. Nesse primeiro, é comum encontrar fluoretos em granitos, granitoides e riolitos. Um dos processos que contribuem para isso é a desvitrificação, pela qual um material vítreo sem forma cristalina se torna uma estrutura cristalina ao longo do tempo. Além das alterações hidrotermais, processo que ocorre quando rochas entram em contato com fluidos aquecidos e ocorrem reações, modificando sua composição e estrutura, podem modificar os teores desse elemento, uma vez que ambos influenciam e favorecem a liberação do flúor contido nas formações rochosas. Já nas rochas metamórficas, as maiores concentrações de fluoreto costumam ocorrer em áreas submetidas a transformações hidrotermais. Essas observações reforçam o papel das formações geológicas na disponibilidade natural de fluoreto em ambientes subterrâneos (SILVA, 2022).

A quantidade de flúor presente nos solos é derivada diretamente da quantidade de flúor decorrente da matriz do solo, ou seja, da quantidade de flúor presente na rocha mãe que originou essa formação superficial. Entretanto, apenas uma pequena parcela do elemento presente naturalmente nos solos é facilmente solúvel, sendo o restante encontrado em uma variedade de minerais (EDMUNDS & SMEDLEY, 2013).

A quantidade de flúor absorvida pelos solos pode variar em função do tipo de

solo, do pH, da salinidade e das concentrações de fluoretos. Ela é favorecida em meios levemente ácidos, podendo ser até dez vezes maior do que em meios alcalinos. Solos de granulação fina e com minerais de argila também são adsorventes mais eficazes, assim como a quantidade de matéria orgânica presente no solo. Outro ponto que favorece fortemente a absorção é a presença de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Al}(\text{OH})_3$  recém precipitados.

Em cenários onde o solo contém principalmente areia, com pouca argila, ferro ou alumínio, até metade do flúor infiltrado na água pode passar através dos grãos e se movimentar até o lençol freático. Entretanto, na maioria dos casos, os solos funcionam mais como sumidouros do que como fontes de flúor, o que significa que retêm o elemento em vez de liberá-lo.

Assim, a água que alcança o lençol freático tende a apresentar baixas concentrações de flúor, geralmente influenciadas por fontes atmosféricas. No entanto, essa baixa disponibilidade pode ser compensada por processos de evapotranspiração na superfície do solo, que podem concentrar o flúor retido. Esse processo pode aumentar as concentrações que chegam ao lençol freático em diferentes proporções dependendo do clima, mas de maneira geral, podendo variar de cinco a cem vezes (EDMUNDS & SMEDLEY, 2013).

### **2.1.1.3. Presença de Fluoretos no Ar**

Um local em que os fluoretos são pouco encontrados é no ar e na atmosfera, onde não é encontrado em sua forma natural e simples, mas sim, em forma de gases ( $\text{HF}$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{SiF}_4$  e  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ) e partículas ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{PbF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  e  $\text{CaSiF}_6$ ). Esses compostos são levados pelos ventos e depositados pela chuva em rios, lagos, vegetações e solos, muitas vezes decorrentes de gases liberados de processos naturais ou atividade humana. (SILVA, 2022).

No ar, as concentrações de Flúor podem variar de 0,05 — 1,90 mg de  $\text{F}/\text{m}^3$ . Já foram encontrados níveis de até 1,4 mg de  $\text{F}/\text{m}^3$  dentro de fábricas que apresentavam resíduos industriais gasosos contendo fluoretos (FUNASA, 2012).

#### **2.1.1.4. Fluoretos de Origem Humana**

Sob a perspectiva da ação humana, nota-se que as atividades industriais e agrícolas têm grande influência sobre a quantidade de flúor não natural encontrada em diferentes locais. Setores como a produção de cerâmicas, alumínio, metalurgia e geração de energia pela queima de carvão, liberam fluoretos para o meio ambiente por meio da queima de materiais ou descarte de resíduos. Os dois primeiros citados se destacam quanto a emissão de fluoreto de hidrogênio (HF) e outros compostos. Além disso, fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura aumentam a concentração de fluoretos no solo e, eventualmente, nas águas subterrâneas. A propagação desse fluoreto contaminante pode ocorrer pelo ar ou pela chuva, sendo agravada por fatores como vento, inversão térmica e irrigação excessiva (SILVA, 2022).

O aumento desse elemento de forma não natural nas águas subterrâneas e conseqüentemente, nas águas não tratadas, pode levar ao consumo de altas taxas de fluoretos, com isso, levando a problemas de saúde.

#### **2.1.1.5. Presença em Água Subterrânea**

Já quando olhamos para as reservas naturais de água, notamos que a presença de flúor na água subterrânea é um fenômeno natural que depende de diversos fatores ambientais e geológicos. Embora o flúor seja um elemento essencial em pequenas quantidades para a saúde humana, seu excesso na água pode causar problemas, como a fluorose. Por isso, entender os mecanismos que influenciam a concentração desse elemento nos aquíferos é fundamental para o manejo adequado dos recursos hídricos.

A concentração de fluoreto na água subterrânea está diretamente ligada às características do solo que a sobrepõem, como a geologia local e a composição. Minerais como fluorita, criolita, apatita e micas são os principais fluoretadores naturais dos aquíferos, sendo a solubilidade desses minerais influenciadas por fatores como pH, temperatura, saturação mineral e presença de íons como  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  nas águas. A lixiviação de fluoretos ocorre a partir da precipitação, resíduos industriais e deposição atmosférica, sendo favorecida em solos alcalinos e regiões áridas, uma vez que a acidez do solo e composições com muita argila facilitam a

retenção do elemento. A evapotranspiração e as condições de acidez do solo também influenciam diretamente a mobilização do flúor, destacando-se a dissolução da fluorita em ambientes ácidos. Alguns estudos hidroquímicos apontam para o favorecimento da liberação de fluoretos, por meio de trocas iônicas, em águas bicarbonatadas (SILVA, 2022).

A profundidade dos aquíferos tem sido estudada como possível característica favorável para a alta fluoretação das águas subterrâneas. Isso ocorre porque a água da chuva exerce maior influência em aquíferos rasos, aumentando assim a migração do fluoreto depositado na superfície (SILVA, 2022).

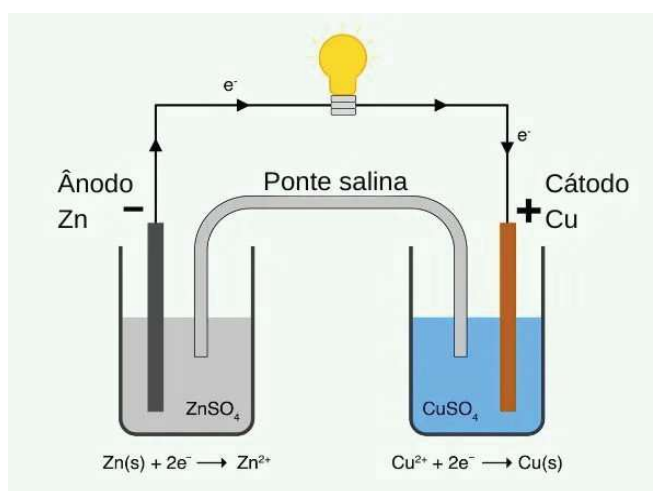
## 2.1.2. Técnicas de Dosagem de Fluoretos

### 2.1.2.1. Métodos Potenciométricos

A análise potenciométrica consiste na junção de métodos analíticos instrumentais que determinam as concentrações por meio da diferença de potenciais de uma célula eletroquímica.

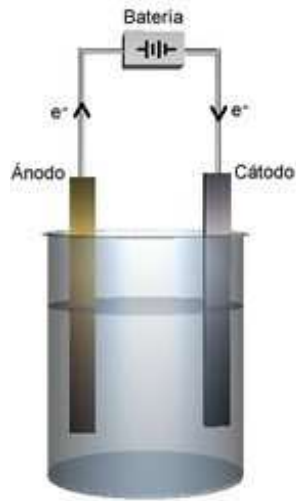
A célula eletroquímica é um sistema onde dois eletrodos – um eletrodo de referência e um eletrodo indicador – conectados por uma ponte salina, imersos em solução a ser analisada, são conectados a um potenciômetro. Existem duas células eletroquímicas: as galvânicas, que geram eletricidade por meio de uma reação espontânea (pilha), e as eletrolíticas, que necessitam de uma fonte externa de energia para funcionar (SKOOG et al., 2005, p. 553-555).

**Imagem 02:** Célula analítica galvânica.



**Fonte:** Brasil Escola, 2021?

**Imagem 03:** Célula analítica eletrolítica.



Fonte: Wikipédia, a enciclopédia livre, 2025?

O eletrodo de referência tem seu potencial conhecido, constante e independente da solução que está sendo analisada, e mede o potencial do eletrodo indicador. Já o eletrodo indicador mede o potencial do analito, que pode variar de acordo com sua concentração (SERRA e BARBOZA, 2020).

Para realizarmos a análise de fluoretos, usaremos, como método potenciométrico, um eletrodo de íon-específico de flúor.

### 2.1.2.2. Eletrodo Íon Específico

Quando falamos sobre o tipo de eletrodo a ser utilizado, deve-se ressaltar que ele é formado pela junção de dois eletrodos em um único aparelho, o de referência e o eletrodo de íon específico relevante. Ele mensura a concentração iônica de soluções aquosas por meio da força eletromotriz entre os dois eletrodos.

Para compensar a sensibilidade, requer calibração com no mínimo dois padrões-teste com diferentes concentrações do íon específico. Assim, como o eletrodo de pH, eles também são sensíveis à temperatura, por isso é necessária a medição em um ambiente de temperatura constante ou a anotação da temperatura para justificar possíveis diferenças de resultado (CMS Científica, 2021).

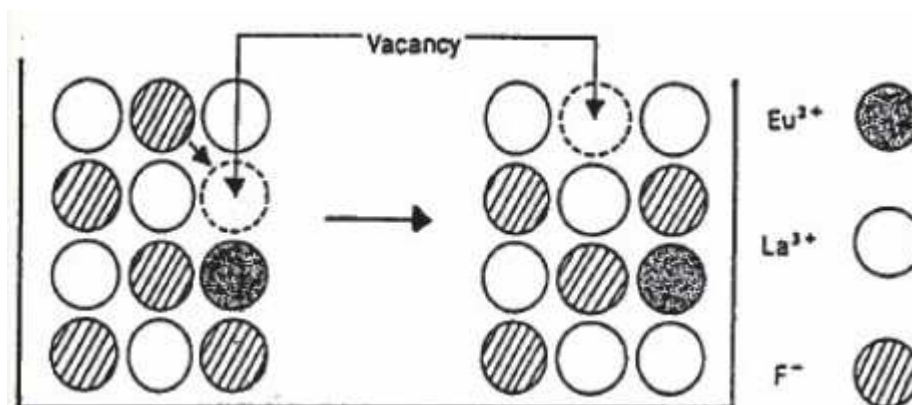
O eletrodo que será utilizado é um eletrodo íon seletivo (ISE) para a determinação de fluoreto ( $F^-$ ) em solução, utilizando como referência um eletrodo de prata/cloreto de prata ( $Ag/AgCl$ ) (HANNA, 2017?). Para produzir essa diferença de potencial, é utilizado um cristal, “A membrana de cristal de flúor de lantânio produz uma mudança potencial devido à troca de íons de fluoreto entre a membrana e a amostra”, HYDROCORE Analítica, 2005?

**Imagem 04:** Eletrodo Íon Específico de Flúor acoplado a um potenciômetro.



**Fonte:** Laboratório de Bioquímica da FOP-Unicamp, 2025

**Imagem 05:** Esquema de como acontece a migração dos íons no sensor do eletrodo.



Fonte: Serra, 2019

### 2.1.2.3. Coleta de Amostra e Preparo para Análise

A coleta e preparo das amostras são etapas importantes ao realizarmos uma análise. Desse modo, é necessário estudar e definir padrões para definir a representatividade do material a ser estudado. Para isso, segue-se um procedimento adequado para a escolha do local, utilização dos frascos, e preparo final da análise.

Assim, foi definido que, para as coletas de efluentes, seriam utilizados frascos plásticos, sendo a amostragem realizada em fontes não tratadas de água, como poços, bicas e nascentes. Já para a análise, os solos foram coletados o mais perto possível da fonte de água, uma vez que as características dos solos próximos são as que mais influenciam a água não tratada, já que não há tempo ou espaço físico para essas características serem dissipadas. E, para sua amostragem, foram utilizados frascos de vidro, inertes aos componentes do solo.

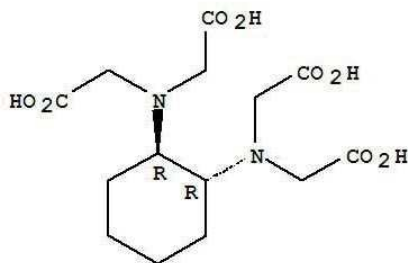
Geralmente, a retirada da amostra deve representar uma porção uniforme de 0 a 20 cm de profundidade, de modo a evitar a terra exposta a atividades mecânicas e matéria orgânica morta. Tendo, assim, como vantagem a uniformização do procedimento, além de permitir a comparação com resultados obtidos anteriormente, possibilitando a aferição de solos de diferentes localidades (NOGUEIRA et. al, 1998).

#### 2.1.2.4. TISAB II e CDTA

Uma característica da metodologia escolhida para a dosagem é a presença indispensável da solução tampão e complexante conhecida como TISAB II, que apresenta o agente quelante CDTA em sua composição, juntamente de outros reagentes, sendo eles Ácido Acético Glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), Cloreto de Sódio ( $\text{NaCl}$ ) e Hidróxido de Sódio ( $\text{NaOH}$ ). A função atribuída a esse reagente é a de possibilitar a leitura das amostras no eletrodo íon seletivo (EIS), uma vez que a presença de íons metálicos,  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  em excesso atrapalham a leitura.

O Ácido 1,2-Ciclohexilenodinitrilo Tetra Acético, resumidamente, CDTA, é um composto quelante muito utilizado em química de coordenação e bioquímica. Este composto apresenta uma estrutura de ciclohexano com dois grupos de carboximetilglicina, o que aumenta sua capacidade de formar complexos com íons metálicos. Além disso, o grupo carboximeto contribui para a solubilidade do composto em soluções aquosas (CYMIT Química, 2025).

**Imagem 06:** Representação da estrutura da molécula de CDTA.



**Fonte:** Adaptado de Cymit Química (s.d.).

Conhecido como TISAB II, é uma solução tampão com o complexante CDTA, onde o pH fica entre 5 — 5,5, de modo a garantir uma melhor eficácia do método utilizado para quantificar o flúor presente, uma vez que a grande variação de pH entre os valores 4 e 8 pode causar interferências na análise de concentrações mais baixas de fluoreto (DOVIDAUSKAS et al., 2015), o que é comum ao analisarmos esse elemento presente em efluentes.

### **2.1.2.5. Curva de Calibração**

A concentração de uma amostra não é uma grandeza física diretamente observável, logo, é sempre determinada indiretamente por meio de medidas como absorção, emissão de luz, condutividade, pesos ou volumes. Com isso, é possível realizar a calibração do equipamento utilizando uma curva de padrões, este modo é dividido em duas etapas. A primeira delas é a descritiva, que constroi um modelo a partir de grandezas medidas e concentrações conhecidas; e a segunda é a preditiva, que utiliza o modelo construído pela etapa anterior para prever a concentração de novas amostras. A calibração é fundamental para a precisão, aplicabilidade e custo da análise (PIMENTEL e NETO, 1995).

Na análise de fluoreto na água, usaremos um eletrodo de íon-Específico de Flúor acoplado a um analisador de íons previamente calibrados com padrões de fluoreto de 0,25 a 5,0 µg F/mL em TISAB II. O procedimento adotado seguiu o padrão operacional do laboratório da empresa Mériuex NutriSciences, responsável pelas nossas análises laboratoriais.

### **2.1.3. Fluoretação de Água no Tratamento**

A cárie dental é um problema sério de saúde bucal que atinge grande parte da população brasileira, agravado pelas condições socioeconômicas desfavoráveis, que limitam o acesso a cuidados preventivos e tratamentos adequados. Por muito tempo, o serviço público de odontologia foi marcado por ações simples, com foco quase exclusivo em tratamentos curativos e com alcance restrito. As propriedades preventivas do flúor foram descobertas enquanto se investigavam seus efeitos tóxicos. A partir daí, a Organização Mundial da Saúde (OMS) criou um programa para incentivar seu uso, principalmente na água de abastecimento, destacando a importância de manter concentrações adequadas para garantir seu efeito protetor contra a cárie (FUNASA, 2012).

Deste modo a fluoretação da água em tratamentos públicos começou como uma manobra da saúde pública visando melhorar a saúde bucal da população.

[...] O acesso à água tratada e fluoretada é fundamental para as condições de saúde da população. Viabilizar políticas públicas que garantam a implantação da fluoretação das águas é a forma mais

abrangente e socialmente justa de acesso ao flúor (Fundação Nacional de Saúde, 2012, p. 8).

Essa prática teve início no Brasil em outubro de 1953, na cidade de Baixo Guandu, no Espírito Santo, pela instituição que hoje é a Funasa. Na época, foi usado o composto Fluossilicato de Sódio. Quatorze anos depois, estudos mostraram que a cárie dental caiu 65% entre crianças de 6 a 12 anos (Buendia, 1996 apud FUNASA, 2012).

Em 1958, a OMS reconheceu a importância dessa prática e criou um comitê com especialistas em fluoretação da água. No primeiro relatório, o grupo aprovou a ação e recomendou seu uso como medida de saúde pública. Já em 1982, concluíram que essa ação é a medida ideal para o controle da cárie dental em países que oferecem os serviços de tratamento de água, considerando que ela é confirmada pela ciência como sendo uma medida terapêutica, eficaz e segura (FUNASA, 2012).

Após muitos anos de uso dessa atividade, entendeu-se que o uso do flúor na água deve ser feito com cuidado e critérios, buscando garantir o máximo de benefícios. Afinal, o flúor é um medicamento, e o seu uso inadequado pode causar efeitos indesejados (FUNASA, 2012). Deste modo, foi estabelecido pelas Portarias de Consolidação Nº 5 e Nº 888 o valor máximo permitido (VPM) sendo 1,5 ppm F (mg F/L), mas o valor dado como ótimos para locais com temperaturas entre 26,4-32,5°C é o de 0,7 ppm F (mg F/L).

### **2.1.3.1. Atuação Anticariogenicidade do Fluoreto**

De acordo com o livro “Cariologia & Fluoretos em Odontologia”, de Jaime Cury, lançado em 2024, nas páginas 92 e 93, o início da formação de cárie ocorre na superfície dos dentes, onde as bactérias se aderem e formam biofilmes na presença de açúcares; com o tempo, esses biofilmes podem evoluir para lesões mais graves. Devido à dificuldade de restringir a dieta rica em carboidratos e de manter a higiene dos dentes adequada, estudos mostraram que o uso de fluoretos constitui uma estratégia eficaz para o controle da cárie.

Há vários meios de distribuir o elemento, como em águas para abastecimento público, cremes dentais e tratamentos de fluoroterapia. “Fluoreto continua sendo a

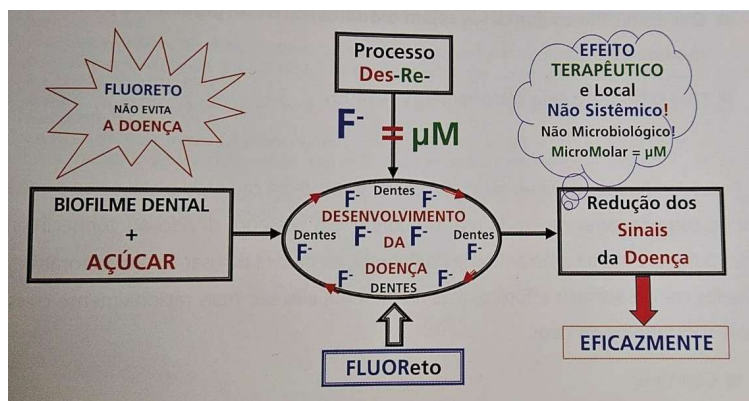
única substância conhecida capaz de, com segurança e eficiência, reduzir a cárie dentária.”, afirma Jaime, na página 93, do livro citado.

Contudo, o uso de fluoretos não apresenta efeito antibacteriano, uma vez que não interfere no início da formação do biofilme. Assim, os fluoretos atuam físico-quimicamente no desenvolvimento da cárie, diminuindo a desmineralização e aumentando a remineralização do esmalte, sem contudo, promover um efeito antimicrobiano significativo (Cury JA, 2024, p. 97-98).

Vale ressaltar que a desmineralização e a remineralização são processos naturais e constantes que ocorrem nos dentes e ossos, consistindo, respectivamente, na remoção e na adição de minerais (NEEL et al., 2016).

Conclui-se, portanto, que o uso de fluoreto pode contribuir para a redução de lesões causadas pela doença em comparação com indivíduos que não usam tratamentos com flúor, mas não torna o esmalte mais resistente e nem previne totalmente a doença (Cury JA, 2024, p.113).

**Imagem 07:** Diagrama que ilustra o porquê o uso de fluoreto não é capaz de prevenir cárie.



**Fonte:** Livro “Cariologia & Fluoretos em odontologia”, Jaime Cury, 2024, p.113.

#### 2.1.4. Toxicidade do Flúor e a Fluorose

Como qualquer outro composto químico, o excesso de fluoretos pode apresentar reações diversas e maléficas ao organismo humano. Como citado pelo professor Jaime Cury, em seu livro “Cariologia e Fluoretos em Odontologia- Da Pediatria à Geriatria”, os efeitos sistêmicos colaterais da ingestão desses compostos são farmacologicamente divididos em dois – toxicidade aguda e crônica, sendo a primeira aquela que ocorre quando grandes quantidades são ingeridas de uma única vez, e, a segunda, quando quantidades pequenas são ingeridas

diariamente ao longo da vida do indivíduo. Vale ressaltar que esses efeitos são válidos para qualquer meio de uso, seja naturalmente pelo chá, pelo fluoreto agregado à água ou aos dentifrícios.

Outro ponto importante reforçado no livro é que os riscos aqui descritos seguem como parâmetro os sais de fluoreto usados em Odontologia, e não outras formas químicas, por exemplo, muitos medicamentos apresentam o elemento flúor em sua composição – como o antidepressivo Fluoxetina – mas cada um apresenta seus próprios riscos, uma vez que seus mecanismos de ação são diferentes. Nos sais odontológicos, todos eles ao serem ingeridos liberam no sangue o íon flúor ( $F^-$ ), já as demais espécies químicas não apresentam essa característica.

**Imagem 08:** Representação da estrutura da molécula de Fluoxetina.



**Fonte:** Vecteezy, s.d., 2022?

Mais um tópico importante evidenciado pelo professor é que somente a parte quimicamente solúvel do fluoreto ingerido será absorvida e levada à corrente sanguínea. Desse modo, levando em consideração casos e acidentes letais com a ingestão de flúor, o valor estabelecido como dose provavelmente tóxica (DPT) foi de 5,0 mg F/kg de peso corporal, tendo em vista a toxicidade aguda do fluoreto, destacando que a fluoretação da água é 100% segura, uma vez que uma criança de 5 a 6 anos e pesando 20 kg teria que consumir 143 litros de água a 0,7 ppm F (mg F/L) de uma única vez para ser submetida a DPT. O mesmo serve para os dentifrícios, uma vez que essa mesma criança teria que comer cerca de 90 g (uma

bisnaga inteira) do creme dental contendo 1.100 ppm F (mg F/kg) para ser submetida a dose de 5,0 mg F/kg.

Agora, ao voltarmos nossa atenção para a toxicidade crônica do fluoreto, é importante atentar-se à afinidade do fluoreto com os tecidos mineralizados, havendo riscos para os dentes em formação e durante toda a vida para os ossos, mas existem diferenças significativas entre os dois. Assim, enquanto para os dentes o período crítico se limita à idade de formação dos dentes da criança, para os ossos, o risco se estende por toda a vida. Também há diferenças entre os mecanismos de ação do fluoreto no desenvolvimento das fluoroses dentária e esquelética, já que a formação dos ossos e dos dentes acontece de maneiras totalmente distintas. (Cury, 2024).

#### **2.1.4.1. Dentária**

Conforme citado no tópico anterior, o consumo diário de certas quantidades de fluoretos pode acabar ocasionando problemas principalmente às crianças, pois nessa idade estão com sua arcada dentária em formação.

Como retratado no capítulo 3 do livro “Cariologia e Fluoretos em Odontologia- Da Pediatria à Geriatria”, do professor Jaime Cury, a fluorose dentária, de maneira resumida, é a formação de um esmalte dental menos mineralizado, com maiores espaços entre seus cristais. O que pode ocasionar opacidade de diferentes graus de alteração, podendo comprometer a estética dental e a qualidade de vida do paciente.

De acordo com os estudos relatados no livro, o parâmetro utilizado para a toxicidade aguda não é válido para relação entre dose e fluorose dentária. A dose de 0,05 a 0,07 mg F/kg de peso corporal/dia tem sido utilizada até hoje como limite superior para essa ingestão, levando em consideração o equilíbrio entre o benefício de redução de cárie e o risco de fluorose. Porém, poucos estudos avaliam de maneira efetiva quais são as principais causas dos casos de fluorose, pois ao comparar a água fluoretada com os dentífricos, muitas vezes se desconsidera apenas a parcela solúvel destes últimos. Ao discutir isso mais profundamente revisando estudos anteriores de sua autoria, Jaime afirma que a fluorose encontrada foi majoritariamente decorrente da fluoretação da água.

Contudo, como a grande maioria apresentava graus leve ou muito leve, o flúor na água não compromete a qualidade de vida das pessoas expostas a ela quando se encontram dentro do limite estabelecido, mas vale lembrar que essa água é previamente tratada.

Portanto, a fluoretação da água em seu tratamento, quando realizada corretamente, não apresenta riscos à população, sendo um eficiente mecanismo anticárie, porém, em águas não tratadas, o risco de desenvolvimento da fluorose dentária pode ser diferente.

#### **2.1.4.2. Esquelética**

Sendo a pior consequência da toxicidade crônica do flúor, a fluorose esquelética se desenvolve após anos de vida consumindo quantidades de fluoreto acima das necessárias e recomendadas.

“Fluorose esquelética é uma osteopatia tóxica rara, caracterizada pela fixação óssea maciça de flúor. A doença é endêmica em algumas partes do mundo e resulta da ingestão prolongada ou, raramente, da inalação de grandes quantidades de flúor” (LADEB et al., 2019, p. 1).

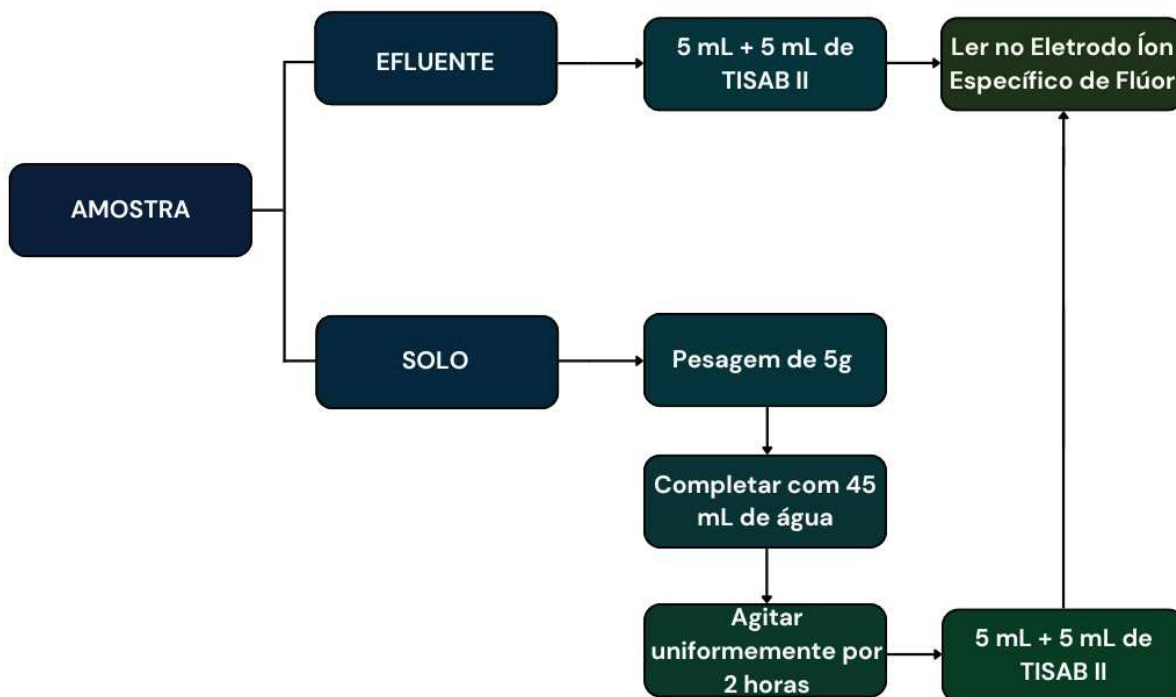
De maneira resumida, a fluorose esquelética é uma doença metabólica crônica desenvolvida ao longo de décadas de exposição a fluoretos, provocando alterações como o aumento da densidade óssea, ossificação de ligamentos, entre outros. Geralmente é assintomática e descoberta em exames radiológicos. O efeito do flúor nos ossos depende da quantidade consumida e do tempo de exposição (LADEB et al., 2019).

Ao analisarmos os meios pelos quais pode ocorrer essa exposição prolongada, um a ser destacado é a ingestão de água de fontes subterrâneas com maiores concentrações de flúor do que as permitidas pela OMS (1,5 mg/L). Por outro lado, destacam-se os estudos que confirmam a associação entre polimorfismos genéticos e um padrão de suscetibilidade à doença (LADEB et al., 2019).

A fluorose esquelética, em sua fase inicial, pode apresentar sintomas vagos, como dores articulares, rigidez muscular, fadiga crônica e limitação de movimentos. À medida que a doença progride, pode ocorrer a fusão de vértebras, deformidades ósseas, restrição da mobilidade torácica e, em alguns casos, comprometimento neurológico devido à compressão da medula espinhal (LADEB et al., 2019).

## 2.2. Metodologia

Fluxograma 01: Metodologia usada.



Fonte: Autoria própria.

### 2.2.1. Coleta das Amostras de Efluente

#### 2.2.1.1. Materiais e Reagentes

- Cooler;
- Frascos de plástico devidamente identificados;
- Gelo;
- Ficha para identificação e anotação sobre as amostras.

#### 2.2.1.2. Procedimento

Inicialmente foram determinados os locais de coleta das amostras, usando como critério de escolha o fato das fontes de água serem de poços, nascentes ou bicas afastados dos pontos de tratamento de água e centros urbanos. Logo após, houve o deslocamento até os locais, e a coleta foi realizada utilizando frascos plásticos identificados. O transporte das amostras foi feito com o auxílio de um

cooler contendo gelo, com o objetivo de mantê-las a uma temperatura abaixo de 6°C.

**Tabela 01:** Descrição das amostras.

Código	Local	Situação da amostra	Dia da coleta	Horário da Coleta
SB	Santa Olímpia - bica	Coletada	20 de jul. 2025	11h38min
SN	Santa Olímpia - Nascente	Coletada	20 de jul. 2025	13h58min
PR 1	Taquaral, Gleba 36, Rua 7, casa 177	Coletada	17 de jul. 2025	11h05min
PR 2	Taquaral, Gleba 36, Rua 7, casa 180	Coletada	17 de jul. 2025	11h21min
LP	Rodovia Limeira-Piracicaba, mina no km 135	Coletada	09 de set. 2025	13h42min
AN	Analândia, poço que abastece a cidade	Coletada	04 de set. 2025	14h54min
AM	Analândia, fonte de água em uma mina	Coletada	04 de set. 2025	14h36min

**Fonte:** Autoria própria.

**Imagem 09:** Frasco de coleta.



**Fonte:** Autoria própria.

**Imagem 10:** Cooler identificado (amostras de efluente).



Fonte: Autoria própria.

**Imagem 11:** Amostra de água sendo coletada.



Fonte: Autoria própria.

## 2.2.2. Análise de Fluoretos na Água

### 2.2.2.1. Materiais e Reagentes

- Eletrodo Íon Específico de Flúor;
- Tampão Tisab II;
- Pipetador automático ou Pipeta;
- Padrões de fluoretos com concentrações conhecidas (0,5 – 10 µg F/mL);
- Analisador de Íons;
- Amostras de efluente;
- Frasco para leitura.

### 2.2.2.2. Procedimento

Em frascos plásticos foram colocados 5 mL de cada um dos padrões, aos quais se adicionou a mesma quantidade do tampão Tisab II, sendo então levados para o Eletrodo Íon Específico de Flúor acoplado a um analisador de íons. Cada padrão foi lido separadamente e sob agitação constante. Os resultados obtidos foram utilizados para a elaboração de uma curva de calibração, com o objetivo de validar os resultados do aparelho.

Logo depois, caso alguma das amostras possuísse muitos corpos estranhos, ela seria centrifugada, de modo a separar esses resíduos e facilitar a pipetagem somente da amostra de água.

A seguir, com novos frascos, foram dosados 5 mL das amostras coletadas juntamente com 5 mL do padrão Tisab II e levados para serem analisados no Eletrodo Íon Específico de Flúor acoplado a um analisador de íons. O valor medido foi corrigido com auxílio da curva de calibração.

**Imagem 12:** Eletrodo Íon Específico de Flúor.



Fonte: Thermo Fisher Scientific, 2025.

### 2.2.3. Coleta das Amostras de Solo

#### 2.2.3.1. Materiais e Reagentes

- Cooler;
- Colher;
- Frascos de vidro devidamente identificados;
- Gelo;
- Pá;
- Ficha para identificação e anotação sobre as amostras.

#### 2.2.3.2. Procedimento

Foi escolhido um local até a 10 m de distância de onde foi coletada a amostra de água, então cavamos um buraco com profundidade entre 15 e 20 cm com o auxílio da pá, após isso, com a colher, coletamos a amostra do fundo do buraco, enchendo minimamente até a metade do frasco com o solo. O transporte da amostra foi realizado com o auxílio de um cooler contendo gelo com o objetivo de mantê-las a uma temperatura abaixo de 6°C.

**Tabela 02:** Descrição das amostras.





**Fonte:** Autoria própria.

**Imagem 15:** Amostra de solo sendo coletada.



**Fonte:** Autoria própria.

## **2.2.4. Análise de Fluoretos no Solo**

### **2.2.4.1. Materiais e Reagentes**

- Balança analítica;
- Agitador de tubos;
- Pipetador automático ou Pipeta;
- Espátula;
- Padrões de fluoreto de concentrações conhecidas (0,5 — 10 µg F/mL);
- Água destilada;
- Amostras de solo;
- Tubos Falcon;
- Frascos para leitura.

### **2.2.4.2. Procedimento**

Em um tubo falcon, com o auxílio de uma balança analítica e uma espátula, foram pesados 5 g das amostras coletadas. Em seguida, adicionaram-se 45 mL de água destilada em cada um dos tubos, levando-os a agitação constante durante 2 horas. Após esse processo, retiraram-se 5 mL de cada uma das suspensões.

Após a separação das aliquotas, a metodologia de dosagem seguiu o mesmo procedimento utilizado para as amostras de água, ou seja, foram misturadas com 5 mL do Tampão Tisab II e lidas no Eletrodo Íon Específico de Flúor logo depois da curva de calibração, visando trazer maior confiabilidade aos resultados.

### **2.2.5. Entrevista com Moradores**

Ao final de cada coleta realizada em residências, foram feitas algumas perguntas com o objetivo de compreender a experiência dos moradores referente à água do abastecimento público e à água do poço.

As perguntas foram:

- “A água tratada chega com frequência ou tende a faltar muito?”
- “Vocês têm o costume de usar a água do poço para consumo?”

## **2.3. Resultados e Discussões**

### **2.3.1. Análise dos resultados analíticos**

Como mencionado na seção anterior deste trabalho, as análises foram

divididas em duas partes, a primeira, voltada à avaliação das concentrações de fluoretos encontradas em amostras de águas não tratadas e a segunda destinada ao estudo da presença deste íon no solo próximo. Ao padronizar o volume de 5 mL de amostra de efluentes e adicionar 5 mL da solução tampão e complexante, TISAB II, obtiveram-se os resultados a partir da análise realizada no Eletrodo Íon Específicos de Flúor acoplado a um potenciômetro:

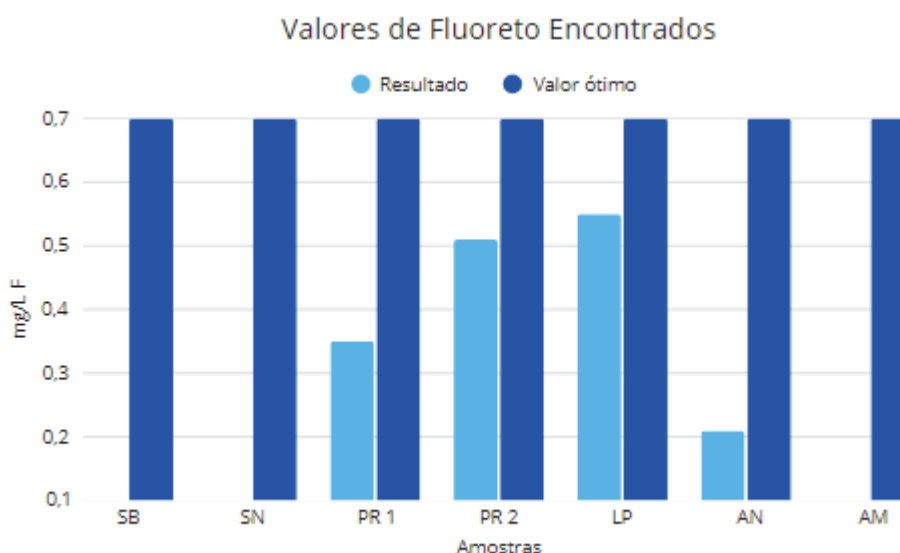
**Tabela 03:** Resultados obtidos para o teor de flúor nas amostras de água

Código	Resultados
	ppm (mg/L)
SB	<0,1
SN	<0,1
PR 1	0,35
PR 2	0,51
LP	0,55
AN	0,21
AM	0,1

**Fonte:** Autoria própria.

A seguir tem-se o gráfico que compara os resultados obtidos juntamente com o valor considerado ótimo para as águas da região de Piracicaba:

**Gráfico 01:** resultados obtidos comparados ao valor ótimo estabelecido pela portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.



**Fonte:** Autoria própria.

A partir da análise dos resultados, observa-se que nenhuma das fontes de água apresentou concentrações elevadas do íon Flúor, logo, não há risco de desenvolvimento de nenhum tipo de fluorose.

No entanto, ao comparar os resultados com a concentração mínima de fluoretos exigida por lei, observa-se a falta desse íon, uma vez que nenhuma das amostras chegou perto do valor mínimo.

Em relação à presença do íon fluoreto livre no solo, após a padronização do método de coleta e análise, obtiveram-se os seguintes resultados:

**Tabela 04:** Resultados obtidos para o teor de flúor nas amostras de solo.

Código	Resultados	Sólidos Totais
	ppm (mg/kg)	% p/p
SB 2	6,35	77,8
SN 2	2,57	93,8
PR 1'	2,79	86,4
PR 2'	2,77	87,3
LP 2	11,1	54,2
AN 2	<2	92,7
AM 2	<2	78,0

**Fonte:** Autoria própria.

Ao observarmos os dados, verificamos que (em seis das sete amostras), há um padrão que permite estabelecer uma relação entre o fluoreto solúvel e a quantidade de sólidos totais obtidos. O aumento do teor de sólidos totais tende a corresponder a uma diminuição da quantidade de íons flúor solúveis. Acredita-se que esse comportamento decorra da alta eletronegatividade do elemento analisado, que ao ser submetido a um ambiente com mais compostos sólidos, tende a se associar a esses materiais, reduzindo sua mobilidade e dificultando sua lixiviação. Contudo, para confirmar essa relação com maior confiabilidade, seria necessário ampliar o número de amostras analisadas.

Ao relacionar os dados obtidos no solo com as concentrações encontradas nos efluentes próximos, destaca-se a amostra LP, que apresentou as maiores concentrações de fluoreto tanto no solo quanto na água, além da menor quantidade de sólidos totais. Acredita-se que a quantidade de sólidos influencie não apenas a lixiviação do solo, mas também o escoamento da água, interferindo no transporte do íon fluoreto e resultando em volumes menores desse íon.

Dessa forma, concentrações mais elevadas de sólidos totais tendem a indicar uma menor mobilidade do fluoreto em direção às águas subterrâneas. Contudo, é difícil estabelecer uma relação definitiva, uma vez que as concentrações de fluoreto nessas águas subterrâneas são influenciadas por diversos outros fatores.

### **2.3.2. Análise das entrevistas**

As entrevistas feitas revelaram pouco conhecimento sobre a fluoretação da água utilizada para consumo. Também é evidente que, devido á falta constante da água do abastecimento público, principalmente em épocas de seca, o interesse para o uso – ou o próprio uso – da água não tratada é recorrente, tanto para o consumo quanto para outras atividades.

Esses relatos reforçam a importância de uma boa distribuição da água tratada, uma vez que as populações afastadas acabam dependendo de fontes naturais. Muitas vezes, essas populações recebem apenas a dosagem de cloro, carecendo de informações sobre os possíveis riscos à saúde relacionados aos demais elementos.

Todas as entrevistas foram realizadas com o consentimento dos participantes, que foram informados sobre os objetivos da pesquisa e garantidos quanto ao anonimato à e confidencialidade das repostas.

### **3. Conclusão**

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que nenhuma das áreas afastadas dos centros urbanos da região de Piracicaba apresenta altas concentrações de fluoreto. Desse modo, as populações que consomem essas águas não estão expostas a riscos relacionados à fluorose. No entanto, as quantidades encontradas são inferiores aos valores mínimos estabelecidos em lei. Assim, ao consumir apenas essas fontes de água, as populações podem estar mais suscetíveis ao desenvolvimento de cáries, uma vez que há uma redução significativa da proteção conferida pelo flúor.

Os objetivos propostos foram parcialmente alcançados, visto que não foi possível aprofundar as análises do solo tanto quanto o desejado, devido a falhas de planejamento. Ainda assim, foi possível estabelecer uma relação, ainda que simplificada, entre os componentes do solo e as concentrações de fluoreto presentes tanto no solo quanto nas águas subterrâneas associadas.

## REFERÊNCIAS

**ABOU NEEL, Ensanya Ali et al.** Demineralization–remineralization dynamics in teeth and bone. *International Journal of Nanomedicine*, v. 11, p. 4743-4763, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S107624>. Disponível em: <https://www.dovepress.com/demineralizationremineralization-dynamics-in-teeth-and-bone-peer-reviewed-fulltext-article-IJN>. Acesso em: 8 ago. 2025.

**BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 190, p. 360, 3 out. 2017. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html). Acesso em: 31 out. 2025.

**[CECOL/USP] Centro Colaborador do Ministério da Saúde em Vigilância da Saúde Bucal.** Consenso técnico sobre classificação de águas de abastecimento público segundo o teor de flúor. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2011. Acesso em 06 ago 2025.

**CHOWDHURY, A. et al.** A critical review on geochemical and geological aspects of fluoride belts, fluorosis and natural materials and other sources for alternatives to fluoride exposure. *Journal of Hydrology*, v. 574, n. 1, p. 333-359, 2019.

**CMS Científica.** O que é um eletrodo de íon específico? Funcionalidades e aplicações. Disponível em: <https://cmscientifica.com.br/o-que-e-um-eletrodo-de-ion-especifico-funcionalidades-e-aplicacoes/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

**CURY, Jaime Aparecido.** *Cariologia & fluoretos na odontologia: da pediatria à geriatria*. São Paulo: Santos Publicações, 2024.

**CYMIT Química.** Ácido hexafluorozircônico - CAS 125572-95-4. Disponível em: <<https://cymitquimica.com/pt/cas/125572-95-4/>>. Acesso em: 22 jun. 2025.

**DOVIDAUSKAS, S. et al.** Determinação de fluoreto em baixas concentrações: validação de método com eletrodo íon seletivo para análise da água utilizada na preparação de soluções de diálise. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 74, n. 4, p. 347-360, 2015.

**EDMUNDS, W. Mike; SMEDLEY, Pauline L.** Flúor em águas naturais. In: SELINUS, Olle et al. Fundamentos de geologia médica: edição revisada. [S.l.]: Springer, 2013. p. 311-351. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_13).

**FUNASA BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.** Manual de fluoretação da água para consumo humano. Brasília: FUNASA, 2012.

**HANNA Instruments Brasil. Eletrodo combinado de íon seletivo (ISE) para fluoreto – modelo HI4110.** Disponível em: <https://hannainst.com.br/produto/hi4110-ise-para-fluoreto/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

**Imagem 05 – SERRA, A. A.** *Final 3ª Aula (Parte II) 2S 2019 – Potenciometria.* São Paulo: Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP, 2019. Disponível em: [https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840768/LOQ4001/Final%203a%20Aula%20\(Parte%20II\)%202S%202019%20\(Potenciometria\)%202S%202019%20-%20Aarao.pdf](https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840768/LOQ4001/Final%203a%20Aula%20(Parte%20II)%202S%202019%20(Potenciometria)%202S%202019%20-%20Aarao.pdf). Acesso em: 30 out. 2025.

**Imagem 06 — Estrutura química de "rel-N-(N-1R,2R-1,2-ciclohexanediylbis-N-carboximetil-glicina hydrate 1:1"** (adaptado de Cymit  
Acesso em: 08 ago. 2025.

**Imagem 08 — Fórmula esquelética da fluoxetina** (Vecteezy,

s.d.) Fonte: Vecteezy. Disponível em:  
<https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/6741047-vetor-formula-esqueletica-da-fluoxetina>. Acesso em: 08 ago. 2025.

**Imagem 12 – Thermo Fisher Scientific.** Orion™ Fluoride Ion Selective Electrodes BNC (Waterproof). Catálogo online: produto “9609BNWP”. Disponível em:  
<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/9609BNWP>. Acesso em: 03 out. 2025.

**LADEB, Mohamed Fethi et al.** Fluorose esquelética: não perca o diagnóstico! Radiologia Esquelética, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 1–12, 2019. DOI: [10.1007/s00256-019-03302-0](https://doi.org/10.1007/s00256-019-03302-0). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00256-019-03302-0>. Acesso em: 6 ago. 2025.

**NOGUEIRA, A. R. de A.; MACHADO, P. L. O. de A.; SANTANA DO CARMO, C. A. F. de; FERREIRA, J. R. (ed.)**. Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos – Coleta, acondicionamento e preparo de amostras. São Carlos: Embrapa-Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, 1998. 72 p. ISBN 85-86764-01-9.

**NOVAIS, Stéfano Araújo.** "Eletroquímica"; Brasil Escola. Disponível em:  
<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/eletroquimica.htm>. Acesso em 08 de agosto de 2025.

**PIMENTEL, M. F.; NETO, B. B.** *Calibração: uma revisão para químicos analíticos*. Química Nova, Recife, v. 19, n. 3, p.268, setembro, 1995. Disponível em:  
[http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1996/vol19n3/v19\\_n3\\_09.pdf](http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1996/vol19n3/v19_n3_09.pdf). Acesso em: 8 ago. 2025.

**PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017:** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Acesso em: 8 ago. 2025.

**PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021:** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Acesso em: 8 ago. 2025.

**SERRA, BARBOZA.** *Análise Instrumental: eletrodos e potenciometria.*

Universidade de São Paulo. Disponível em: Microsoft PowerPoint - FINAL Aula (Parte II) 2S 2019 (Potenciometria)[Compatibility Mode]. Acesso em: 06 ago 2025

**SILVA, Jeffer Haad Ruiz da.** *Estudo geoquímico da associação entre fluoreto encontrado na água, no solo e sedimentos de Manacapuru-AM.* 2022. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

**SKOOG, D.A., West, D.M. e Holler, F.J.;** *Fundamentos da Química Analítica,* Tradução da 8ª. Edição norteamericana, Editora Thomson, Rio de Janeiro, 2005.

**Wikipédia – a enciclopédia livre.** Célula eletrolítica. Disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Célula\\_eletrolítica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Célula_eletrolítica). Acesso em: 08 ago. 2025.