

CONCENTRAÇÕES DE FLÚOR NAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO SUBTERRÂNEAS (*IN NATURA*) E SUPERFICIAIS (TRATADAS), DO MUNICÍPIO DE CORNÉLIO PROCÓPIO, PARANÁ

FLUORIDE CONCENTRATIONS IN GROUNDWATER (NATURAL) AND SURFACE WATER (TREATED) SUPPLIES IN THE MUNICIPALITY OF CORNÉLIO PROCÓPIO, PARANÁ


CONCENTRACIONES DE FLÚOR EN LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO SUBTERRÂNEAS (NATURALES) Y SUPERFICIALES (TRATADAS) DEL MUNICIPIO DE CORNÉLIO PROCÓPIO, PARANÁ

Francisco Jorge de Castro Junior¹

 0009-0005-0430-1809

franciscojorgecastrojunior@gmail.com

José Paulo Peccinini Pinese²

 0000-0001-8845-7141

pinese@uel.br

1 Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina - UEL. Paraná. Licenciado em Geografia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP). ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0430-1809>. E-mail: franciscojorgecastrojunior@gmail.com.

2 Prof. Doutor em Geociências (Geoquímica e Geotectônica) pela Universidade de São Paulo (USP), Docente do Departamento de Geologia e Geomática da Universidade Estadual de Londrina (UEL) - Londrina, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8845-7141>. E-mail: pinese@uel.br.

Agradecimentos: A CAPES pela bolsa de estudos proporcionada para a realização deste trabalho. Ao CNPq (310.608/2017) e à Fundação Araucária do Estado do Paraná, Brasil, pelo suporte financeiro por meio dos projetos do Convênio CNPq/Fundação Araucária: 61.0088/06-8 e Convênio Fundação Araucária/UEL: 063/08. Também dos projetos da Fundação Araucária do Estado do Paraná 15.880,19.733 e 25.247.

Artigo recebido em agosto de 2024 e aceito para publicação em setembro de 2025.

RESUMO: A cárie dental é um problema de saúde pública significativo, e uma das estratégias adotadas para prevenir essa condição é a fluoretação das águas de abastecimento, uma prática adotada no Brasil e em muitos outros países ao redor do mundo. Pesquisadores e profissionais da área de saúde têm investigado os potenciais efeitos adversos da fluoretação, especialmente quando os níveis de flúor na água ultrapassam os limites recomendados. Esta pesquisa tem como objetivo verificar a compatibilidade dos teores de flúor das águas de abastecimento subterrâneas *in natura* no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), e das águas superficiais (tratadas) pela empresa SANEPAR, no Município de Cornélio Procópio, PR. Os dados utilizados foram obtidos na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e no Instituto Água e Terra do Paraná (IAT). Para realizar as tabulações e representações cartográficas da área, foi aplicado, como recomendável, um intervalo de concentração de flúor, nas águas, entre 0,6 a 0,8 mg/L, seguindo a recomendação médica e a regulamentação das portarias Portaria n.º 635/Bsb/ GM/MS N° 888/2021. Como resultados da pesquisa, as águas superficiais tratadas apresentaram, índices de fluoretação acima dos recomendáveis, apontando para possíveis problemas de fluoroses. Nas águas subterrâneas, observou-se um déficit de flúor, apontando para uma não eficácia no combate à cárie dental.

Palavras-chave: Abastecimento. Água. Flúor. Saúde bucal.

ABSTRACT: Dental caries is a significant public health issue, and one of the strategies adopted to prevent this condition is the fluoridation of drinking water, a practice implemented in Brazil and many other countries around the world. Researchers and health professionals have been investigating the potential adverse effects of fluoridation, especially when fluoride levels in the water exceed recommended limits. This research aims to verify the compatibility of fluoride levels in natural groundwater from the Serra Geral Aquifer System (SASG) and surface water (treated) by the SANEPAR company in the municipality of Cornélio Procópio, PR. The data used were obtained from the Paraná Sanitation Company (SANEPAR) and the Paraná Water and Earth Institute (IAT). For the tabulations and cartographic representations of the area, a fluoride concentration range of 0.6 to 0.8 mg/L was applied, as recommended by medical guidelines and regulations in Ordinance No. 635/Bsb/GM/MS No. 888/2021. As a result of the research, most treated surface waters showed fluoridation levels above the recommended limits, indicating possible issues of fluorosis. In the groundwater, a fluoride deficit was observed, indicating inefficacy in combating dental caries. Therefore, the drinking water in the municipality of Cornélio Procópio requires more regular monitoring to contribute to the local population's health.

Keywords: Water Supply. Fluoride. Oral health.

RESUMEN: La caries dental es un problema de salud pública significativo, y una de las estrategias adoptadas para prevenir esta condición es la fluoración del agua de abastecimiento, una práctica adoptada en Brasil y en muchos otros países alrededor del mundo. Investigadores y profesionales de la salud han estado investigando los posibles efectos adversos de la fluoración, especialmente cuando los niveles de flúor en el agua superan los límites recomendados. Esta investigación tiene como objetivo verificar la compatibilidad de los niveles de flúor en las aguas de abastecimiento subterráneas naturales en el Sistema Acuífero Serra Geral (SASG) y en las aguas superficiales (tratadas) por la empresa

SANEPAR, en el Municipio de Cornélio Procópio, PR. Los datos utilizados fueron obtenidos de la Compañía de Saneamiento de Paraná (SANEPAR) y del Instituto Agua y Tierra de Paraná (IAT). Para realizar las tabulaciones y representaciones cartográficas del área, se aplicó, como se recomienda, un intervalo de concentración de flúor en el agua entre 0,6 a 0,8 mg/L, siguiendo la recomendación médica y la regulación de las ordenanzas Portaria n.º 635/Bsb/GM/MS N° 888/2021. Como resultados de la investigación, la mayoría de las aguas superficiales tratadas presentaron índices de fluoración por encima de los recomendados, lo que indica posibles problemas de fluorosis. En las aguas subterráneas, se observó un déficit de flúor, lo que indica una ineficacia en la lucha contra la caries dental.

Palabras clave: Abastecimiento. Agua. Flúor. Salud bucal.

INTRODUÇÃO

O flúor é um elemento químico pertencente à família dos halogênicos não metais na forma molecular F₂ e de acordo com Marimon (2006), foi descoberto, em 1886, pelo cientista francês Henri Moisson, a partir de uma eletrólise. Este elemento está entre os mais abundantes da crosta terrestre ocupando o 13º lugar, e pode ser encontrado no meio ambiente (solo, ar, águas).

Segundo Murray (1986), a presença deste elemento em nosso cotidiano é proveniente das poeiras ascendidas dos solos, poluições de indústrias, naturalmente nas nossas águas por meio do intemperismo sofrido pelas rochas na relação rocha/água e de maneira artificial através da fluoretação da água.

Estudos de Frazão, Peres e Cury (2011), apontam que o flúor se mostrou eficiente no combate a doenças como a cárie dental, reduzindo as incidências de casos da doença pela razão de se realizar o processo de adição de íons de fluoreto nas águas de abastecimento como apontam (Frazão; Peres; Cury, 2011).

Muitos países adotaram essa medida de fluoretação das águas de abastecimento como forma de complementação no combate à problemática da cárie. No Brasil esse procedimento ocorre desde os anos 70, tendo respaldo da comunidade científica e autoridades regulatórias.

Em contrapartida a essa benesse do flúor, a exposição a teores não recomendáveis do mesmo pode levar a um quadro bem preocupante de saúde coletiva, causando patologias como fluorose dental e, em último caso mais grave, a fluorose óssea como apontam (Pinese *et al.*, 2002, 2021; Pires, 2008).

Visto que as condições das águas de abastecimento são importantes para as condições de saúde pública, objetiva-se neste trabalho verificar a compatibilidade dos teores de flúor nas águas de abastecimento do Município de Cornélio Procópio, Paraná, com as recomendações aceitas para os mesmos.

Um dos objetivos desta análise é identificar áreas cujos teores de contaminantes violem as recomendações de saúde e a legislação vigente, permitindo, a partir dos resultados obtidos, subsidiar o poder público no planejamento de ações corretivas voltadas à saúde coletiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, inicialmente realizou-se um levantamento bibliográfico abordando temas como flúor, saúde pública, sistemas de abastecimento e águas superficiais e subterráneas.

Posteriormente, foram coletados os dados necessários junto aos órgãos governamentais para dar continuidade ao trabalho. Para as águas subterráneas, foram utilizadas 20 amostras de dados de

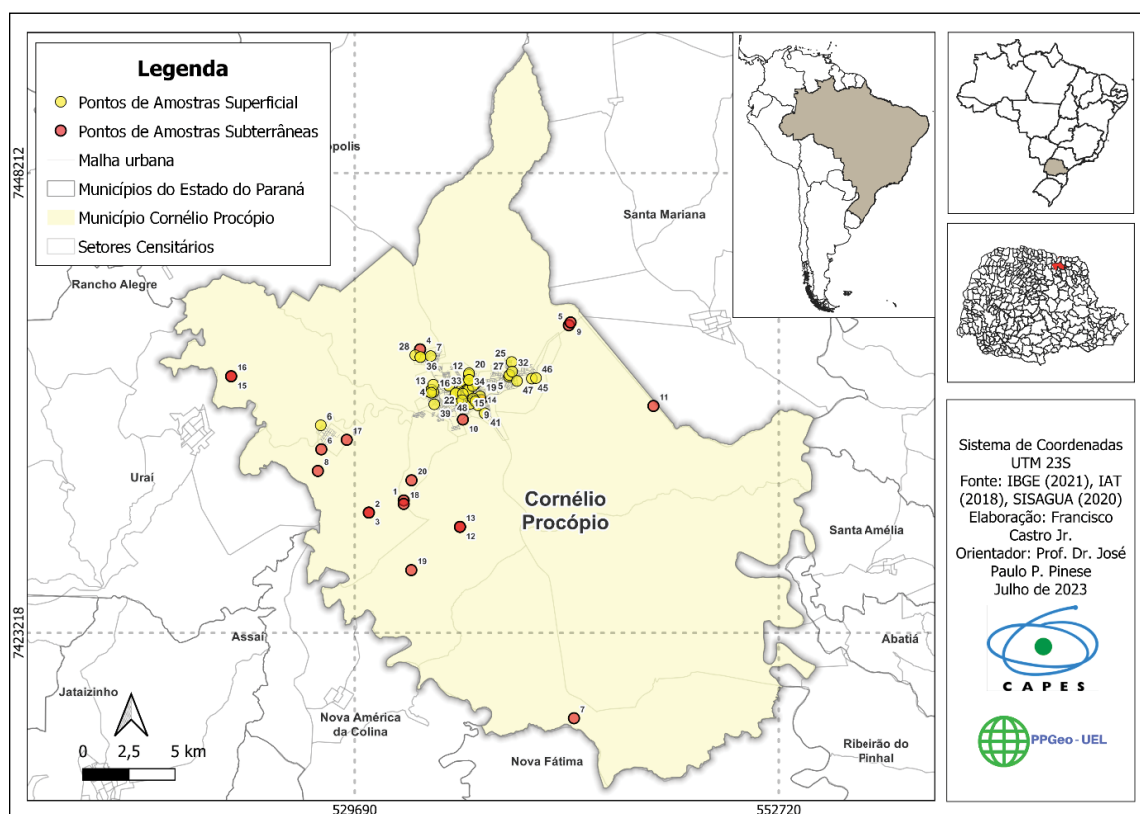
poços de abastecimento do Município de Cornélio Procópio, fornecidas pelo IAT - Instituto Água e Terra do Estado do Paraná. Esses dados, referentes aos anos de 2010 a 2020, foram considerados como dados secundários, disponíveis ao público para verificação e utilização.

Já para as águas superficiais, foram utilizados dados de 50 amostras de águas tratadas provenientes de cavaletes e torneiras que se localizam junto aos locais de consumo. Esses dados foram obtidos através do SISÁGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, referentes ao período de 2010 a 2020. Assim como os dados de águas subterrâneas, esses dados foram reconhecidos como dados secundários, coletados por outros órgãos e disponíveis para diversos usos. Os dados de águas superficiais estão disponíveis em: <https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>.

Após a coleta de dados, procedeu-se à tabulação dos mesmos utilizando o software Excel, a fim de prepará-los para as interpolações. Esse processo de tabulação foi realizado para organizar os dados de águas subterrâneas e superficiais, viabilizando a posterior espacialização dos teores de flúor.

Para a espacialização e representação cartográfica dos dados, foram empregados Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software QGIS. A utilização de SIGs para a representação de áreas cartograficamente trabalhadas é amplamente reconhecida pela facilidade de compreensão e detalhamento dos mapas confeccionados, conforme apontado por Santos *et al.* (2010).

A representação cartográfica dos dados das águas subterrâneas e superficiais incluiu informações como código de captação, latitude, longitude e o parâmetro de flúor, conforme exemplificado na Figura 1. Essa representação permitiu visualizar geograficamente os teores de flúor nas diferentes fontes de abastecimento de água do município.



Após a coleta de dados realizou-se a espacialização dos pontos pelo sistema de georreferenciamento utilizando o *software* livre QGIS 2.2.3; através dessa ferramenta foi obtida a sumarização dos dados de teores de flúor das águas subterrâneas e superficiais, utilizando o método de ponderação por pontos proporcionais.

ÁREA DE ESTUDO

Com relação à área de estudo, é importante destacar que o município de Cornélio Procópio está localizado na região geológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). A área urbana faz parte da Formação Paranapanema, segundo o Atlas Geológico do Paraná (Mineropar, 2001). Caracterizada por rochas ígneas, principalmente basalto, intercaladas com arenito, formadas durante o período Mesozoico, entre 135 milhões de anos atrás, conforme apontado por Pinese (2002) e Scortegagna (2005).

Fraga (1986) menciona que a formação das rochas do SASG ocorreu devido a intensos derrames magmáticos ocorridos há aproximadamente 135 milhões de anos corroborando aos autores acima citados. O SASG é subdividido em dois grupos, Serra Geral Sul e Serra Geral Centro-Norte, e a área de estudo está localizada no Serra Geral Centro-Norte, na formação Paranapanema, como destacado por Licht e Arioli (2018).

De acordo com o censo de 2022, a população de Cornélio Procópio seria de 45.206 mil habitantes, com uma densidade demográfica de 71,18 habitantes por metro quadrado, em uma área total de 635,100 km². O Produto Interno Bruto (PIB) per capita do município é de R\$ 36.570,29 (IBGE, 2022).

Quanto ao clima, Cornélio Procópio apresenta características de clima quente e temperado, com pluviosidade significativa ao longo do ano. Mesmo nos meses mais secos, ainda é observado um alto nível de pluviosidade, podendo chegar a 30 mm mensais. Seguindo a classificação climática de Köppen e Geiger, a área de estudo apresenta o tipo climático Cfa, caracterizado como clima tropical, com altas temperaturas no verão e uma temperatura média de 22°C.

Dados do serviço de Abastecimento de água Municipal

Os indicadores declarados pelo prestador de serviço de abastecimento e tratamento da água no município (Sanepar), ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2020, mostram valores de distribuição e consumo médio de água diário da população de Cornélio Procópio, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de Abastecimento do Município de Cornélio Procópio.

Indicadores de abastecimento	Resultados
Consumo médio de água por habitante	146,00L/ (hab. dia)
Índice médio de perdas	33,47%
Custo do serviço de abastecimento de água	R\$ 7,01/m ³
Tarifa média de água	R\$ 5,91/m ³
Domicílios com canalização interna em pelo menos um cômodo	97,83%
Domicílios com canalização interna somente no terreno	0,23%
Domicílios sem canalização interna	0,13%

Fonte: SNIRH/ANA (2020). Adaptado pelos autores.

Por meio da tabela é possível observar o consumo médio de água dos habitantes por dia, se apresenta em média de 146 litros, sendo essa água tratada, com a fluoretação na sua composição apontando um consumo de água fluoretada por cada habitante/dia.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Caracterização do flúor

O flúor é um elemento químico gasoso muito abundante na crosta terrestre, pertencente à família dos halogênicos não metais, na forma molecular F. De acordo com Marimon (2006), quando está presente em soluções, incide na formação de íons de fluoreto. Este elemento também possui a maior eletronegatividade química entre os elementos da tabela periódica, com um índice de 3,98, conforme a escala de Pauling. O flúor é o décimo terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre e está presente em materiais geológicos e corpos hídricos (Murray, 1986).

A presença do flúor em nosso ambiente, como solo, ar e águas, é resultado de diversas fontes, como poluições industriais, poeiras ascendidas dos solos e interações naturais das águas com as rochas. Naturalmente, as águas também contêm flúor devido às suas interações com as rochas, além da fluoretação antrópica, que é a adição de flúor às águas de abastecimento como medida de saúde pública.

A concentração de flúor nas águas naturais está relacionada à interação da água com as rochas durante os processos de intemperismo, conforme apontado por Marimon (2006). Esses processos podem levar a uma variedade de concentrações de flúor na água, sendo essa a principal fonte de exposição humana ao flúor.

Os minerais de maior solubilidade disponibilizam maior quantidade de fluoreto para as soluções percolantes; como a solubilidade é, em geral baixa, o fluoreto migra lentamente em solução e neste caminho pode ficar retido temporariamente nos argilominerais. Por esta razão, as águas superficiais mostram baixas concentrações de fluoreto e o transporte dos continentes aos oceanos é mais eficiente através de partículas em suspensão nos rios do que em solução. A concentração de fluoreto nas águas naturais resulta do equilíbrio entre água e os minerais das rochas, da capacidade destes minerais em liberar flúor para a solução, ou, ao contrário, de sorver este elemento da solução (Marimon, 2006, p. 42).

Dessa forma é importante destacar as condições ambientais de cada água, uma vez que as águas subterrâneas e superficiais possuem aspectos de temperatura, pressão atmosférica, pH, salinidade, granulometria, capacidade de troca iônica, que podem interferir nos teores de flúor, além da ação antrópica, trazendo variabilidade nos valores de teores dos íons de fluoreto nos ambientes aquáticos, como aponta a Tabela 2.

Tabela 2. Concentração de Flúor nas Águas naturais.

Meio	Concentração (mg/L)
Águas Superficiais	0,1 – 0,4
Águas Subterrâneas	0,1 – 3,0
Águas Marinhas	0,3 – 1,3

Fonte: Modificado de Marion (2006).

As concentrações de flúor nas águas estão relacionadas principalmente pela presença do mineral fluorita, que tem função de controlar a ação geoquímica do íon de fluoreto; a solubilidade da fluorita limita as concentrações de F no meio aquático.

FLÚOR E A SAÚDE HUMANA

A relação entre flúor e saúde se observa principalmente no consumo desse elemento químico pela sociedade. A presença de produtos que contém o flúor é cada vez mais frequente, observadas no uso de produtos dentifrícios (creme dentais, enxaguantes bucais entre outros).

A população brasileira consome uma grande quantidade de flúor proveniente principalmente do consumo de água e também de refrigerantes, elevando o índice de consumo de flúor no Brasil, estando entre os maiores consumidores de produtos com flúor do mundo como apontam Cury *et al.* (2004) e Buisch (2000), com um crescimento de quase 40% no consumo de produtos fluoretados (Tabela 3).

Tabela 3. Percentual estimado de flúor ingerido pelo homem em diferentes tipos de alimentos.

Alimentos	Percentual de flúor absorvido
Água e refrigerantes	75%
Grãos e cereais	7%
Peixes, carnes e aves	6%
Outros	12%

Fonte: Buischi (2000) de Singer *et al.* (1993). Adaptado pelos autores.

A ingestão de flúor pelo ser humano está principalmente relacionada ao consumo de água, seja diretamente ou em produtos que a contenham, podendo ter tanto impactos benéficos quanto malefícios para a saúde.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o flúor é considerado benéfico à saúde quando consumido em quantidades recomendadas por especialistas em saúde. Estudos realizados por Cury (1992) e Pires *et al.* (2002) indicam que o flúor, quando utilizado em teores controlados, pode conferir resistência a doenças como a cárie dentária.

É importante destacar que a exposição ao flúor é complexa, especialmente em relação à absorção pelo organismo. O comportamento do flúor no corpo humano varia de acordo com as faixas etárias, com uma maior retenção desse elemento em crianças, podendo chegar a uma absorção de até 90% desse componente.

É relevante ressaltar que o flúor pode ser transferido para o leite materno em níveis semelhantes aos encontrados no sangue e pode atravessar a placenta, expondo o feto. Mesmo após a cessação da exposição, o flúor pode permanecer mobilizado no sistema ósseo (Fawell *et al.*, 2006).

Quanto aos benefícios do flúor, estudos em saúde bucal (Pires, 2008; Alievi, 2012; Nascimento, 2015; Ross, 2015; Pinese *et al.*, 2021) demonstraram que o íon fluoreto é eficaz na prevenção da cárie dentária, uma doença que afeta grande parte da população, sendo utilizado na água de consumo como política pública de combate a esse problema.

Por outro lado, a exposição a níveis excessivos de flúor pode causar patologias crônicas e agudas à saúde humana. A ingestão de uma dose única de flúor em níveis de 5 mg por quilo pode levar a sintomas de intoxicação aguda, que variam desde náuseas até óbito.

No Brasil, a regulamentação sobre o consumo de flúor em águas fluoretadas é estabelecida pela Portaria GM/MS Nº 888/2021, que define o teor máximo de íon fluoreto em 1,5 mg/L, conforme recomendações da OMS, visando prevenir doenças relacionadas a altas concentrações de flúor, como indicado por Cortecci (2014) na Tabela 4.

Tabela 4. Impactos do flúor sobre a saúde humana.

Quantidade em mg/L	Impactos na saúde humana
0,00	Limitação do crescimento
0,00 – 0,5	Cárie dental
0,5 – 1,5	Impede o enfraquecimento dos dentes, auxiliando na saúde bucal
1,5 – 4,0	Fluorose dental
4,0 – 10,0	Fluorose dental grave e fluorose esquelética
Maior que 10,0	Fluorose deformante

Fonte: Cortecci (2014).

Efeitos agudos do Flúor à Saúde Humana

A intoxicação aguda por flúor na água pode ocorrer com a ingestão de quantidades que variam entre 30 a 1000 mg/L, podendo ser letal em certas circunstâncias. Estima-se que uma criança pode ser levada a óbito com a ingestão de 5 mg por kg de peso corporal em uma dose única (Dhar; Bhatnagar, 2009).

As crianças correm maior risco de ingerir doses elevadas de flúor através de cremes dentais com sabor, pois, devido aos sabores, elas tendem a ingerir o creme em vez de cuspi-lo durante o processo de higiene oral, além de utilizá-lo em quantidades maiores durante a escovação dos dentes.

É importante ressaltar que a intoxicação aguda depende da ingestão rápida de flúor. A exposição excessiva ao flúor pode resultar em reações adversas, incluindo problemas neurológicos como espasmos musculares, hiporreflexia, convulsões, fraqueza e cefaleia. Outras condições que podem surgir incluem pele seca, dores abdominais, arritmias, sede e tremores. Devido à alta toxicidade do flúor, os sintomas se manifestam rapidamente no organismo. Medidas imediatas, como indução ao vômito e administração de cálcio para alcalinizar a urina e acelerar a eliminação do flúor, devem ser tomadas nas primeiras horas para lidar com uma possível intoxicação aguda por flúor (Dhar; Bhatnagar, 2009).

A fluorose dental é uma condição caracterizada pela hipomineralização do esmalte dos dentes permanentes, afetando principalmente os pré-molares e incisivos superiores. Essa condição resulta de exposição excessiva ao flúor durante a formação dos dentes permanentes, conhecida como odontogênese, e pode causar danos irreversíveis (Benazzi *et al.*, 2012).

A severidade da fluorose dental está relacionada aos níveis de exposição ao flúor e ao estágio de formação dos dentes no momento da exposição ao elemento. Recomenda-se a utilização do índice de Dean, uma classificação desenvolvida em 1936, que avalia a severidade da fluorose com base nas características clínicas dos dentes. Essa classificação é amplamente utilizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e outras autoridades de saúde para crianças de 12 anos, como demonstrado na Figura 2 e na Tabela 5.



Fonte: Odontoline (2013).

Figura 2. Processo de fluorose dental em seus respectivos estágios.

Tabela 5. Classificação de grau de fluorose pelo índice de Dean.

Severidade	Grau	Crítérios do esmalte dental
Normal	0	Superfície de esmalte lisa e brilhante, de coloração branco/creme.
Discutível	1	Alterações na translucidez do esmalte, com pontos brancos pequenos ou manchas dispersas.
Muito leve	2	Opacidades pequenas, brancas como papel, irregulares e disseminadas, afetando menos de 25% da face vestibular do dente.
Leve	3	Opacidades afetando entre de 25% e 50% da face vestibular do dente.
Moderada	4	Esmalte mostrando um desgaste marcado, com erosão importante, podendo apresentar manchas escuras (cor marrom) salpicadas.
grave	5	Esmalte muito afetado e desgastado, apresentando hipoplasia de esmalte, corrosão extensas, manchas escuras é possível alteração da morfologia do dente

Fonte: Modificado de Dissanayake e Chandrajith, (2009).

Fluorose óssea

Outra complicação importante da exposição aos altos teores de flúor, é a fluorose óssea, que tem como principal ação a deformidade das estruturas ósseas, observada como osteosclerose através do processo de calcificação dos ligamentos acompanhadas de osteoporoses, causando uma debilidade no indivíduo tornando sua mobilidade mais difícil e enfraquecendo os seus ossos (Dissanayake; Chandrajith, 2009).

A fluorose esquelética, tem uma certa complexidade para ser diagnosticada, por se confundir com muitas outras enfermidades como a artrite; essa doença traz muito desconforto e dor para o paciente, principalmente pelo fato de se tratar de uma patologia degenerativa, e compromete a qualidade óssea tornando fraturas mais recorrentes.

Fluoretação e Vigilância da qualidade da água de abastecimento do Paraná

A partir da década de 80, houve um significativo apoio financeiro do Governo Federal para intensificar a fluoretação das águas de abastecimento no Brasil. Após as eleições diretas nesse período, houve uma reformulação nos setores de saúde bucal, especialmente no estado do Paraná, com a ascensão de novos gestores que implementaram diretrizes relacionadas à odontologia e saúde bucal pública (Narval, 2000).

Políticas públicas foram desenvolvidas, incluindo a implementação do flúor nas águas de abastecimento, a interiorização de redes de clínicas e centros odontológicos nas regiões mais distantes dos grandes centros urbanos e práticas de bochechos com flúor diluído em água nas redes de educação, tanto urbana quanto rural. Além disso, houve a instalação de redes de atendimento odontológico nas escolas, proporcionando atendimento não apenas para os alunos, mas também para a comunidade local (Amarante, 2008).

No estado do Paraná, a fluoretação é realizada pela Coordenação de Saúde Bucal, em parceria com as prefeituras municipais, a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e a Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Houve um aumento expressivo na cobertura da população atendida pela fluoretação das águas de abastecimento, passando de cerca de 47% em 1982 para 97,89% da população urbana em 2007, abrangendo aproximadamente 80,94% de toda a população do estado (Amarante, 2008).

Apesar da cobertura extensa, ainda existem municípios no Paraná que não aplicam a fluoretação em suas águas, seja por falta de infraestrutura técnica ou de abastecimento público. Além disso, os municípios com menos de 3 mil habitantes muitas vezes dependem de poços individuais e coletivos, cujos teores de flúor também precisam ser analisados para garantir a qualidade da água consumida pela população (Paraná, 2010).

Para monitorar a qualidade da água consumida pela população, a Secretaria de Estado da Saúde (SESA) criou o Comitê Técnico para Fluoretação, conforme a Resolução SESA n.º 415/2013. Esse comitê é responsável por verificar os teores de flúor presentes nas águas de abastecimento, garantindo a conformidade com os padrões estabelecidos para a fluoretação (Paraná, 2010).

As metodologias e diretrizes para a fluoretação das águas de abastecimento são estabelecidas por meio de portarias, como a Portaria n.º 635/BSB e a Portaria GM/MS N.º 888. Essas normativas destacam a importância da fiscalização e controle rotineiro da qualidade da água, além da necessidade de considerar as condições de temperatura da região para determinar os níveis de concentração de íons de fluoreto a serem adicionados à água (Paraná, 2010), e apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Relação entre a média das temperaturas do ar e a concentração de íon fluoreto na água.

Média das temp. máx. diárias do ar (°C)	Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto (mg / L)		
	Min.	Max.	Ótimo.
10,0 – 12,1	0,9	1,7	1,2
12,2 – 14,6	0,8	1,5	1,1
14,7 – 17,7	0,8	1,3	1,0
17,8 – 21,4	0,7	1,3	1,0
21,5 – 26,3	0,7	1,0	0,8
26,4 – 32,5	0,6	0,8	0,6

Fonte: Brasil (1975), adaptado pelos autores.

A recomendação da OMS e da OPAS para a concentração máxima de flúor nas águas de abastecimento, de 1,5 mg/L, destaca a importância de controlar os riscos associados ao consumo de flúor em níveis não desejáveis. Estudos científicos, como os de Pinese *et al.* (2017, 2021), sugerem que as concentrações ideais de íon fluoreto no abastecimento deve estar entre 0,6 mg/L e 0,8 mg/L, visando combater a cárie dental e prevenir a fluorose dentária.

Nesse contexto, a vigilância da qualidade da água desempenha um papel crucial na prevenção de doenças, como a cárie dental e as fluoroses. A Vigilância Sanitária, em colaboração com os prestadores de serviços de abastecimento de água, é responsável por garantir o controle e a qualidade das águas de consumo. Para o controle das concentrações de flúor, o poder público conta com mecanismos como o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água (Vigiagua), conforme destacado por Frazão *et al.* (2018).

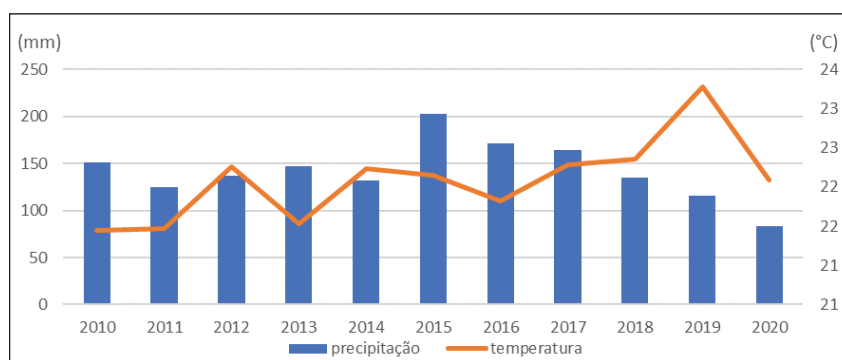
Além disso, é fundamental destacar o papel da rede Vigifluor (Vigilância do Flúor), implementada pelo Ministério da Saúde (MS). Esse programa nacional trabalha em colaboração com as secretarias de saúde dos estados e municípios, com o objetivo de monitorar a adição de flúor nas águas, inserir periodicamente os resultados das análises de teor de flúor na água da rede de distribuição, monitorar a qualidade dos dados inseridos no Sisagua, regulamentar e normatizar por meio de decretos, portarias e resoluções, além de capacitar, supervisionar e orientar os municípios e as regionais estaduais de saúde nas ações de fiscalização junto aos sistemas de abastecimento de água e no uso dos sistemas de informações (Vigifluor, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as normas e padrões estabelecidos pela Portaria n.º 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975, e literatura de saúde bucal, é fundamental adotar parâmetros não apenas da legislação vigente, mas também dos estudos geológicos e climáticos da área de aplicação, conforme orientado pela Portaria n.º 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975 e Portaria GM/MS Nº 888/2021.

Com base nessas diretrizes, foram estabelecidos parâmetros no intervalo de 0,6 mg/L a 0,8 mg/L como valor recomendável (VR) para efetividade na saúde e consumo, conforme Pinese *et al.* (2021), e 1,5 mg/L como valor máximo (VM) para os teores de flúor no município estudado.

É importante ressaltar que as condições climáticas desempenham um papel fundamental na determinação dos parâmetros de flúor contidos nas águas. De acordo com a classificação climática de Köppen, que é muito útil para descrever os diferentes comportamentos relacionados à temperatura, pressão e precipitação, o clima da área é considerado como Cfa - Clima subtropical úmido (mesotérmico). Esse tipo de clima se caracteriza por temperaturas em seu mês mais quente acima de 22°C e nos meses mais frios tendo temperaturas entre 20°C, com precipitações bem distribuídas ao longo do ano, conforme apresentado na Figura 3.

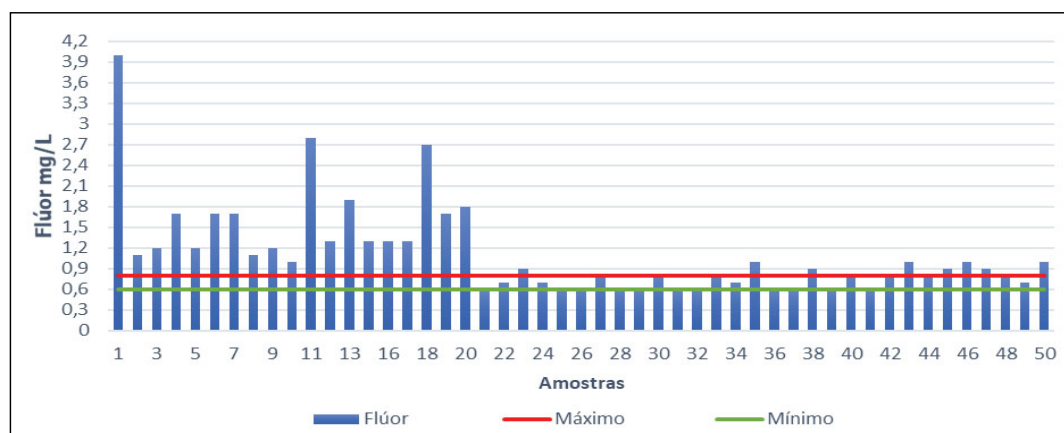


Fonte: INMET e IAPAR. Organizado pelos autores.

Figura 3. Climograma da área de estudo.

Flúor nas águas superficiais

Para obter os resultados preliminares relacionados às concentrações de flúor nas águas da área de estudo, foi utilizada a recomendação da legislação pela Portaria n.º 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975, e pela Portaria GM/MS N.º 888/2021, pelos estudos relacionados à saúde, e também apontados pela OMS, observando o valor recomendável (VR) relacionado à temperatura, pautando os níveis de satisfação no intervalo de 0,6 a 0,8 mg/L. Sendo assim, foram realizadas estatísticas para chegar a alguns resultados dos níveis de teores de flúor consumidos pela população entre os anos de 2010 e 2020, como pode ser observado na Figura 4.

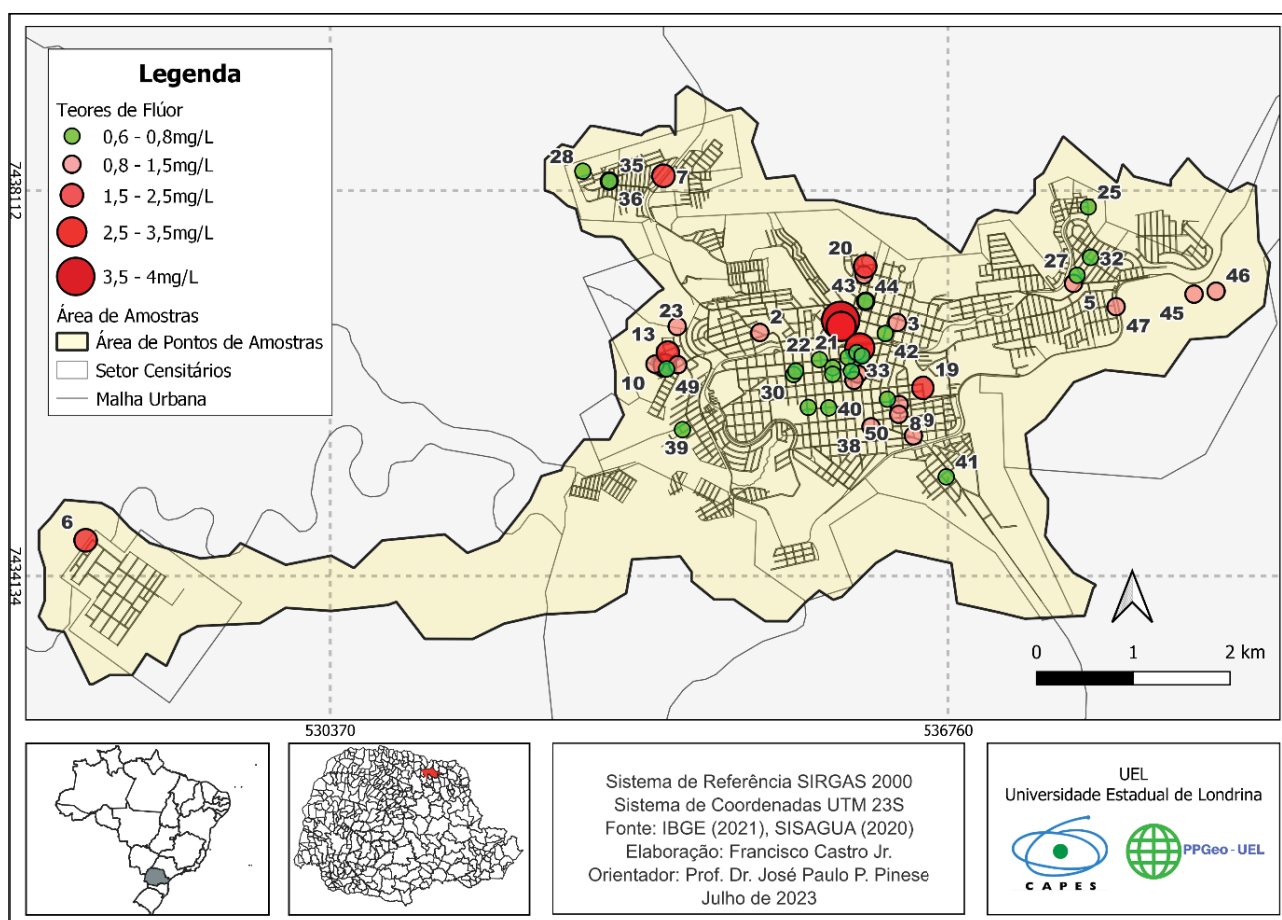


Fonte: Sisagua. Organizado pelos autores.

Figura 4. Teores de fluoreto nas amostras obtidas pelo SISAGUA, de águas superficiais tratadas, do Município de Cornélio Procópio, PR, (2010 – 2020), observando os valores recomendáveis (VR) de concentração de flúor mg/L.

Conforme a Figura 4, é possível observar pontos como P1, P11, P18, P13, P20, P4, P6 e P7, que representam os pontos de amostras com níveis muito acima do recomendado. Levando em conta que se trata de águas tratadas, é possível entender que possivelmente está ocorrendo uma inserção excessiva de íons de fluoreto no processo de fluoretação pela empresa responsável.

Para entender melhor a situação da fluoretação do município, foi realizada a espacialização das áreas de amostras, e a confecção de um mapa apontando as concentrações de flúor nas águas tratadas observadas na Figura 5, evidenciando valores $\geq 0,8$ como áreas com altos teores de flúor, representando um risco no tocante a fluorose, bem como valores abaixo de $\leq 0,6$, indicando deficiência em flúor e apontando a possibilidade de incidência de cárie dental.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5. Mapa dos valores de fluoreto (mg/L) nas águas (da área urbana) superficiais tratadas de abastecimento, do Município de Cornélio Procópio, 2010 - 2020 PR. Método de pontos proporcionais.

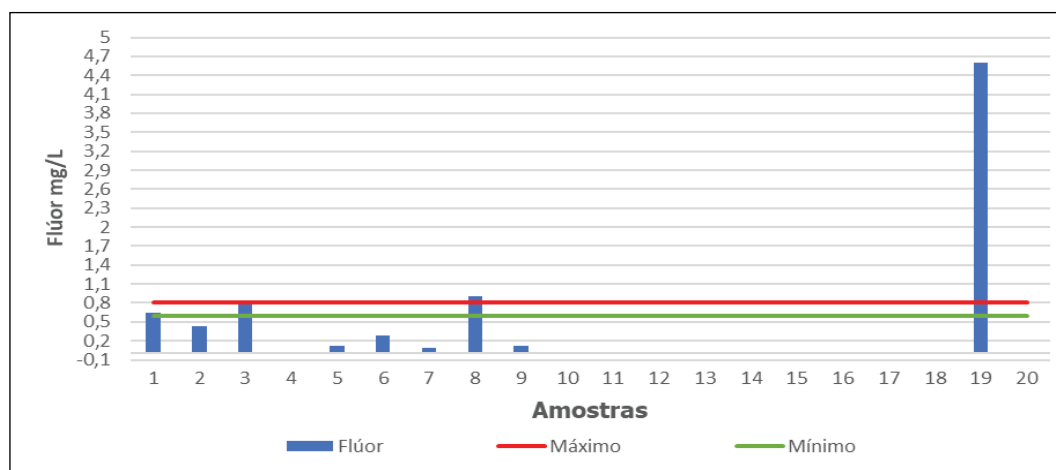
Os resultados dos teores de flúor das águas tratadas, em sua maioria (29 dos 50 pontos verificados), apresentaram valores de fluoreto acima dos recomendados, com diversos pontos excedendo o valor máximo estabelecido pela legislação, como nos pontos 4, 6, 7, 13, 19 e 20. Além disso, foram observadas anomalias em alguns pontos, como nos pontos 18, 11 e 1.

Considerando os valores recomendados entre 0,6 a 0,8 mg/L, levando em conta a temperatura da área estudada, pode-se afirmar que o consumo prolongado com esses níveis de flúor pode levar

à fluorose e outras doenças. Segundo os resultados obtidos no processamento e análise dos dados, pode-se inferir que 58% dos pontos de amostras apresentaram teores acima de 0,8 mg/L, sendo que aproximadamente 28% desses pontos apresentaram concentrações acima do que recomenda a própria portaria citada anteriormente, com relação ao total de amostras 42% apresentam teores desejáveis.

Flúor nas Águas Subterrâneas

Diante das análises realizadas, foi observado, conforme a Figura 6, o comportamento da concentração de flúor nas águas subterrâneas do Município de Cornélio Procópio. Com base nisso, foi desenvolvido um gráfico que ilustra a situação da área de estudo, considerando as orientações da Portaria nº 635/bsb, de 26 de dezembro de 1975 e da Portaria GM/MS Nº 888/2021, bem como as recomendações de saúde.



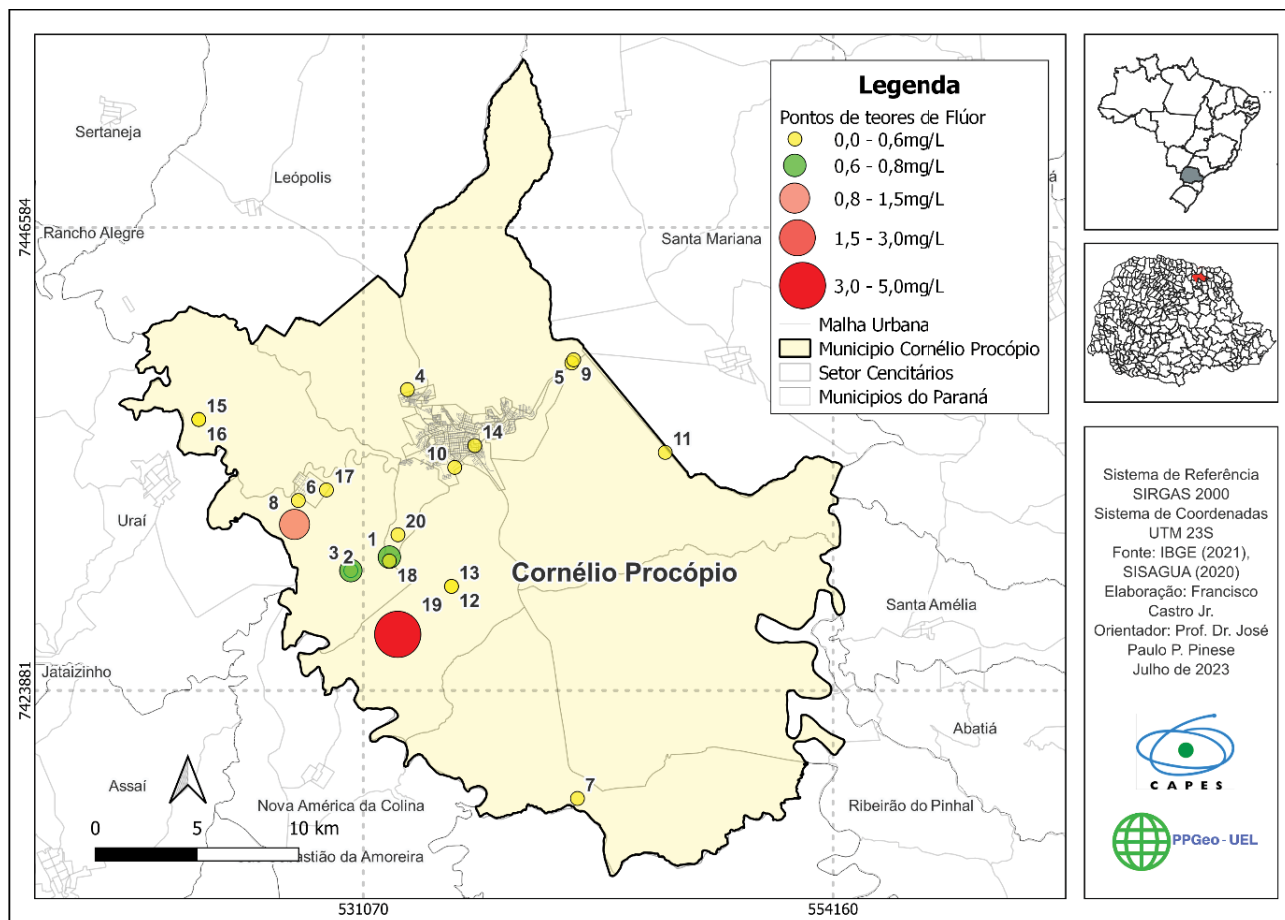
Fonte: Sisagua. Organizado pelos autores.

Figura 6. Teores de fluoreto nas amostras obtidas pelo (IAT), de águas subterrâneas brutas do Município de Cornélio Procópio, PR, (2010 – 2020), observando os valores recomendáveis (VR) de concentração de flúor mg/L.

Conforme o gráfico, pode-se observar um nível muito baixo de teores de flúor na maioria dos pontos de amostragem, abaixo do mínimo recomendado pela saúde (0,6 mg/L), indicando uma grande deficiência de flúor em 75% dos pontos.

Destaca-se um ponto de anomalia no P19, com um nível de 4,6 mg/L, consideravelmente acima do recomendado pela legislação e pelo setor de saúde. Isso sugere uma possível exposição a índices excessivos de flúor pela população que consome essa água, levantando a hipótese de uma causa potencial de fluorose óssea.

Para fornecer uma visualização mais clara das condições de consumo de flúor no município, foi realizada uma espacialização das amostras, levando em conta os valores recomendados. Além disso, a Figura 7 aponta uma representação cartográfica por pontos para mostrar as concentrações de flúor nas águas subterrâneas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7. Mapa dos valores de flúor (mg/L) nas águas subterrâneas de abastecimento (particulares) do Município de Cornélio Procópio, 2010 - 2020 PR. Segundo Portaria nº635/Bsb, de dezembro 1975, método de pontos proporcionais.

Os dados sobre a concentração de flúor nas águas subterrâneas revelam que a maioria dos poços analisados apresenta uma grande deficiência no teor de flúor, com valores abaixo de 0,6 mg/L. Isso significa que essas águas não proporcionam a quantidade adequada de flúor para prevenir a cárie dentária através do consumo.

Além disso, foram observados alguns pontos com anomalias e níveis indesejáveis, como os poços 19 e 8, que apresentam excesso de concentração de flúor em suas águas. Isso coloca os consumidores em risco de desenvolver fluorose devido ao consumo elevado de flúor pela água, ponto esse que aponta uma necessidade de novos estudos para verificar se há algum erro de determinação ou contaminação por águas profundas.

CONCLUSÃO

Portanto, a partir dos estudos citados nesse trabalho e conforme abordado neste estudo, a fluoretação das águas de abastecimento tem sido eficaz no combate à cárie dentária, refletindo resultados positivos quando seguidas as recomendações e legislações pertinentes. Em alguns casos, esse procedimento é o principal recurso para enfrentar essa doença.

No entanto, é importante ressaltar que esse mesmo procedimento pode acarretar prejuízos à saúde da população. O presente trabalho revela uma falta de padronização no processo de fluoretação das águas superficiais tratadas pela empresa Sanepar. Os valores apresentados indicam uma falta de conformidade com as diretrizes e recomendações em vários pontos de abastecimento do município, com níveis acima do máximo recomendado como é o caso dos bairros; Vila São Pedro (P01, P11), São Luiz (P19), Jardim Primavera (P04, P13), Vila Amoreira (P20), Conjunto Fortunato Sibim (P7) e Distrito de Congonhas (P06), dados esses que apontam para um possível desenvolvimento de doenças como a fluorose dental entre a população consumidora dessas águas, especialmente em períodos prolongados.

No caso das águas subterrâneas, nota-se uma deficiência de flúor na maioria dos pontos (levando em conta as recomendações para o combate à cárie dental), apesar de alguns estudos apontarem que as águas do SASG apresentam altos teores desse elemento.

Com relação a teores de fluoreto elevados nas águas subterrâneas o presente estudo verificou alguns pontos com índices muitos preocupantes como é o caso do Sítio Camila Vicentini (P08) que indica nível acima do recomendado, e Sítio próximo ao patrimônio de Jerusalem, (P19) que traz uma anomalia em seus índices dados esse que podem representar um sério risco de desenvolvimento de fluorose óssea por parte dos consumidores dessas águas. Portanto, é essencial realizar um monitoramento constante destes locais, uma vez que não há dados de acompanhamento regular, garantindo assim a eficácia do flúor na prevenção da cárie na população local.

Com relação as possíveis causas dos elevados níveis de fluoreto nas águas tratadas do município; apontam-se o modo de reservação e distribuição da água tratada. No que se refere as águas subterrâneas, os altos teores podem ter origem da própria composição das rochas do SASG.

De maneira geral, é recomendável realizar mais estudos e fiscalizações das concentrações de flúor nas águas de abastecimento do Município de Cornélio Procópio, uma vez que os resultados obtidos expressam alguns pontos com índices preocupantes para a saúde da população local. Além disso, é fundamental que as prestadoras de serviços de abastecimento de água estejam mais atentas ao processo de fluoretação, visando garantir a qualidade da água fornecida aos seus consumidores.

Nesse sentido, a fiscalização dos teores de flúor nas águas da área de estudo se mostra fundamental para obter os melhores resultados da prática de fluoretação e atender às demandas de combate a doenças relacionadas à saúde bucal, em conformidade com a legislação vigente.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, L. M. **Fluoretação das águas de abastecimento público no Estado do Paraná**. Curitiba: SESA, 2008.
- BENAZZI A.S; DA SILVA, R.P, DE MENEZES, M, AMBROSANO, G.M; PEREIRA, A.C. Dental caries and fluorosis prevalence and their relationship with socioeconomic and behavioural variables among 12-year-old schoolchildren. **Oral Health PrevDent**. 2012; 10(1):65-73.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 635 / Bsb, de 26 de dezembro de 1975**. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União, 30 jan. 1976. Seção 1.
- BRASIL. **Decreto nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975**. Regulamenta a Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos de abastecimento. Diário

Oficial [da] União, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 1975. 93

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 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, 29 p. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 23 mai. 2023

BRASIL. **Manual do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – Sisagua**: perfil empresa (prestadores de serviços de abastecimento de água) [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. – Brasília: Ministério da Saúde, 2020.

BUISCHI, Y. P. **Promoção de saúde bucal na clínica odontológica**. São Paulo: Artes Médicas: EAP-APCD, 2000.

CURY, J. A.; TENUTA, L. M. A.; RIBEIRO, C. C. C. R.; LEME, A. F. P. The importance of fluoride dentifrices to the current dental caries prevalence in Brazil. **Brazilian Dental Journal**, Ribeirão Preto, v. 15, n.3, p. 167-174, 2004.

CURY, J. A. Flúor dos 8 aos 80? In BOTINNO, M. A.; FELLER, C. (Org.). **Atualização na clínica odontológica**. São Paulo: Artes Médicas, 1992. p. 375-382

DEAN, H. T. The Investigation of physiological effects by the epidemiological method. In: MOULTON, F.R. (Org.). **Fluorine and dental health**. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science, 1942.p.23-31.

DISSANAYAKE, C. B.; CHANDRAJITH, R. **Introduction to medical geology**: focus on tropical environments. Berlin; New York: Springer, 2009.

DOS SANTOS, D. J. et al. Análise físico-química e microbiológica da água de poços superficiais, caixas d'água e do sistema de tratamento, em residências no município de Nova Xavantina-MT. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 1, n. 13, p. 31-6. 2015.

DHAR, V.; BHATNAGAR, M. Physiology and toxicity of fluoride. **Indian Journal of Dental Research**, 2009;20:350-5.

FAWELL, J.; BAILEY, K.; CHILTON, J.; DAHI, E.; FEWTRELL, L.; MAGARA, Y. World Health Organization (2006), **Fluoride in drinking-water**

FEATHERSTONE, J. D. B. Dental caries: a dynamic disease process. **Australian dental journal** 53.3 (2008): 286-291

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. 1.ed. – São Paulo: Editora Unesp, 2014.

FRAZÃO, P.; NARVAI, P. C. **Cobertura e vigilância da fluoretação da água no Brasil**: municípios com mais de 50 mil habitantes / organizadores Paulo Frazão e Paulo Capel Narvai. - São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP, 2017. 202 p.

MARIMON, M. P. C. **O flúor nas águas subterrâneas da formação Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, RS, Brasil**. 2006. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HAMILTON, I. R. Biochemical effects of fluoride on oral bacteria. **Journal of dental research**, 69 (1990): 660-7.

- JAOUDI, R. et al. Determination of Fluoride in Tap Water in Morocco using Direct Electrochemical Method. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 2012.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 635 de 26 de dezembro de 1975**. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água de sistemas públicos de abastecimento. Diário Oficial União. 30 jan. 1976. Disponível em: <https://goo.gl/LLv83S>. Acesso em: 01 mar. 2023.
- MURRAY, J. **Appropriate use of fluorides for human health**. Áustria: World Health Organization, 1986.
- NARVAI, P. C. Cárie dentária e flúor: uma relação do século XX. **Ciência & Saúde Coletiva**, 5(2):381-392, 2000.
- PANAGOULIAS, T. I., SILVA FILHO, E. V. Estudo hidrogeoquímico do flúor nas águas subterrâneas das bacias dos Rios Casseribú, Macacu e São João, Estado do Rio de Janeiro. In: SILVA, C.R., FIGUEIREDO, B.R., CAPITANI, E.M., CUNHA, F. G. (Org.). **Geologia Médica no Brasil** Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM, 2006, v. 1, p. 126-129
- PINESE, J. P. P.; GOLONO DE DEUS, A.; ALVES, J. C.; MORITA, M. C. . Análise da distribuição espacial dos teores de flúor nas bacias hidrográficas do Norte do Paraná, Brasil e riscos à saúde coletiva. In: IV International Congress on Risks, 2017, Coimbra. Abstracts IV International Congress on Risks. Coimbra: **Anais[...]** Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 2017 b. v. 1. p. 353-353.
- PINESE, J. P. P.; DE DEUS, A. G.; DA CUNHA, L. J. S.; SANTOS, W. da S.; ALVES, J. C. O CONSUMO DE FLÚOR EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E TERRITÓRIOS DE RISCO PARA A SAÚDE HUMANA NA REGIÃO NORDESTE DO PARANÁ. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 81, p. 88–105, 2021. DOI: 10.14393/RCG228155186. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55186>. Acesso em: 2 out. 2023.
- PIRES, E. O.; PINESE, J. P. P. Aspectos geológicos e geoquímicos dos fluoretos naturais da água subterrânea do município de Itambaracá - PR. In: Encontro Anual de Iniciação Científica, 11., 2002, Maringá. **Anais[...]** Maringá: EAIC, 2002.
- PECKHAM, S; NIVI, A; Water Fluoridation: A Critical Review of the Physiological Effects of Ingested Fluoride as a Public Health Intervention. **The Scientific World Journal**, vol. 2014, Article ID 293019, 10 pages, 2014. doi:10.1155/2014/293019.
- PARANÁ. Institutos das Águas do Paraná. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos: Diagnósticos das disponibilidades hídricas subterrâneas**. Cobrape: Curitiba, 2010.