



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GLAUBER STEFAN BARBOSA

**ANÁLISE DE ANOMALIAS HIDROGEOQUÍMICAS DO
ELEMENTO FLÚOR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO
TIBAGI - PR E RELAÇÕES COM A SAÚDE BUCAL**

Londrina
2022

GLAUBER STEFAN BARBOSA

**ANÁLISE DE ANOMALIAS HIDROGEOQUÍMICAS DO
ELEMENTO FLÚOR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO
TIBAGI - PR E RELAÇÕES COM A SAÚDE BUCAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do Título de doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Peccinini Pinese

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

B238a **Barbosa, Glauber Stefan.**
Análise de anomalias hidrogeoquímicas do elemento flúor na bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR e relações com a saúde bucal / Glauber Stefan Barbosa. - Londrina, 2022.
132 f.

Orientador: José Paulo Peccinini Pinese.
Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Águas subterrâneas - Tese. 2. Hidrogeoquímica - Tese. 3. Fluoretos - Tese. 4. Saúde bucal - Tese. I. Pinese, José Paulo Peccinini. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

GLAUBER STEFAN BARBOSA

**ANÁLISE DE ANOMALIAS HIDROGEOQUÍMICAS DO
ELEMENTO FLÚOR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO
TIBAGI - PR E RELAÇÕES COM A SAÚDE BUCAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do Título de doutor em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Peccinini
Pinese
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Frederico dos Santos Gradella
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR

Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha
Universidade Estadual Paulista – UNESP

Londrina, 25 de maio de 2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pela dádiva da vida e condições físicas para abrir os olhos e poder prestigiar o mistério da vida.

À Universidade Estadual de Londrina - Paraná, pela oportunidade de conhecer pessoas espetaculares que me proporcionaram grandes alegrias e com certeza contribuíram na minha formação, dentre eles os professores do curso e funcionários da instituição.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), CAPES e Fundação Araucária pelo financiamento desta pesquisa e oportunidade de poder acrescentar algo para a ciência.

De modo especial, agradecer ao Prof. Dra. José Paulo Peccinini Pinese, que além de orientar me confiou a orientação, respeitou e contribuiu para minha formação acadêmica.

Aos amigos e colegas do laboratório de geoquímica. Pessoas que com toda certeza contribuíram para meu amadurecimento como pessoa e como profissional: Vinícius Genaro, Diego Vila Guimarães, Willian Santos e aos demais colegas que por ali passaram e contribuíram de alguma forma. Aos professores do curso e funcionários da Pós-Graduação que contribuíram para minha formação.

Aos meus colegas que dividiram disciplinas e contribuíram de alguma maneira. A todos os amigos que conheci em Londrina e que contribuíram na minha morada.

Aos amigos de Três lagoas, que foram e são imprescindíveis à minha formação como pessoa, são eles: César C. Ferreira, Suzane F. de Lima, Raidan Cruz, Ericson C. S. Monteiro, André R. Pessoa, Arnaldo Y. Sakamoto, Adalto M. Braz, Frederico S. Gradella, Hermiliano F. Decco, Mauro H. S. Silva, José R. A. Mantovani entre outros que possivelmente tenha esquecido.

Ao corpo docente da Pós-graduação em Geografia, pela contribuição proporcionada.

Aos amigos e colegas da graduação e pós-graduação em geografia o qual cito de modo geral, para que não cometer o erro de esquecer alguém, vão aqui meus sinceros agradecimentos.

A Mariane Z. Sakuma, com quem nos últimos anos aprendi a viver com as semelhanças e as diferenças, pessoa que esteve sempre ao meu lado nos momentos

mais difíceis; deixo aqui minha eterna gratidão, apoiar e ajudar a ser a pessoa que hoje sou.

E por fim, mas não menos importante, agradecer a minha família Ademir A. Barbosa (pai), Anabia S. Barbosa (mãe), Glauco S. Barbosa (irmão), Nadialine B. Kido (irmã) e Huillian U. Kido (irmão), por estarem sempre comigo em todos os momentos de aflição, medo, angústia, e por sempre estarem junto a mim, em meus momentos mais felizes como este.

RESUMO

BARBOSA, Glauber Stefan. **Análise de anomalias hidrogeoquímicas do elemento flúor na bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR e relações com a saúde bucal.** 2022. 119 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

O flúor como elemento químico ocorre na natureza de forma geogenética, ou seja, naturalmente. Pode estar presente em maior ou menor quantidade, dependendo do contexto das fontes geológicas e dinâmica hídrica, através do intemperismo das rochas. A fluoretação no sistema de gestão das águas, iniciaram-se a partir da década de 1970 no Brasil, onde o principal objetivo é o combate a cárie, no entanto, o consumo de altos teores de fluoretos podem desenvolver a fluorose dentária. Análises de águas superficiais e subterrâneas na porção norte/nordeste paranaense evidenciaram anomalias geoquímicas presentes nas águas superficiais e subterrâneas, para diversos elementos químicos, dentre eles, o elemento flúor. Para este, por sua vez, foram detectados valores que conflitam com a legislação, onde estudos apresentaram concentrações até dez vezes maiores que o recomendado pelo Ministério da saúde (Portaria N° 635/BSB, de 26 de dezembro de 1975), prejudicando a saúde principalmente bucal, da população consumidora deste recurso. O presente estudo tem como objetivo, diagnosticar a situação hidrogeoquímica nas águas subterrâneas e superficiais da bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR na busca de compreender o atual cenário de risco a saúde coletiva em especial à saúde bucal e qualidade ambiental. A principal fonte de dados do presente trabalho, foi disponibilizada pela plataforma *online*, via SISAGUA, onde complementarmente foram realizadas coletas em *in loco*, objetivando ampliar a deficiência de amostras do referido banco, buscando a identificação de anomalias das águas subterrâneas da região, comparando-as à sua sazonalidade. No primeiro momento foi realizado análise de dados primários, onde foram coletados 70 pontos amostrais de água subterrânea em poços tubulares, em dois períodos (verão e inverno) distribuídos na bacia hidrográfica do baixo Tibagi, seguida de análises laboratoriais para o elemento flúor, através da técnica da Potenciometria Direta no laboratório de Química e Geoquímica da Universidade Estadual de Londrina. Com a finalidade de caracterizar a distribuição do elemento flúor. Municípios como Assai e Congonhinhas, apresentaram teores de flúor com valores muito acima do recomendado pelo Ministério da Saúde, chegando a uma concentração de 9,69 mg/L para o elemento. Com essas informações foram possíveis gerar mapas de riscos à perfuração para o elemento Flúor. No segundo momento foram analisados a distribuição e consumo de fluoretos em águas superficiais e subterrâneas disponibilizados pelo SIAGUAS, entre os anos de 2017 a 2021, totalizando 5.343 amostras de fluoretos, em 32 municípios selecionados. De posse destes dados, realizou-se estatística descritiva e técnicas de geoprocessamento para espacialização do elemento flúor, para conhecimento do comportamento e origem das anomalias geoquímicas. Do total de amostras analisadas, 49% se encontraram dentro do valor indicado pela portaria (0,6 – 0,8 mg/L), 40% das amostras acima do recomendado e 11% abaixo do recomendado, ou seja, 51% do total de amostras encontram-se fora dos valores recomendados.

Palavras-chave: águas subterrâneas; hidrogeoquímica; fluoretos; saúde bucal; qualidade ambiental.

ABSTRACT

BARBOSA, Glauber Stefan. **Analysis of hydrogeochemical anomalies of the element fluorine in the watershed of the lower Tibagi - PR, and relations with oral health.** 2022. 119 p. Thesis (Doctorate in Geography) State University of Londrina, Londrina, 2022.

Fluorine as a chemical element occurs in nature in a geo-genetic form, that is, naturally. It may be present in larger or smaller amounts, depending on the context of geological sources and water dynamics, through the weathering of rocks. Fluoridation in the water management system started in the 1970s in Brazil, where the main objective is to fight caries; however, the consumption of high levels of fluoride can develop dental fluorosis. Analyses of surface and groundwater in the northern/northeastern portion of Paraná State have shown geochemical anomalies present in surface and groundwater, for several chemical elements, among them the element fluoride. For this, in turn, values that conflict with the legislation were detected, where studies showed concentrations up to ten times higher than recommended by the Ministry of Health (Ordinance No. 635/BSB, December 26, 1975), damaging the health, especially oral health, of the population that consumes this resource. The present study aims at diagnosing the hydrogeochemical situation of underground and surface waters of the lower Tibagi river basin - PR in an attempt to understand the current risk scenario for public health, especially oral health, and environmental quality. The main source of data for this work was made available by the online platform, via SISAGUA, where complementary collections were made in loco, aiming to expand the deficiency of samples in this database, seeking the identification of anomalies in the groundwater of the region, comparing them to their seasonality. In the first moment, it was accomplished primary data analysis, where 70 sample points of underground water had been collected in tubular wells, in two periods (summer and winter) distributed in the hydrographic basin of low Tibagi, followed by laboratory analyses for the element fluorine, through the technique of Direct Potentiometry in the laboratory of Chemistry and Geochemical of the State University of Londrina. With the purpose of characterizing the distribution of the element fluorine. Municipalities such as Assai and Congonhinhas, presented fluoride contents with values much higher than those recommended by the Ministry of Health, reaching a concentration of 9.69 mg/L for the element. With this information, it was possible to generate maps of the risks of drilling for the element Fluoride. In the second moment, the distribution and consumption of fluorides in surface and groundwater made available by SIAGUAS were analyzed, between the years 2017 to 2021, totaling 5,343 fluoride samples, in 32 selected municipalities. In possession of these data, descriptive statistics and geoprocessing techniques were performed to spatialize the element fluoride, for knowledge of the behavior and origin of the geochemical anomalies. Of the total samples analyzed, 49% were within the value indicated by the ordinance (0.6 - 0.8 mg/L), 40% of the samples were above recommended, and 11% were below recommended, that is, 51% of the total samples were outside the recommended values.

Keywords: groundwater; hydrogeochemistry; fluoride; oral health; environmental quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Tibagi - PR	40
Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do paraná.	44
Figura 3 – Mapa geológico da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do Paraná.....	51
Figura 4 – Mapa hidro-geológico e unidades aquíferas da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do paraná.....	55
Figura 5 – Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do paraná.	57
Figura 6 – Transição entre o segundo e terceiro planalto, pr.	58
Figura 7 – Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do paraná.	59
Figura 8 – Climogramas: série histórica de precipitação e temperatura por estação/município inseridos na bhbt.	61
Figura 9 – Mapa pedológico da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do paraná.	63
Figura 10 – Procedimentos laboratoriais da potenciometria direta no quantitativo da concentração de flúor na água.....	67
Figura 11 – Equipamento multiparâmetros horiba-u50.....	67
Figura 12 – Mapa de calor correlação linear de pearson: inverno (2019)	71
Figura 13 – Mapa de calor correlação linear de pearson: verão (2021)	72
Figura 14 – Espacialização da concentração de fluoretos em (mg/l) nos municípios da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do estado do paraná. Portaria nº 635/ bsb (brasil,1975) adaptado por (pinese et al., 2021): inverno, 2019.	74
Figura 15 – Gráfico percentual dos parâmetros dentro dos limites de potabilidade: inverno, 2019	76
Figura 16 – Gráfico percentual dos parâmetros dentro dos limites de potabilidade: verão 2021	77
Figura 17 – Espacialização da concentração de fluoretos em (mg/l) nos municípios da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, no norte do	

estado do paraná. Portaria n 635/ bsb (brasil,1974) adaptado por (pinese et al., 2021): verão, 2021.....	78
Figura 18 – Interface rstudio, saída para o teste do sinal.....	79
Figura 19 – Mapa de distribuio espacial de concentrao de flúor (mg/L) nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do baixo Tibagi- PR	80
Figura 20 – Mapa de distribuio espacial de concentrao de flúor (mg/l) do sistema aquífero serra geral (sasg) da bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR.....	82
Figura 21 – Mapa com buffers com diferentes raios (m) de extensão no entorno de estruturas geológicas do tipo lineamentos e fraturas do sistema aquífero serra geral (sasg) da bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR.....	83
Figura 22 – Distribuio estatística para valores médios do elemento flúor.....	84
Figura 23 – Mapa ndice de risco de perfurao para flúor mg/L	86
Figura 24 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2017	97
Figura 25 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2018.....	98
Figura 26 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2019.....	100
Figura 27 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2020.....	101
Figura 28 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2021.....	103
Figura 29 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2017 a 2021	104
Figura 30 – Concentrao médias do elemento flúor para concentraes 0,0 – 0,59 mg/l: 2017 a 2021.....	106
Figura 31 – Concentrao médias do elemento flúor para concentraes 0,6 – 0,8 mg/l: 2017 a 2021.....	108
Figura 32 – Concentrao médias do elemento flúor para concentraes => 0,81 mg/l: 2017 a 2021.....	110
Figura 33 – Média totais da concentrao do elemento flúor para os anos de 2017-2021	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto em função da temperatura média diária.....	39
Tabela 2 – Distribuição da quantidade de amostras por unidades aquíferas.....	80
Tabela 3 – Delineamentos dos distanciamentos das estruturas geológicas e correlação com as concentrações de flúor (mg/L)	83
Tabela 4 – Índice de risco de perfuração para flúor (IRPF)	84
Tabela 5 – Valores e pesos para o Índice de Risco de Perfuração.....	85
Tabela 6 – Quantidade percentual de habitantes por faixa etária para os municípios da bacia hidrográfica do Baixo Tibagi	92
Tabela 7 – Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2017.	95
Tabela 8 – Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2018.	96
Tabela 9 – Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2019.	98
Tabela 10 – Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2020.	99
Tabela 11 – Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2021.	101
Tabela 12 – Quantificação de amostras por ano para concentração do elemento flúor 2017-2021	102
Tabela 13 – Concentrações médias de flúor 0 – 0,59 mg/l para os anos de 2017 a 2021	104
Tabela 14 – Concentrações médias de flúor 0,6 – 0,8 mg/l para os anos de 2017 a 2021	106
Tabela 15 – Concentrações médias de flúor \geq 0,81 mg/l para os anos de 2017 a 2021	108

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
BHBT	Bacia hidrográfica do baixo Tibagi
BHT	Bacia hidrográfica do Tibagi
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DGEO	Departamento de Geografia
DATASUS	Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil.
IAT	Instituto Água e Terra do Paraná
IDW	Inverse Distance Weighted - Inverso do Quadrado da Distância
IBGE	Instituto Nacional de Geografia e Estatística
ITCG	Instituto de Terras Cartografia e Geologia do Paraná
mg/L	Miligramas por litro
MS	Ministério da Saúde
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
S/D	Sem dados
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
VIGIAGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
UTM	Sistema Universal Transverso de Mercator
VMP	Valor máximo permitido
VMR	Valor Máximo Recomendável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	HIPÓTESE	20
1.2	APRESENTAÇÃO	20
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	22
3.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ABORDAGENS METODOLÓGICAS EM ESTUDOS GEOGRÁFICOS	22
3.2	RESGATE DO CONTEXTO HISTÓRICO-FILOSÓFICO DA EVOLUÇÃO DA GEOGRAFIA NEOPOSITIVISTA	22
3.3	ESTUDOS SISTEMÁTICOS EM UNIDADES GEOGRÁFICAS	27
3.4	BACIA HIDROGRÁFICA	28
3.5	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	29
3.6	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	30
3.7	CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS E SEUS REFLEXOS NA SAÚDE PÚBLICA	31
3.8	GEOGRAFIA DA SAÚDE	33
3.9	GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS DA SAÚDE	34
3.10	GEOLOGIA MÉDICA	35
3.11	FLÚOR GEOGENÉTICO E TECNOGENÉTICO	36
3.12	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI (BHT)	39
	ESTUDO I - DIAGNÓSTICO FISIOGRÁFICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIBAGI - PR	43
4	APRESENTAÇÃO	43
5	MATERIAL E MÉTODOS	44
5.1	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS FISIOGRÁFICOS	45
5.2	PROCESSAMENTO DIGITAL	46
5.3	DIAGNÓSTICO FISIOGRÁFICO AMBIENTAL	46
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

6.1	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	47
6.2	HIDROGEOLOGIA E UNIDADES AQUÍFERAS.....	52
6.3	SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL – SASG	53
6.4	AQUÍFERO GUARANI	53
6.5	CAIUÁ	54
6.6	UNIDADE AQUÍFERA PALEOZÓICA MÉDIA SUPERIOR - UAPMS	55
6.7	UNIDADE AQUÍFERA PALEOZÓICA SUPERIOR - UAPS.....	56
6.8	GEOMORFOLOGIA	56
6.9	ALTIMETRIA DA BHBT	59
6.10	CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....	60
6.11	CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA	62
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63

ESTUDO II - DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO DE FLUORETOS POR MEIO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIBAGI - PR ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021

		89
8	APRESENTAÇÃO.....	89
9	MATERIAL E MÉTODOS.....	91
10	RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
10.1	RELAÇÃO RISCOS E VULNERABILIDADES SOCIAIS POR FAIXA ETÁRIA.....	93
10.1	COBERTURA DAS AMOSTRAS DE FLUORETOS PELO SISAGUA – 2017 A 2021.....	95
10.2	ESPACIALIZAÇÃO DO CONSUMO DE FLUORETOS: DADOS SISAGUA 2017 A 2021.....	104
10.3	ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DO ELEMENTO FLÚOR 0 – 0,59 MG/L PARA OS ANOS DE 2017 A 2021.....	105
10.4	ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DO ELEMENTO FLÚOR 0,6 – 0,8 MG/L PARA OS ANOS DE 2017 A 2021.....	106
10.5	ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DO ELEMENTO FLÚOR => 8,1 MG/L PARA OS ANOS DE 2017 A 2021.	108
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112

	ESTUDO III - OCORRÊNCIAS ANÔMALAS DE FLÚORETOS EM	
	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO	
	TIBAGI - PR	64
12	APRESENTAÇÃO	64
13	MATERIAIS E MÉTODOS	65
13.1	COLETA.....	65
13.2	PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO	66
13.3	ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS	67
14	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
14.1	ANÁLISE DOS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON	70
14.2	INVERNO 2019.....	70
14.3	VERÃO 2021	71
14.4	ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DO ELEMENTO FLÚOR NAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	72
14.5	SAZONALIDADE: INVERNO, 2019.....	73
14.6	SAZONALIDADE: VERÃO, 2021.....	76
14.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA SAZONALIDADE 2019 E 2021	78
14.8	A ANÁLISE INTEGRADA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FLÚOR NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	79
14.9	A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FLÚOR NO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG).....	81
15	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
16	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICE 1 - PARAMENTOS FÍSICO-QUÍMICOS: INVERNO	
	(2019)	129
	APÊNDICE 2 - PARAMENTOS FÍSICO-QUÍMICOS: VERÃO, 2020	131

1 INTRODUÇÃO

Mais de 1,5 bilhão de pessoas suprem suas necessidades hídricas por mananciais subterrâneos em áreas urbanas e rurais. Estes dados têm se mostrado superados num crescimento mundial pela escolha desta fonte de captação, isso tem ocorrido principalmente em países em desenvolvimento, que nesta escolha obtêm um custo menor na obtenção desta água por sua usual qualidade apresentada. Desta forma, em geral, os índices químicos, físicos e microbiológicos nas águas subterrâneas são satisfatórios, pois, geralmente não demandam nenhum tratamento, embora algumas contaminações podem ocorrer, colocando em alerta a população consumidora e seu bem-estar. Tais contaminações geralmente estão associadas e relacionadas a infiltrações de esgoto (fossas e latrinas), aterros sanitários, resíduos industriais, fertilizantes e pesticidas além de mecanismos naturais que podem afetar a qualidade das águas (HIRATA, 2008).

Além das fontes de contaminações antrópicas, existem processos geoquímicos que ocorrem nas águas subterrâneas onde estas, reagem com minerais das rochas que as alojam causando grandes efeitos na qualidade da água, ou seja, a água é um solvente quimicamente muito ativo capaz de reagir com o meio percolado incorporando substâncias orgânicas e inorgânicas. Desta forma, quando considerados exclusivamente processos naturais, os principais constituintes presentes nas águas resultam de processos físicos e químicos de intemperismo de rochas (FAUST; ALY, 1981).

O intemperismo físico está associado à fragmentação das rochas. Já o intemperismo químico envolve processos de alteração mineral por meio de reações de hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxirredução e complexação (FAUST; ALY, 1981). Assim, são formados minerais secundários (de alteração) e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático podendo prejudicar sua potabilidade. Esses processos geoquímicos ocorrem em aquíferos onde a matriz mineral apresenta concentração elevada dessas substâncias, a exemplo das áreas com anomalias geoquímicas. Os contaminantes mais comuns são ferro, manganês e flúor, e em concentrações menores arsênio, cádmio, chumbo, zinco, cobre, bário, entre outros (FREEZE; CHERRY, 1979 e 2017).

Assim, os processos da hidrogeoquímica propõem estudar as propriedades químicas das águas superficiais e subterrâneas e sua relação com a geologia regional.

A hidrogeoquímica é a união de várias ciências, como a química da água, que diz respeito ao estudo de processos químicos e reações que afetam a distribuição e circulação de espécies dissolvidas em águas naturais, combinadas com geologia e biologia, onde durante o ciclo hidrológico, a água interage diretamente com a Biosfera (CARRILLO-CHÁVEZ, 2002). Nesse sentido, os processos geoquímicos podem ser causados pelas variações sazonais e espaciais na química das águas subterrâneas.

As propriedades geoquímicas das águas subterrâneas dependem da química da água na área de recarga, bem como dos diferentes processos geoquímicos que estão ocorrendo na subsuperfície. A qualidade da água ao longo do curso de seu movimento subterrâneo depende, portanto, das propriedades químicas e físicas das rochas circundantes e das propriedades quantitativas e qualitativas dos corpos de água fluentes e dos produtos da atividade humana (MATTHESS, 1982; SCHUH, 1997) onde podem indicar que os aumentos nas concentrações de soluto nas águas subterrâneas podem ser causados pelas zonas de recargas, regida por controles micro topográficos da região. A água subterrânea é uma das fontes mais importantes de água utilizada no mundo, para fins domésticos e industriais.

Na Índia, por exemplo, os aquíferos sedimentares são as principais fontes de águas subterrâneas. Portanto mudanças naturais consideráveis estão sendo percebidas na qualidade das águas subterrâneas, devido à interação rocha-água e a reações de oxidação-redução durante a percolação de água através dos aquíferos (GRANIEL *et al.*, 1999, UMAR; SAMI AHMAD, 2000).

No sul da Índia e em várias partes do mundo, foram realizados numerosos estudos para avaliar as características geoquímicas das águas subterrâneas (SUBBA RAO *et al.*, 1998; ELANGO *et al.*, 2003; KRISHNAKUMAR, 2004; JEEVANANDAM *et al.*, 2006), onde temos como exemplo o aquífero do arenito terciário da bacia do rio Manimuktha, na Índia, conhecido pelo seu potencial das águas subterrâneas e sua condição artesianas vem sofrendo grandes pressões exercidas sobre a exploração de suas águas, tanto para fins agrícolas quanto para industriais, reduzindo qualidade e disponibilidade devido as poluição antrópicas e processos geogenéticos.

Desta forma, muitos processos geoquímicos naturais, como intemperismo das rochas (dissolução de íons presentes na mineralogia das rochas nas dinâmicas de recargas) são responsáveis pela qualidade de águas subterrâneas, superficiais e no solo. Aplicação excessiva de fertilizante químico na agricultura, as condições sanitárias precárias são principais fontes de poluição das águas subterrâneas nas

áreas rurais. Desta forma os estudos hidrogeoquímicos fornecem uma compreensão clara dos ambientes geológicos subterrâneos e dos processos envolvidos na evolução química das águas subterrâneas.

A fim de investigar esses processos geoquímicos tanto naturais como antrópicos nas águas subterrâneas, se entende que adotar a unidade geográfica, bacia hidrográfica, como unidade territorial e de planejamento, torna – se imprescindível para ações de planejamento para a ação do poder público, da sociedade civil e seus usuários. Segundo Alievi e Pinese (2015), a bacia hidrográfica, deve ser tratada como um todo (sistema) caracterizado pelas relações sociedade e natureza, não somente como recorte espacial (delimitação), mas, como produto dos fenômenos geográficos de cunho social e natural que interagem entre si.

Desta forma, cabe ressaltar que, levantamentos inéditos do grupo de pesquisa do Laboratório de Geociências e Química (DGEO) Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Londrina - PR, detectou, dentre os elementos naturalmente dispostos em águas subterrâneas e superficiais, os fluoretos como geoquimicamente anômalos na região norte/nordeste paranaense, com destaque à Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi - PR.

Estes estudos anteriores (Licht *et al.*, 1996b; Licht *et al.*, 1997; Licht 2001 apud Silva, 2006; Pires, 2008; Alievi, 2012; Nascimento, 2015; Ross, 2015; Pinese *et al.*, 2017) constataram no Paraná, concentrações irregulares e anômalas de teores de fluoretos naturais em recursos hídricos que podem estar ocasionando prejuízos à saúde coletiva. Segundo Pinese; Alves e Licht (2001) a alta concentração de fluoreto natural na água ou nos alimentos devem causar doenças na população, levando em consideração a portaria nº 635 do Ministério da Saúde, (BRASIL, 1975, 2017, 2021) as quais apontam que a ingestão diária de água naturalmente enriquecidas em flúor ($\geq 1,5\text{mg/L}$) podem gerar patologias como a fluorose dentária e fluorose óssea (e.g. PINESE *et al.*, 2021).

Portanto, o presente trabalho pretende abordar inicialmente, os aspectos gerais do uso, comportamento, destino e dos efeitos ambientais dos processos geogenéticos e tecnogenéticos do elemento flúor e trazer subsídios, que possam garantir ou suportar ferramentas para a gestão e planejamento em especial da saúde bucal, além da execução de planos de monitoramento em bacias hidrográficas de modo a alcançar um subsídio teórico-metodológico que permita um estudo sistêmico das interações entre a geoquímica, saúde coletiva e qualidade ambiental.

1.1 HIPÓTESE

A hipótese da presente tese está pautada no consumo inadequado de fluoreto pelas águas, considerando os riscos a saúde bucal, onde a ingestão em teores anômalos ou acima do recomendado podem causar fluorose dentária em diferentes níveis, enquanto a falta ou insuficiência desse, sugere uma população com maiores riscos a problemas relacionados a cárie dental, corroborando com a literatura. Além disso o levantamento da vulnerabilidade dos aquíferos os quais possuem um alto potencial de disponibilidade do elemento flúor.

1.2 APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento do presente trabalho é fruto da pesquisa, realizada para a obtenção do título de doutor em geografia do Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Londrina. O desdobramento da mesma contou com o financiamento da Fundação Araucária/CAPES para sua elaboração e conclusão. O modelo aqui apresentado, seguiu as normas estipuladas pela RESOLUÇÃO CEPE Nº 031/2020 de TÍTULO VI, Capítulo I. Art. 43 - II., o qual dispõe da apresentação do produto final na forma de 2 (dois) ou mais artigos científicos.

A estrutura apresentada contou, primeiramente, com a introdução do tema proposto, levantamento da hipótese para estudo, objetivos gerais e específicos, levantamento teórico-metodológico contextualizando e dando suporte ao tema proposto e pôr fim a inserção de 3 (três) estudos e/ou artigos.

- I- Diagnóstico fisiográfico ambiental da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR.
- II- Ocorrências anômalas de flúoretos em águas subterrâneas na bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR.
- III- Distribuição e consumo de fluoretos por meio das águas superficiais e subterrâneas na bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR entre os anos de 2017 e 2021.

Os quais serviram de subsídios para a elaboração de um produto final (tese) no cumprimento das normas, para a obtenção do título de doutoramento pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina - PR.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral diagnosticar a situação hidrogeoquímica nas águas subterrâneas e superficiais da bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR, analisar a vulnerabilidade de algumas áreas na disponibilidade do elemento flúor nos aquíferos, além de correlacionar com a saúde coletiva, em especial a saúde bucal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do baixo Tibagi-PR;
- Mensurar os valores de concentração de íons de fluoreto das águas subterrâneas;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas coletadas na BHBT;
- Correlacionar hidrogeoquímica do elemento flúor com qualidade em saúde, em particular a saúde bucal;
- Avaliar espacialmente a bacia hidrográfica conforme a qualidade ambiental hidrogeoquímica com ênfase no elemento flúor;
- Analisar o referido banco de dados para suportar avaliações mais precisas sob a ótica da saúde coletiva e ambiental, somando às contribuições realizadas em estudos anteriores.
- Avaliar espacialmente riscos para perfuração de poços relacionando-os a saúde coletiva e ambiental
- Avaliar índice de ponderação, denominado Índice de Risco de Perfuração para Flúor (IRPF)
- Analisar dados secundários sobre Fluoreto oriundos do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISÁGUA);
- Gerar representações cartográficas do elemento flúor orientada pela Portaria Nº 635/BSB, de 26 de dezembro de 1975 e discriminadas em Pinese *et al.*, 2021;

3 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ABORDAGENS METODOLÓGICAS EM ESTUDOS GEOGRÁFICOS

Os pressupostos teórico-metodológicos, através de um resgate histórico-filosófico servem de subsídios para desenvolvimento de uma análise integrada da paisagem, como resposta na gestão e conservação ambiental. Através dos conceitos e vertentes neopositivistas, temos retornos teóricos a respeito da evolução da Geografia física como importante abordagem metodológica, para o contexto atual desta ciência.

Em busca do entendimento da maior problemática da Geografia como ciência de síntese, a inter-relação homem x ambiente e/ou homem x natureza (HxN), o espaço geográfico como agente integrador, indissociável e contraditório dos objetos e ações de dualidade da Geografia, destacaremos como premissas, a importância da construção do conceito de paisagem, atrelados aos conceitos metodológicos do geossistema, para que essa investigação possa criar subsídios que fundamentam os problemas da Geografia como ciência.

3.2 RESGATE DO CONTEXTO HISTÓRICO-FILOSÓFICO DA EVOLUÇÃO DA GEOGRAFIA NEOPOSITIVISTA

Em meados de 1939 – 1945, após a segunda Guerra Mundial uma nova fase de recuperação econômica se estabeleceu na Europa, onde a expansão capitalista foi impulsionada a gerar novas tecnologias para suprir as necessidades da sociedade em alavancar a economia mundial, com um olhar ambicioso direcionado para a natureza como visão economicista, onde, pressupunha os elementos naturais como recursos, principalmente para evidenciar o potencial futuro de um país (CAMARGO; REIS JUNIOR, 2004; MENDONÇA, 1995a, 2005b).

Essas movimentações econômicas pós-guerra, trouxeram algumas transformações na produção econômica mundial, nas quais citaremos as mais notáveis: a) substituição do modo de produção capitalista concorrencial para o modo capitalista monopolista; b) controle da economia pelos Estados (no Brasil podemos citar períodos caracterizados pelo governo de Juscelino Kubitschek e militarismo); c) preocupação com o domínio dos territórios (nova geopolítica mundial); d)

reorganização do espaço; e) modernização da agricultura e industrialização; f) comércio pré-globalizado e fluxos de relações (CAMARGO; REIS JUNIOR, 2004).

Com essas transformações econômicas no cenário mundial, houve-se uma necessidade de forjar algumas reformulações internas nas Ciências Sociais, surgindo o aparecimento de novas teorias como: teoria dos sistemas, método estruturalista no campo mais operacional (pragmático) das técnicas estatísticas e dos computadores, para compor o rol de recursos científicos que foram colocados à disposição dos pesquisadores.

Em um contexto global, alguns geógrafos começam a perceber que a Geografia Tradicional, empírica e descritiva, não mais atendiam os conceitos e anseios da efetividade do conhecimento científico, carecendo de reformulações no pensamento geográfico.

Em contribuição para essa nova tendência no pensamento geográfico, ao analisar a literatura questionada, Christofolletti (1982) relata:

Ao se analisar a literatura relacionada com as novas tendências geográficas, percebe-se que diversos adjetivos foram sendo propostos para qualificá-la. Entre eles, dois ganharam maior realce: geografia quantitativa e geografia teórica. A primeira expressa a aplicação intensiva de técnicas estatísticas e matemáticas nas análises geográficas e o procedimento quantitativo pode ser considerado entre as características básicas da Nova Geografia. A segunda salienta o aspecto teórico e metodológico, subentendendo como imprescindível toda análise quantitativa e englobando os processos de abstração necessários às etapas da metodologia científica e da explicação (CHRISTOFOLLETTI, 1982, p. 17).

Desta forma a Geografia promove uma revolução no pensamento geográfico, na tentativa de transformar a Geografia em uma verdadeira ciência, abrangendo três principais princípios básicos: a superação do positivismo tradicional, acarretando a primeira mudança no ponto de vista filosófico (círculo de Viena), o segundo princípio está relacionado a busca da racionalização e a sistematização da categoria “espaço” e das classificações regionais. E o terceiro de caráter metodológico onde passaram a empregar o método científico intrínseco as ciências naturais, desta forma essa combinação estabelece novas perspectivas para a geografia em relação aos aspectos teórico-metodológico em busca de um maior rigor científico (CAMARGO; REIS JUNIOR, 2004).

Desta forma os geógrafos neopositivistas passam a empregar a Matemática, por excelência, à linguagem da Ciência, facilitando assim a comparação entre as

variáveis e as construções lógicas. Onde essa funcionalidade é expressa por Faissol (1987) no que se diz:

A Matemática e a Estatística, associadas, têm trazido à Geografia uma contribuição não só operacional, mas também conceitual e lógica. Dois exemplos podem ser citados, evidentes e simples: o uso dos conceitos da teoria dos conjuntos para operacionalizar e classificar o conceito de região e o uso de um modelo probabilístico epidemiológico, para descrever a operação do processo espacial/regional (FAISSOL, 1987, p. 29).

A Nova Geografia emergente nos anos 60 se preocupam em utilizar de técnicas matemático-estatísticas na busca de um corpo de teorias para a Geografia, onde a utilização dessas técnicas estatísticas e algoritmos computacionais é implementada a rotina das Ciências Sociais auxiliando na formulação de testes de hipóteses e teorias (FAISSOL, 1987).

Junto a este pensamento teórico-metodológico geográfico caminham os conceitos de Espaço na abordagem sistêmica e complexa considerada como produto de uma relação dialética, produto também fragmentado no período da modernidade industrial, onde, essa interação se dá através da busca entre as partes, nos seus fluxos de matéria, energia e informação para abordar à compreensão do todo, atentando à complexidade que essas inter-relações proporcionam na relação espaço-tempo (AMORIM, 2012).

Desta forma observa-se como complexo o entendimento do principal objeto da Geografia, que é o estudo do espaço geográfico. Por mais que possua diversos conceitos e definições, buscaremos entendê-lo pelas premissas de Milton Santos onde o mesmo demonstra a importância da totalidade dos estudos, onde, segundo o autor o conceito de espaço geográfico se dá pelo:

Conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como um quadro único na qual a história se dá. No começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, objetos técnicos, mecanizados e, depois cibernéticos fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina (SANTOS, 1997).

Conceito este que se dá através da articulação entre a natureza e a sociedade, onde a presença do mesmo como ser natural promove profundas transformações na natureza mesma e na sua própria natureza.

Suertegaray (2001), contribui com esta discussão onde conceitua que o espaço geográfico pode ser lido através do conceito de paisagem, território, lugar e/ou

ambiente, onde cada uma está presente em todas as demais como algo interativo entre eles.

A relação Sociedade - Natureza, e a adoção da Teoria Geral dos Sistemas é cada vez mais aplicada. A abordagem sistêmica nas relações entre a sociedade e a natureza, seu potencial ecológico e a exploração biológica tem ampliando, e ao longo do tempo, se faz necessária à compreensão dos fenômenos ambientais provenientes deste complexo, avaliando ainda a sua dinâmica, que é caracterizada pela transferência de matéria e energia (BERTALANFFY, 1975; AMORIM; OLIVEIRA, 2007).

Sotchava (1977), a partir da década de 60, realizou pesquisas sistemáticas, onde utilizou como base a Teoria Geral dos Sistemas, considerando a paisagem como um sistema interligado e organizado, com forte influência socioeconômica, organizando a conceituação teórica do complexo geográfico do “Geossistema” metodologia esta, utilizada em estudos ambientais. Propondo um estudo integrado, e não sobreposto, do meio natural, através da síntese e da análise de sua dinâmica, amparada numa base teórica e metodológica mais consistente e que persiste até os dias atuais (SOTCHAVA, 1977).

A aplicação da Teoria Geral dos Sistemas na Geografia originou na década de 1950, nos estudos de Straller e Choley onde na Geomorfologia, esta aplicação foi introduzida por descrever que: “um sistema de drenagem ajustado talvez seja melhor descrito como sistema aberto em estado constante” (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Para entender melhor essa teoria deve-se conceituar sistema. O mesmo é um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia, onde os fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Como consequência, o sistema apresenta propriedades que lhe são inerentes e diferem da soma das propriedades dos seus componentes. Uma delas é ter dinâmica própria, específica do sistema (TRICART, 1977).

A “Ecologia das Paisagens” concebida por Troll (1939) é outra definição importante avaliada como um novo paradigma no estudo do ambiente. Esta definição trata especificamente das inter-relações complexas entre os organismos ou as biocenoses e/ou os fatores ambientais, incluindo o homem como fator modificador dos ecossistemas e a influência do mesmo e sua organização em sociedades, requerendo uma área de estudo que se ocupe com o sistema que ele mesmo criou, tais como os

sistemas urbanos, dependentes da vida social de vários níveis socioecológicos, grupos ou comunidades (CAVALCANTI; RODRIGUEZ, 1997).

Partindo das premissas teórico-metodológica do conceito de Paisagem se obtém uma importante contribuição da escola francesa desenvolvida por Tricart (1977), com base na Ecodinâmica e Ecogeografia onde o autor enfatiza uma análise da estrutura da paisagem em sua morfodinâmica sem preocupação em delimitar unidades territoriais singulares, buscando uma abordagem geomorfológica onde classificava as distintas paisagens conforme a fragilidade ambiental e vulnerabilidade a processos erosivos-deposicionais, destacando áreas onde predominam a morfogênese ou áreas onde predominam a pedogênese.

Não menos importante a vertente alemã, herdeira da escola naturalista de Humboldt, apoia o conceito de paisagem natural acoplados aos estudos de Ecologia e Ecossistema, onde desenvolvem-se propostas de uma análise sistêmica da paisagem e das atividades humanas por meio de uma dinâmica de fluxos e redes de matéria e energia (TROLL, 1966).

Neste sentido, a Unidade de Paisagem consiste de uma unidade espacial que proporciona características peculiares definidas tanto pelo meio geobiofísico, quanto pelo meio socioeconômico que a definem, a delimitam e a distinguem das outras unidades que, as quais estão em constante dinâmica promovida pela atuação de processos naturais do próprio sistema geobiofísico e pela ação transformadora das atividades socioeconômicas (ZONNEVELD, 1989).

É importante salientar que o conceito de ambiente antes das concepções ecossistêmicas e geossistêmicas referia-se apenas aos aspectos naturais, onde no atual contexto ganha outro tipo de perspectiva de análise. Christofolleti (1998), contextualiza a problemática ambiental através de conceitos mais precisos onde os mesmos viabilizaram processos analíticos e critérios de avaliação apresentando duas perspectivas, uma ecologia e outra geossistêmica onde a primeira está principalmente baseada nas dinâmicas biológicas e sociais, focando no contexto que compreendam o ser vivo.

A definição de ambiente é fundamentada principalmente nas dinâmicas biológicas e sociais, onde circunstâncias que envolvem o ser vivo podendo ser afetado ou descrito pelos aspectos físicos, químicos e biológicos, tanto naturais como antrópicos. O ambiente é comumente usados para referir-se às situações nas quais vive o homem (BRACKLEY, 1988 apud CHRISTOFOLLETI 1998).

Para Perez Filho (2007), os níveis de antropização da atualidade, os Geossistemas e os Sistemas Antrópicos não podem ser avaliados de maneira isolada, mas de forma integrada, já que mesmo os Geossistemas e os Sistemas Antrópicos apresentam leis e dinâmicas próprias. Ambos sustentam um funcionamento parcialmente independente, e também um funcionamento dependente um do outro, ou seja, mesmo a natureza apresentando suas leis e dinâmica própria, estas podem sofrer alterações em decorrência da ação antrópica.

Segundo Monteiro (2000), os Geossistemas preveriam quatro etapas: a análise de variáveis naturais e antrópicas, a integração entre os elementos de acordo com os problemas diagnosticados, a síntese e a aplicação.

Desta forma interdisciplinaridade propicia a abordagem e análise do meio ambiente, com diferentes graus de intervenção humana, podendo abranger também a dinâmica dos processos que ocorrem em interação na paisagem, em diversas escalas espaciais e temporais (MONTEIRO, 2000).

A investigação geográfica constitui na compreensão das estruturas e processos que se desenvolvem na superfície terrestre cujo conhecimento é imprescindível para subsidiar a elaboração de propostas de ações visando a gestão ambiental e a fundamentação da legislação de conservação e preservação do ambiente. Nessa perspectiva o Geossistema representa uma importante evolução nos estudos geográficos, sobretudo na Geografia Física, por considerar a interação e a integração dos elementos abióticos (solo, relevo, clima, hidrografia), bióticos (vegetação e animais) e antrópicos e não os abordar de maneira isolada onde o geossistema e a paisagem caminham juntos e estão intimamente ligados, dividindo embates de escalas e metodologias (BERTRAND, 1972; TRICART, 1977; MONTEIRO, 2000).

3.3 ESTUDOS SISTEMÁTICOS EM UNIDADES GEOGRÁFICAS

Para Rodriguez (1994), a análise sistêmica se baseia no conceito de paisagem com um “todo sistêmico” em que se combinam a natureza, a economia, a sociedade e a cultura, em um amplo contexto de inúmeras variáveis que buscam representar a relação da natureza como um sistema e dela com o homem. Os sistemas formadores da paisagem são complexos e exigem uma multiplicidade de classificações que podem, segundo o autor, enquadrar-se perfeitamente em três princípios básicos de

análise: o genético, o estrutural sistêmico e o histórico, que se fundem numa classificação complexa.

Dentro dessa abordagem geossistêmica e paisagem, diversos autores consideram a bacia hidrográfica com uma das melhores formas para melhor entender o funcionamento e gerenciamento de uma unidade geográfica.

3.4 BACIA HIDROGRÁFICA

Ao considerar o artigo 1º, em específico seu inciso V, da Lei Federal n.º 9.433 do dia 8 de janeiro de 1997, através da Política Nacional de Recursos Hídricos e ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a Bacia Hidrográfica é adotada como unidade de estudo da interação entre a rede de drenagem e as populações locais, o que envolve o uso destes recursos e os impactos das atividades humanas para os usos múltiplos atuais e futuros da água.

Para Nascimento; Carvalho (2003), a bacia hidrográfica é um meio natural espacialmente definido, no qual seus elementos mantêm relações dinâmicas entre os componentes físicos, biológicos e socioeconômicos. Por sua distribuição espacial, apresentam geralmente diferentes paisagens e em geral representam diferentes estágios de sua evolução no sistema, subsistema e partes componentes.

Espindola *et al.*, (2000) referência a bacia hidrográfica como, um sistema biofísico e socioeconômico, integrado e interdependente, contemplando atividades agrícolas, indústrias, comunicação, serviços, facilidades recreacionais, formações vegetais, nascentes, córregos, lagoas e represas, enfim todos os habitats e unidades da paisagem. Os processos e interações são caracterizados como unidades funcionais podendo ser quantificado e modelado, possíveis assim, deste modo avaliar suas complexidades e problemas ambientais.

Com isso Bordallo (1995), afirma que a utilização da Bacia Hidrográfica, como unidade de estudo, para a gestão das distintas formas de atividade e uso das potencialidades ambientais, tem como finalidade projetar, interceder, executar e manusear as melhores formas de apropriação e exploração de seus recursos naturais.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica tem sido utilizada como unidade de estudo, tomada como recorte espacial para pesquisas ambientais, mostrando-se como eficientes na geração de informações, práticas de manejo de solo e conservações de recursos naturais. Além de contribuir para o desenvolvimento

regional, principalmente nas situações atuais de grande pressão sobre o meio ambiente em decorrência do crescimento populacional (SILVA *et al.*, 2003).

De acordo com Siqueira; Silva (2011), a Bacia Hidrográfica é utilizada como um modelo abrangente de entender os ecossistemas tendo em vista a interação dos ambientes aquáticos com os aspectos geológicos, pedológicos, climáticos, vegetação, uso e cobertura da terra interagindo com processos bióticos e abióticos.

De acordo com Piroli (2013),

A unidade ideal para o trabalho com recursos naturais é a Bacia Hidrográfica, uma vez que esta é definida pela própria natureza a partir dos processos físicos e químicos que moldam o relevo e condicionam as relações entre os componentes bióticos e abióticos existentes na área. O elo entre estes componentes é a água que ao precipitar sobre este espaço é direcionada para regiões determinadas pelo seu ciclo, formando os córregos e rios que escorrem superficialmente ou infiltram nos depósitos subterrâneos, alimentando os aquíferos ou as nascentes que manterão os cursos de água nos períodos entre as precipitações (PIROLI, 2013, p. 21).

De acordo com Leal (2000), “a gestão das águas deve permitir diferentes formas de participação social e garantir o espaço político para o embate e a interação de ideias e posições de forças diversas” na perspectiva de uma gestão integrada.

Nesse sentido Leal (2000) enfatiza que “compreender os sistemas hídricos e inter-relaciona-los com os demais sistemas social, econômico, político e cultural constitui um aspecto fundamental para a gestão dos recursos hídricos”.

Sendo assim, a bacia hidrográfica se torna a unidade fundamental para gestão e planejamento dos recursos hídricos, além da agregação e interação da sociedade para pensar em um uso equilibrado destes recursos naturais, podendo desta forma otimizar e minimizar os impactos causados nessas unidades de gestão territorial.

3.5 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

As áreas prioritárias estão relacionadas à degradação ambiental, que segundo IBAMA (1990), é a perda da adaptação das características físicas, químicas e biológicas no meio ambiente, inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico. A degradação ambiental pode ocorrer quando a vegetação nativa e fauna são destruídas, removidas ou expulsas; remoção da camada fértil do solo; alteração na qualidade e regime de vazão dos recursos hídricos; deterioração física e química (IBAMA, 1990).

Santana (2003) relata que:

A degradação ambiental nas áreas de recarga, provocada por desmatamentos desordenados, compactação e erosão de solos, não só afeta o potencial de evapotranspiração (e conseqüente produção de água limpa para o ciclo hidrológico), como também provoca escoamentos superficiais excessivos, que carregam sedimentos e dejetos, os quais irão depositar-se nos grandes reservatórios, tendo como resultado o assoreamento e a poluição ambiental. Consequências de médio e longo prazos desses fenômenos são o comprometimento da capacidade produtiva e de conservação de água e solo nas propriedades rurais, além da redução na capacidade de armazenamento dos grandes reservatórios, comprometendo a produção de energia (SANTANA, 2003, p. 16).

Nesse sentido, pesquisas científicas atualmente desenvolvidas, no âmbito mundial, tem como preocupação à preservação dos recursos naturais a fim de identificar as principais causas, os causadores e as principais conseqüências da degradação do meio ambiente, além da busca do diagnóstico e prognóstico, buscando propor alternativas para a resolução dos problemas, bem como, para subsidiar tomadas de decisão.

De acordo com Crepani *et al.*, (2001)

O tipo de atividade antrópica desenvolvida sobre uma determinada unidade de paisagem natural pode representar sua destruição devido a sua pequena capacidade de absorver os estímulos advindos desta atividade econômica, enquanto que sua interação com outra unidade de menor vulnerabilidade, seguindo os sistemas de manejo mais indicados com práticas conservacionistas, pode representar uma atividade economicamente rentável. Isto parece mostrar que a escolha entre um desastre ecológico ou o desenvolvimento sustentado, passa pelo conhecimento da natureza da interação existente entre as unidades de paisagem natural e os polígonos de intervenção antrópica (CREPANI *et al.*, 2001, p. 17).

Sendo assim às conseqüências das degradações ambientais, a Política Nacional do Meio Ambiente – Lei Nº 6938/81, pontua alguns reflexos sobre a degradação da qualidade ambiental: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

3.6 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas são formadas pelo excedente das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os espaços vazios entre as rochas, portanto, uma reserva de água embaixo do solo, abastecida pela

chuva, e funciona como uma espécie de caixa d'água que alimenta os rios está totalmente relacionada aos aquíferos. No Brasil, por exemplo, os aquíferos contribuem para que boa parte dos rios sejam perenes, ou seja, não seque no período da estiagem (IAT, 2020)

Nas últimas décadas, pode-se identificar um notável incremento na exploração de água subterrânea como solução para o suprimento da demanda relativa ao abastecimento público urbano e rural, assim como das indústrias e agroindústrias instaladas no Estado. Por serem relativamente abundantes, compondo uma parcela significativa da água potável utilizada para consumo humano, agricultura e outros fins, o acompanhamento das condições das águas subterrâneas é muito importante. A Carta das Águas Subterrâneas do Paraná caracteriza os aquíferos existentes no Estado segundo grandes grupos: aquíferos sedimentares, aquíferos fraturados e carste (IAT, 2020).

3.7 CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS E SEUS REFLEXOS NA SAÚDE PÚBLICA

A contaminação das águas tem como principal fator, o conjunto de atividades humanas, sendo que estes poluentes alcanças as águas superficiais e subterrâneas em formas diversas. Este aporte é arbitrariamente caracterizado como pontual e/ou difuso, principalmente para efeito de legislação (ZIMMERMANN, 2008).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida na Lei nº 9.433 prevê como diretriz de ação “a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo” (BRASIL, 1997). Essa diretriz é baseada no fato de que o homem altera os espaços da bacia por meio de diversos impactos como: desmatamento, introdução de pastagens e agricultura, construção de edificações civis, represamento de cursos d'água, implantação de indústrias e áreas urbanas, gerando deste modo grande quantidade de dejetos e rejeitos, cujo destino final geralmente são os ambientes aquáticos (ASSUNÇÃO, 2017).

A qualidade das águas, tanto superficial quanto subterrânea são condicionadas por variáveis naturais ligadas aos regimes de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal, e também por impactos antrópicos, como o lançamento de efluentes das cidades, indústrias, agricultura entre outros. A qualidades dessas águas, estão totalmente relacionadas a saúde pública e de modo mais abrangente,

na qualidade de vida da população. Além disso, água com qualidade adequada é essencial para o equilíbrio e funcionamento dos ecossistemas (IAT, 2020).

Os ambientes aquáticos são utilizados em todo mundo, a fim de diversas finalidades, dentre elas, o abastecimento de água, geração de energia, irrigação, navegação, aquicultura entre outros (SPERLING, 1993).

Estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada, e, em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa se perde devido a doenças relacionadas à água. Os esgotos e excrementos humanos são causas importantes dessa deterioração da qualidade da água em países em desenvolvimento (AGENDA 21, 1996).

Tais efluentes contêm misturas tóxicas, como pesticidas, metais pesados, produtos industriais e uma variedade de outras substâncias. As consequências dessas emissões podem ser sérias (VEGA; FERNANDEZ, 1996).

As primeiras ameaças antropogênicas aos recursos aquáticos foram frequentemente associadas a doenças humanas, especialmente doenças causadas por organismos e resíduos com demanda de oxigênio. Regiões de grande densidade populacional foram as primeiras áreas de risco, mas águas de áreas isoladas também sofrem degradação (MEYBEK; HELMER, 1989).

A presença de metais pesados em águas superficiais pode promover uma série de agravos a saúde de uma população local que venha a consumir destas. Dentre os agravos mais significativos, podem ser elencados aqueles ligados a neoplasias (câncer) bem como doenças que afetam ao sistema nervoso, circulatório, respiratório, dentre outros (SELINUS *et al.*, 2005).

A alta heterogeneidade espacial dos metais pesados nos solos, águas subterrâneas e superficiais, a complexidade e diversidade das fontes de poluição, a falta de dados de monitoramento a longo prazo, trazem a nós pesquisadores a ambição de buscarmos uma avaliação minuciosa destes impactos, explorando modelos para que possam servir como ferramentas para a identificação e repartição dos mesmos.

Segundo Guilherme *et al.*, (2005) os elementos-traço estão presentes naturalmente em solos e sistemas aquáticos superficiais e subsuperficiais, ainda que, conforme os mesmos, não haja perturbação antrópica do ambiente, sendo que o

aumento em sua concentração pode ocorrer tanto em razão de processos naturais quanto por atividades antropogênicas.

Nesta perspectiva torna-se necessário à Geografia da Saúde associar-se a Hidrogeoquímica, para efetuar estas pesquisas no âmbito das bacias hidrográficas, principalmente em se tratando de doenças propagadas pelo contato com elementos químicos nocivos à saúde, notadamente estudadas, tais como fluorose dentária e óssea (PIRES, 2008; JAYME *et al.*, 2013; GOLONO DE DEUS *et al.*, 2015; PINESE *et al.*, 2021).

Cabe ainda ressaltar que, o quadro clínico da fluorose dentária varia desde manchas opacas no esmalte dos dentes, até erosões, que prejudicam a estética, podendo causar dores, atrapalhar na mastigação, propiciando também, em alguns casos a proliferação de cáries, podendo haver a perda dos dentes. A fluorose óssea ocasiona dores nas costas, no pescoço e pode até causar deformações irreversíveis nos ossos, como a calcificação dos ligamentos e a hiperdensidade óssea, gerando invalidez, sendo que doses excessivas podem ocasionar a morte (GUIMARÃES, 2006).

Por fim a contaminação das águas tanto pelos processos geogenéticos quanto tecnogenéticos são efeitos geoambientais que precisam de subsídio técnico-científico para garantir suas gestões enquanto planejamento ambiental, permitindo estudos sistêmicos das interações entre a geoquímica, saúde coletiva e qualidade ambiental.

3.8 GEOGRAFIA DA SAÚDE

Na busca da compreensão das dinâmicas socioambientais, a geografia como ciência, sempre buscou relacionar a interação destes, com a dinâmica espacial e temporal. Sorre (1961) em sua obra, define que a Geografia é a ciência que descreve a Terra e tudo que nela contém, englobando o que está em sua superfície. Desta forma, a interação entre os elementos naturais e físicos do planeta com a sociedade, culminou em estudos voltados a saúde dos indivíduos e dos lugares, denominada como Geografia da Saúde.

De acordo com Rojas (2003), a Geografia da Saúde busca trabalhar entre os conceitos geográficos, médicos, biológicos, das ciências físicas e sociais de maneira interdisciplinar, sendo uma nova especialização de uma antiga perspectiva de aproximar os estudos do ambiente e da saúde humana (GUIMARÃES, 2016).

Essas observações aqui expostas, se fazem pertinentes pois a Geografia da Saúde, busca analisar as ações humanas mais as ocorrências naturais, que podem influenciar e culminar em alterações a saúde coletiva. Podendo deste modo contribuir com uma análise espacial, visando contribuir para a gestão e dinâmica dos riscos à saúde, sejam elas oriundas de ações naturais e/ou antrópicas.

3.9 GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS DA GEOGRAFIA DA SAÚDE

O ponto de partida para a investigação e compreensão dos fenômenos naturais e/ou antrópicos no espaço se dão através de padrões. Padrões estes que para os geógrafos, especificamente, se interessam pelos padrões espaciais, temporais e espaço-temporais. Dependentes da escala de análise, estudar os padrões na área da saúde pode-se utilizar de diversas escalas, podendo variar desde uma residência até a maior unidade de agregação de dados, podendo variar de dias a anos (BARROZO, 2014).

Ao interessar-se pela análise de padrões espaciais, adotamos a aplicabilidade da representação cartográfica como umas das técnicas mais adequadas para este propósito. Desde antes da aceitação das técnicas de representação cartográfica, os mapas eram utilizados, nas estratégias de combate as epidemias (BARROZO, 2014).

De acordo com Guimarães (2020) a manipulação do banco de dados em conjunto com as técnicas de processamentos espaciais, permitem análises pertinentes à saúde, além de possibilitar a geração de cartografia temática, para o auxílio e entendimento dos gestores públicos.

Dessa forma as técnicas e representações cartográficas aliadas às análises estatísticas têm sido apuradas continuamente para contribuição da elucidação dos padrões espaciais, algumas tradicionalmente consideradas evidentes do ponto de vista epidemiológico ou à necessidade de uma busca na integração multiescalar e transdisciplinar (BARROZO, 2014).

O uso do geoprocessamento e o sistema de informação geográfica (SIG), pertence a uma área do conhecimento onde, utiliza, de técnicas computacionais e matemáticas em seu tratamento, além do armazenamento e manipulação dos dados geográficos, com a finalidade pré-definida pelo usuário, com o principal objetivo de fornecer determinantes das evoluções espaciais e/ou espaço-temporais, de um

fenômeno geográfico e as inter-relações entre os diferentes fenômenos (CÂMARA, 1998).

Desta forma o geoprocessamento é uma ferramenta importante para o entendimento da inter-relação de um conjunto de elementos presente no espaço, através de dados ambientais naturais e antrópicos e de saúde, permitindo a identificação de variáveis que revelam a estrutura social, econômica e os riscos à saúde presentes no espaço (BARCELLOS; BASTOS, 1996)

Por fim, as técnicas de geoprocessamento e tecnologias trazem a possibilidade de melhor compressão do espaço além de analisar os processos de riscos da saúde em sua ótica ambiental natural ou antrópica, servindo de subsídios para distribuição e padronização espacial de doenças e/ou patologias proporcionando saúde e bem-estar para a sociedade através de propostas aos gestores públicos.

3.10 GEOLOGIA MÉDICA

A Geologia médica é conhecida como a ciência que estuda a influência de fatores geológicos ambientais, relacionados com a distribuição geográfica das doenças humanas e animais, onde fatores geológicos podem influenciar na saúde humana e animal (SELINUS, 2006). Essas observações necessitam ser realizadas de forma a envolver outras ciências, entre elas a geografia como ciência contributiva a qual utiliza de técnicas investigativas da Geologia médica.

Deste modo, pesquisas geográficas têm buscado na geologia um conjunto de relações e ocorrências de substâncias químicas oriundas de rochas e minerais, no solo e na água, com a saúde humana.

Os aspectos geológicos mesmo que pareçam distantes do cotidiano humano, possuem completa afinidade e reflexos com a saúde. Para além das dinâmicas geológicas de grande magnitude como abalos sísmicos, vulcanismos entre outros, condições geológicas específicas podem prejudicar o organismo de forma lenta e silenciosa. As formações geológicas são detentoras do maior estoque natural de elementos químicos, alojados e distribuídos aleatoriamente na superfície da Terra os quais interagem permanentemente à fisiologia humana (KOMATINA, 2004).

De acordo com Guimarães (2020), os elementos químicos encontrados na natureza podem produzir diversos efeitos a saúde humana e essas concentrações se modificam constantemente, principalmente na reformulação dos minerais

solubilizados, ou incorporados ao solo através do intemperismo, podendo se tornar geodisponíveis, em parte na cadeia alimentar, transferência a alimentos, como peixes e vegetais, solubilizados na água, ou até mesmo introduzidos aos seres vivos através da inalação ou contato dermal.

As interações biológicas e geológicas configuram o ambiente natural, o qual sustentam a vida, nessa interação podem ocorrer concentrações elevadas ou ausência de determinados elementos químicos demandados pelos indivíduos podendo causar certos desequilíbrios. Estes desequilíbrios para a Geologia Médica são denominados como, anomalias geoquímicas, podendo quando identificados, criar ações não só corretivas, mas sobretudo preventivas, relacionadas ao consumo desses elementos e seus efeitos a saúde (ARAÚJO, 2006).

Doenças geoquímicas estão estritamente associadas a insuficiências e excessos de elementos químicos e minerais presentes nos organismos vivos. Essa correlação e associação da Geologia Médica com a saúde é fator determinante para balizar o presente trabalho, pois temos a água como um elemento de interação direta entre os minerais e os seres humanos, onde tomamos por interesse o elemento flúor disponível na mesma, podendo estar presente de forma geogenética ou tecnogenética (PINESE *et al.*, 2021).

3.11 FLÚOR GEOGENÉTICO E TECNOGENÉTICO

O flúor se apresenta na crosta terrestre como o décimo terceiro elemento mais abundante, estendendo-se a diversos materiais geológicos e corpos hídricos, disponibilizados em diferentes concentrações e variando de acordo com diversos fatores, entre eles: temperatura, pH, íons precipitados e coloides, presença ou não de complexos minerais, solubilidade de minerais, capacidade de troca iônica de minerais, granulometria e outro fator tão importante quanto, o tipo de litologia e o tempo de residência das águas (PANAGOULIAS; SILVA FILHO, 2006).

Pertencente ao grupo químico dos halogênicos o flúor é um elemento químico não-metálico, sendo esse o mais leve e mais abundante. Seu comportamento difere do grupo como o único isótopo com número de massa 18,998. Se apresenta em forma de íons de fluoreto (F^-), caracterizado como o mais eletronegativo dos elementos e soluções, o mesmo não é encontrado na natureza de forma pura, mas como compostos: os fluoretos. Se apresenta em sua forma livre, com aspecto amarelo claro

em condições normais de temperatura e pressão (RUSSEL, 1994; LUCAS, 1988 apud MARIMON, 2006; DISSANAYAKE; CHANDRAJITH, 2009; SANTOS, 2019).

Segundo Pitter (1985), é comum encontrar o elemento, junto a complexos de ferro, boro e alumínio e em meios ácidos, concentra-se em rochas ígneas ácidas, intermediárias e alcalinas (850 - 1200 ppm) em estado sólido, nos solos e nos recursos hídricos. É fortemente corrosivo à substâncias inorgânicas e orgânicas possuindo um odor irritante. À fisiologia humana é considerado um elemento não essencial, mas aproveitável em baixas quantidades tendo sua ingestão principal via água (SELINUS *et al.*, 2010).

O flúor é liberado para as águas naturais por intemperismo, onde, os minerais de maior solubilidade disponibilizam maior quantidade de fluoretos para as soluções percolantes, como esta solubilidade é baixa o fluoreto migra lentamente em soluções e neste caminho pode ficar retido temporariamente nos argilominerais. O equilíbrio entre a água e os minerais das rochas, da capacidade da liberação de flúor para a solução, ou, ao contrário, de sorver o elemento da solução, resulta na concentração de fluoreto nas águas naturais, por esse motivo as águas superficiais tendem naturalmente ter menores concentrações de fluoretos do que nas águas subterrâneas (MARIMON, 2006).

Segundo Dissanayake e Chandrajith (2009), as águas de fontes hidrotermais frequentemente apresentam elevadas concentrações de fluoreto.

Sellinus *et al.*, (2005), associa as altas concentrações de fluoreto com doenças dentárias e ósseas, mencionando diversas ocorrências recorrentes em várias regiões do planeta, dentre elas com casos extemos: Colorado (EUA), regiões do México, Nicarágua, Costa Rica, Honduras, Antígua, regiões do Brasil como Minas Gerais, Paraná e São Paulo, algumas regiões da China, Índia, Paquistão, Sri Lanka, Irã, Rússia, Finlândia, Portugal e Itália.

Desta forma, diversos trabalhos foram realizados por diferentes pesquisadores, onde, detectou-se concentrações de fluoretos na água de origens geogenéticas e/ou naturais, tais como na Tanzânia, conforme Haimanot *et al.*, (2006); Vuhahula (2008); Pittalis (2010); Marwa *et al.*, (2018) e Ndé-Tchoupé *et al.*, (2019).

Demonstrando dessa forma diversos locais do mundo onde, estão presentes altas concentrações de fluoretos disponíveis para a sociedade civil. Desta forma entende-se e reforça-se a ideia da relevância dos estudos acerca dos fluoretos existentes nas águas tanto superficiais quanto subterrâneas.

Além do flúor de origem naturais podemos nos deparar com concentrações de flúor por origem tecnogenética. Segundo Ross (2015), normalmente a modificação das concentrações do flúor em águas, são decorrentes de processos hidrogeoquímicos, mas eventualmente podem estar relacionadas a ações antrópicas, como mineração, produção agrícola com insumos de fosfatados e queima de carvão mineral, sendo estas, fontes de poluição difusa de flúor.

Trabalhos realizados na China, detectaram grandes quantidades de fluoretos predominantemente no ar, em regiões onde ocorrem a produção e exploração de carvão mineral, pesquisas recentes, ainda confirmaram grandes concentrações de fluoretos predominantemente em formações carboníferas de diferentes períodos geológicos, onde apresentou concentrações contidas nas jazidas de carvão de 130 mg/kg, colocando dessa forma a população em exposição tanto na queima do carvão quanto pela lixiviação do fluoreto nas águas subterrâneas e no solo (YANG *et al.*, 2017).

Outra atividade humana, as quais, inserem os íons de fluoretos no organismo humano, está relacionado a fluoretação das águas de abastecimento. A presença constante destes íons na cavidade bucal com alguns outros processos químico-físicos existentes, servem para o controle da cárie dental. Portanto a inserção dos fluoretos na água para o abastecimento público se tornou eficaz no controle da doença infecciosa, porém se aplicada em correta dosagem não tolerando o consumo em excesso do elemento (GUIMARÃES, 2020).

Em 1958, a Organização Mundial de Saúde constituiu um Comitê de Peritos em fluoretação das águas, o qual produziu um relatório, que conduziu a prática da fluoretação, norteando essa política como medida eficaz a saúde coletiva. Após este relatório, o Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos implementou parâmetros para a fluoretação das águas, sendo o clima como elemento decisivo, logo todo o continente aderiu e passou a utilizar os mesmos parâmetros (BRASIL, 2012).

A fluoretação no Brasil se iniciou em 1953, no município de Baixo Guandu, no Espírito Santo, posteriormente na cidade de Marília, no interior de São Paulo em 1956 e na sequência da cidade de Taquara, estado do Rio Grande do Sul, em 1957. Após essa movimentação foi aprovada a Lei Estadual nº 3125 de 18 de junho de 1957, tornando obrigatório a fluoretação em estações de tratamento gerenciadas pelo estado, se expandido até a década de 60 (SANTOS, 2019).

No ano de 1974 o Congresso nacional aprovou a Lei nº 6050, que determina em seu primeiro artigo, a inserção de práticas a fluoretação aos sistemas públicos de abastecimento. Em 1975 esta lei foi regulamentada, pelo decreto nº 76872 de 22 de dezembro, nomeando o Ministério da Saúde o responsável por estabelecer os parâmetros e regras da fluoretação no território nacional. Dentre eles, condições quanto às concentrações mínimas e máximas recomendadas, os métodos de análise, os procedimentos técnicos e equipamentos utilizados na quantificação de concentrações do flúor em águas de abastecimento, além de considerar os teores de flúor naturalmente existentes (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2012).

A partir deste momento apoiada a Lei nº 6050, as normas e padrões de fluoretação foram adotadas pelo território brasileiro, foram estabelecidas pela Portaria nº635/BSB, de 26 de dezembro de 1975, reforçando a análise diária e mensal da concentração de flúor, sendo essa regulada pela média térmica máxima diária (Tabela 1). Na região investigada que engloba a BHBT, os valores e intervalos recomendados se encontram como aqueles calculados em Pinese *et al.*, (2021), para a região norte do Paraná, que apresentam balizamento por teores máximos de 0,8 mg/L e mínimos de 0,6 mg/L.

Tabela 1 - Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto em função da temperatura média diária

Média das temperaturas máximas diárias do as °C	Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto em mg/L		
	Mínimo	Máximo	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	1,2	0,9
21,5 – 26,3	0,7	1,0	0,8
26,4 – 32,5	0,6	0,8	0,6

Fonte: Ministério da Saúde (1975).

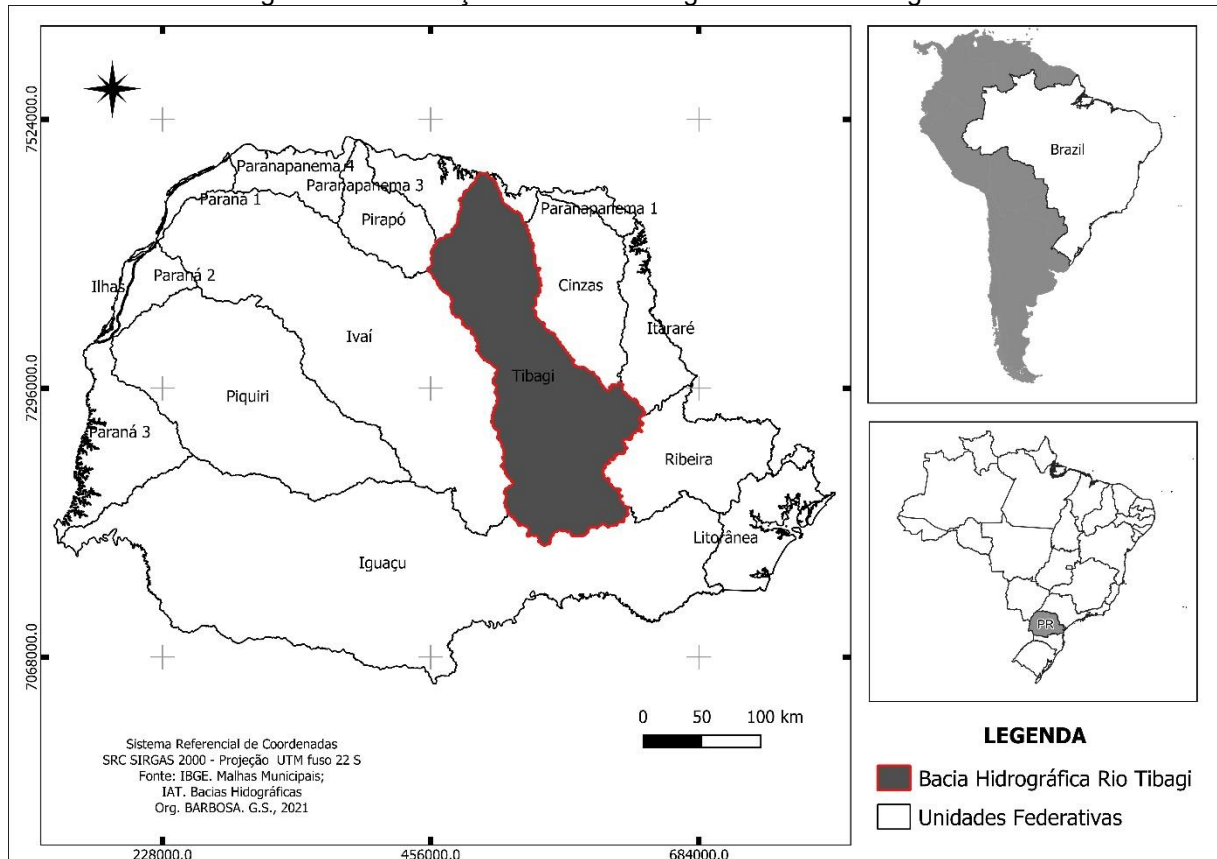
3.12 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI (BHT)

A bacia hidrográfica do rio Tibagi localiza-se entre as coordenadas 22° 47'22" e 25° 36'25" de latitude sul, e 49° 36' 00" e 51° 27' 36" de longitude oeste (Figura 1), onde abrange o primeiro, segundo e o terceiro planalto paranaense (Pertille *et al.*, 2017). Limita-se ao norte pela bacia do rio Paranapanema; a leste com as bacias do rio das Cinzas e Itararé; a sudeste com a bacia do rio Ribeira; ao sul com a bacia do

rio Iguaçu; a oeste com a bacia do rio Ivaí; e a noroeste com a bacia do rio Pirapó; possuindo 65 tributários principais (DE FRANÇA, 2002).

Segundo Pinese (2002), a Bacia hidrográfica do Tibagi compreende uma área aproximada de 24.712 km², a qual equivale a 13% do território do Paraná e está posicionada na porção leste do estado do Paraná, no norte. Sua nascente principal está localizada na região de Ponta Grossa, mais especificamente no município de Palmeira, no segundo Planalto Paranaense a 1.150 metros de altitude, com extensão de 550 km em direção norte, no terceiro planalto até a altitude de aproximadamente 334 m, desaguando no rio Paranapanema, no município de Primeiro de Maio, divisa dos estados de São Paulo e Paraná (ZIMMERMANN *et al.*, 2008; IAT, 2009).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi - PR



Fonte: IBGE, malhas municipais. Org.: O próprio autor

Através dos resultados obtidos pelo método Köppen, França (2002) confirma estudos anteriores realizados por Iapar (1994); Maack (1981), caracterizando o alto

curso do rio Tibagi por possuir domínio do clima Cfg'b¹. O médio e o baixo curso do rio Tibagi correspondem ao clima Cfg'a².

Em relação a geologia Pinese (2002), descreve que quase toda Bacia do Rio Tibagi está inserida em sequências estratigráficas Paleozoicas e Mesozoicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Na porção do Primeiro Planalto Paranaense, as unidades geológicas presentes são da idade Proterozoica Superior (Formação Votuverava, Formação Itaiacoca, Formação Camarinha, Suite Monzo Granitos e Granodioritos Porfiróides) e Paleozóica (Grupo Castro) (MINEROPAR, 2006; IAT, 2009).

Na porção do Segundo Planalto Paranaense, encontra-se toda sequência de sedimentos Paleozoicos da Bacia Sedimentar do Paraná, englobando o os grupos Paraná, Itararé, Guatá e Passa Dois. A maior parte da bacia encontra-se localizada nesta região com cerca de 60% do território, sendo que 24% fica no grupo Itararé, formado por rochas sedimentares incluindo arenitos, folhelhos, siltitos, argilitos, diamictitos e tilitos (MINEROPAR, 2006; AGUASPARANÁ, 2009).

A parte correspondente ao Terceiro Planalto Paranaense é representado pela sequência de sedimentos Mesozoicos e rochas vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, abrangendo os grupos São Bento e Bauru. Esta porção corresponde 30% da BHT, formada principalmente por derrames basálticos com intercalação de lentes e camadas arenosas (MINEROPAR, 2006; AGUASPARANÁ, 2009).

Em relação a geomorfologia da BHT, temos no Primeiro Planalto Paranaense uma pequena porção da bacia, onde as altitudes podem chegar a aproximadamente 1.320 metros na cidade de Castro e Piraí do Sul. No Segundo Planalto (maior parte da bacia) temos cabeceiras do rio Tibagi situadas a oeste da Escarpa Devoniana e no reverso da Escarpa da Serrinha, com uma altitude média de aproximadamente 1.150 metros. Na região do município de Tibagi, as altitudes diminuem até aproximadamente 511 metros, onde o curso hídrico atravessa a Escarpa da Serra Geral, no limite do Segundo e Terceiro Planalto Paranaense, têm-se o exutório da bacia onde as altitudes

¹ Cfa: clima sub-tropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (FRANÇA, 2002).

² Cfb: clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (FRANÇA, 2002).

g': temperaturas máximas entre janeiro e junho.

variam de 340 a 1.180 metros em relação ao nível do mar (FRANÇA, 2002; MAACK, 2002; MINEROPAR, 2006).

Relacionado aos solos da BHT (bacia hidrográfica do Tibagi), a mesma, por ocupar grande parte do território do estado paranaense, possui uma grande diversidade e variedade nas suas formações pedológicas. Segundo Stipp (2002), os solos encontrados na bacia são latossolo roxo e a terra roxa estruturada, que se localizam na área do terceiro planalto; no segundo planalto predomina uma variedade maior de tipos de solos, como cambissolos, podzólicos vermelho-amarelos, litólicos, latossolos vermelho-escuros e areias quartzosas; no primeiro planalto predominam os solos litólicos e o latossolo vermelho-amarelo álico.

Quanto a vegetação, a BRT está inserida em biomas bem distintos e se organizam em escalas variadas, havendo predominância, em termos espaciais, da estepe gramíneo-lenhosa (os Campos Gerais), da floresta ombrófila mista (ou floresta de araucária) e da floresta estacional semidecidual (floresta mesófila, “mata de planalto”) (VELOSO *et al.*, 1991).

ESTUDO I - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIBAGI - PR.

4 APRESENTAÇÃO

Segundo Ciciliato; Piroli (2012), a área do baixo Tibagi está sofrendo, desde os últimos cinquenta anos, processo intenso de modificações, principalmente no quadro agrícola, com a monocultura cafeeira praticada entre os anos de 1940 e 1977. Não houve preocupação com o manejo e conservação dos solos, sendo que posteriormente ocorreu a introdução das culturas mecanizadas (soja, trigo e milho), no início dos anos 1970, cujas culturas demandam elevado uso de agroquímicos. Todo esse processo ocasiona fortes impactos ambientais com a alteração das paisagens, contaminando os solos e os recursos hídricos e avanço no desmatamento para introdução de novas áreas de cultivo.

Além de todos impactos agrícolas causados na bacia, a partir dos anos de 1974, a região do baixo Tibagi, sofreu a formação do reservatório constituído pela usina Hidrelétrica de Capivara, mudando completamente as dinâmicas hídricas, morfológicas deste ambiente, causando grandes impactos para o ecossistema, dentre eles assoreamento, erosões, perda de áreas de vegetação entre outros.

Nesse sentido, objetivou-se a caracterização e entendimento dos aspectos fisiográficos da área estudada, pois, o entendimento integrado e sistemático das características físico-geográfica do baixo Tibagi podem contribuir para a compreensão do comportamento do flúor, bem como, fornecer subsídios e ações voltadas para a minimização dos impactos ambientais na área.

A área de estudo é composta por 32 municípios pertencentes a porção do Norte do estado do Paraná, cujo recorte espacial é referente a bacia hidrográfica do Baixo Tibagi, localizada na zona 22K, de Latitude 7480881.00 m Sul e Longitude 554789.00 m Leste e zona 22J de Latitude 7332686.00 m Sul e Longitude 450706.00 m Leste em projeção UTM (Sistema Universal Transverso de Mercator), limitando-se a jusante da foz do Ribeirão das Antas no município de Curiúva e sua foz nos municípios de Primeiro de Maio e Sertaneja, junto ao Rio Paranapanema. Englobando os seguintes municípios: Apucarana, Arapongas, Assai, Bela Vista do Paraíso, Califórnia, Cambé, Congonhinhas, Cornélio Procópio, Curiúva, Faxinal, Ibitiporã, Jataizinho, Leopólis, Londrina, Marilândia do Sul, Mauá da serra, Nova América da Colina, Nova Fátima,

informações em banco de dados geográficos para armazenamento e manipulação de forma integrada em ambiente de SIG.

5.1 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS FISIOGRÁFICOS

Um banco de dados corresponde fisicamente a um diretório onde ficam armazenados tanto o Modelo de Dados, com suas definições de Categorias e Classes, quanto os projetos pertencentes ao banco (CAMARA *et al.*, 2005). Deste modo, foi utilizado um diretório para armazenar os modelos de dados caracterizados como fisiográficos, orbitais, cadastrais e modelos numéricos de terreno (MNT), nos quais, foram gerenciados por um Software de Sistema de Informação Geográfica destinados para aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados.

Associado ao banco de dados geográfico, configurou-se um projeto estabelecendo o limite geográfico da área de estudo (Retângulo Envolvente) e a projeção cartográfica, tendo em vista os dados que foram manipulados. Neste projeto foram vinculados modelos de dados do tipo imagem, cadastral, temático e MNT associados a planos de informações. Nesse sentido, primeira etapa foi caracterizada pelo levantamento das pesquisas bibliográficas, documentais e cartográficas de dados e informações referentes bacia hidrográfica do baixo Tibagi baseada principalmente pelos seguintes dados fisiográficos: dados espaciais temáticos sobre geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e climatologia, nos quais, foram digitalizados e quantificados. Os mapas temáticos serviram para o detalhamento geoambiental (diagnóstico) e posteriormente foram correlacionados e sobrepostos (prognóstico).

Em relação aos dados secundários, foram utilizados dados vetoriais e matriciais georreferenciados em grande parte foram disponibilizados por órgãos públicos como o Instituto Nacional de Geografia e Estatística – IBGE para arquivos de limites e malhas digitais municipais. Instituto de Terras, Cartografias e Geologia – ITCG para cartografias temáticas de feições geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, pedológicas e características climáticas. Informações da Agência Nacional de Águas – ANA e da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento – IAT (Instituto Água e Terra do Paraná) para dados de localização e origem de abastecimento dos municípios, além da relação dos poços tubulares.

5.2 PROCESSAMENTO DIGITAL

Os dados fisiográficos foram digitalizados, processados e armazenados. Tais procedimentos foram executados em gabinete e organizados em categorias do tipo cadastral, temática e imagem em um Banco de Dados Geográfico no ambiente SIG.

Um banco de dados corresponde fisicamente a um diretório onde ficam armazenados tanto o Modelo de Dados, com suas definições de Categorias e Classes, quanto os projetos pertencentes ao banco (CAMARA *et al.*, 2005). A base fisiográfica foi utilizada principalmente para a realização do diagnóstico da área estudada.

Após a caracterização, estes dados foram utilizados para fins de planejamento na construção de um mapa roteiro aplicado nas coletas em campo. Toda a produção cartográfica desta pesquisa foi processada pelo Sistema de Informação Geográfica – SIG Qgis versão 2.18.256 no sistema referencial de coordenadas SIRGAS 2000 em projeção plana⁷. Tendo, por fim, um levantamento de hipóteses que relacionam a possível presença de fatores que indicam anomalias geoquímicas de flúor nas águas subterrâneas justificando a escolha do recorte apresentado (SANTOS, 2019).

5.3 DIAGNÓSTICO FISIOGRÁFICO AMBIENTAL

Nesta etapa a interpretação da situação ambiental natural da área de estudo, foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica e na reinterpretação de dados temáticos preexistentes que permitem uma visão sinótica e holística. Além disso, com essa análise foi possível entender a relação dos aspectos fisiográficos com o ciclo do flúor, dado principalmente por meio do intemperismo das rochas.

A vulnerabilidade ambiental das unidades, a partir de sua caracterização morfodinâmica, é feita segundo critérios desenvolvidos a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) e Crepani *et al.*, (2001). Deste modo, a vulnerabilidade ambiental foi estabelecida com base na interpretação de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese analisando-se individualmente cada um dos temas fisiográficos (CREPANI *et al.*, 2001). Assim, a partir dessa primeira aproximação procurou-se contemplar maior variedade de categorias morfodinâmicas para construir uma relação dos aspectos fisiográficos com a vulnerabilidade ambiental.

Nesse sentido, associou-se a vulnerabilidade ambiental entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem com ambientes estáveis), situações intermediárias e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem com ambientes instáveis), nas quais, possibilitaram o entendimento da caracterização fisiográfica associadas com a vulnerabilidade ambiental natural.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 FORMAÇÃO GEOLÓGICA

A estrutura geológica do Paraná é representada por uma sequência de grandes compartimentos estratigráficos cruzando o estado de um extremo a outro. A BHBT está disposta em quase sua totalidade nas regiões do Segundo e Terceiro Planaltos onde ocorrem unidades geológicas de idade Proterozóica Superior e Paleozóica, estendendo-se de sudeste a noroeste no estado do Paraná (Figura 3), seccionando todas as sequências litoestratigráficas ocorrentes até o Terceiro Planalto Paranaense na sua foz no rio Paranapanema (PARANÁ, 2009).

A ocorrência das unidades geológicas presente na BHBT está parte inserida no Segundo Planalto Paranaense, onde o mesmo encontra-se representado geologicamente toda sequência de sedimentos paleozoicos da Bacia Sedimentar do Paraná, segundo Pinese (2002), formação que teve início à cerca de 400 milhões de anos, no Período Devoniano compreendendo os grupos Paraná, Itararé, Guatá e Passa Dois caracterizado na sequência:

a) Paleozóico, Permiano-Devoniano, Grupo Paraná, Formação Furnas e Formação Ponta Grossa.

Constituído por folhelhos e siltitos cinzentos escuros, localmente betuminosos, com intercalações de arenitos muito finos esbranquiçados. Apresenta fósseis de braquiópodes (*Australocoelia tourteloti* e trilobites) na Formação Ponta Grossa (PARANÁ, 2009).

A **Formação Furnas** é constituída por arenitos médios a grosseiros, de forma subordinada por arenitos e siltitos, esbranquiçados. Juntas, as formações Ponta Grossa e Furnas representam afloramento em cerca de 15% da área da BHT.

A **Formação Ponta Grossa** proveniente de depósitos litorâneos e de plataforma formada por folhelhos e siltitos cinzentos, localmente betuminosos, com intercalações de arenitos muito finos, esbranquiçados. Apresenta estruturas como laminação paralela, ondulada e flaser (MINEROPAR, 2001).

b) Paleozóico, Permiano-Devoniano, Grupo Itararé.

O Grupo Itararé Indiviso é constituído por um conjunto heterogêneo de rochas sedimentares incluindo arenitos, folhelhos, siltitos, argilitos, diamictitos, tilitos e ocasionalmente níveis de carvão. O Grupo Itararé representa afloramento de cerca de 24% da área da BHT e estende-se desde a porção sudoeste até a porção central da bacia. O Grupo Itararé é constituído pelas Formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul (PARANÁ, 2009; MINEROPAR, 2001).

A **Formação Campo do Tenente** é originada de depósitos flúvio-glaciais, compõem-se por arenitos grosseiros, avermelhados, siltitos, ritmitos e diamictitos (arenitos Vila Velha e Lapa). Apresenta estratificação cruzada horizontal e camadas contorcidas.

A **Formação Mafra** Composta por depósitos de planície litorânea e de plataforma periglacial, tem como litologias arenitos finos a grosseiros, esbranquiçados e amarelados, siltitos e ritmitos, com estratificação cruzada, horizontal, paralela rítmica e ondulada.

A **Formação Rio do Sul** formada em ambientes litorâneos de plataforma periglacial e deltáica, compõe-se de folhelhos e siltitos cinzentos dos membros Passinho e Guaraúna, arenitos finos a médios, esbranquiçados, diamictitos e raras camadas de carvão de Ribeirão Novo. As estruturas são laminação paralela, ondulada, microcruzada e convoluta.

c) Paleozóico, Permiano-Devoniano, Grupo Guatá, Formação Rio Bonito e Formação Palermo.

O Grupo Guatá é constituído por arenitos e siltitos, cinzentos, esverdeados e amarronzados com intercalações de lentes de calcário micríticos e estromatolíticos da Formação Rio Bonito. No **membro Paraguaçu** da Formação **Rio Bonito** aparecem arenitos cinzentos a esbranquiçados, finos a grosseiros, lentes de conglomerados e intercalações de siltitos, folhelhos carbonosos e camadas de carvão (PARANÁ, 2009; MINEROPAR, 2001).

A **Formação Palermo** é constituída por siltitos cinzentos com laminação paralela, “flaser” e bioturbação. O Grupo Guatá corresponde a afloramento em cerca de 10% da área da BHT.

d) Paleozóico, Permiano-Devoniano, Grupo Passa Dois, Formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto.

A **Formação Irati** é constituída por argilitos e folhelhos cinzentos que apresentam laminação paralela com presença de fósseis de crustáceos. Apresenta também folhelhos pretos betuminosos, com intercalações de calcários, exemplares fósseis de répteis (*Mesosaurus Brasiliensis*) (PARANÁ, 2009; MINEROPAR, 2001).

A **Formação Serra Alta** é constituída por lamitos e folhelhos cinzentos escuros, maciços e microlaminados. Apresenta fósseis de pelecípodes, peixes e crustáceos.

A **Formação Teresina** é constituída por siltitos acinzentados com intercalações de calcários micrítico e estromatolítico, laminação paralela, ondulada, “flaser” e gretas de contração. Apresenta fósseis de pelecípodes.

A **Formação Rio do Rasto** é constituída por argilitos e siltitos avermelhados, com arenitos finos intercalados, apresenta estratificação plano-paralela e cruzada e fósseis de anfíbios.

O **Grupo Passa Dois** aflora em cerca de 11% da área da BHT, desde a porção sul até o centro da bacia.

Para a Região correspondente ao Terceiro Planalto Paranaense, a mesma encontra-se representada geologicamente toda sequência de sedimentos mesozóicos e de rochas vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, compreendendo aos grupos São Bento e Bauru (PARANÁ, 2009; MINEROPAR, 2001) descrito abaixo:

1) Mesozóico, Grupo São Bento, Formações Pirambóia e Botucatu.

A **Formação Pirambóia** é constituída por arenitos finos a médios, esbranquiçados e bancos de siltitos avermelhados. Apresenta estratificação cruzada de pequeno a grande porte e horizontal, correspondendo a depósitos de planície aluvial.

A **Formação Botucatu** é constituída de arenitos eólicos róseo-avermelhados, com típica estratificação cruzada tabular de grande porte, apresenta granulação média e fina, com boa seleção e grãos bem arredondados. Frequentemente apresentam-se silicificados.

Eventuais depósitos podem ser encontrados entre derrames basálticos da Formação Serra Geral, e neste caso, portanto, são denominados de inter-trapps. A Formação Botucatu aflora em cerca de 0,8% da BHT, estendendo-se, como as formações paleozóicas, por todo o terceiro planalto sob a Formação Serra Geral.

2) Mesozóico, Grupos São Bento e Serra Geral.

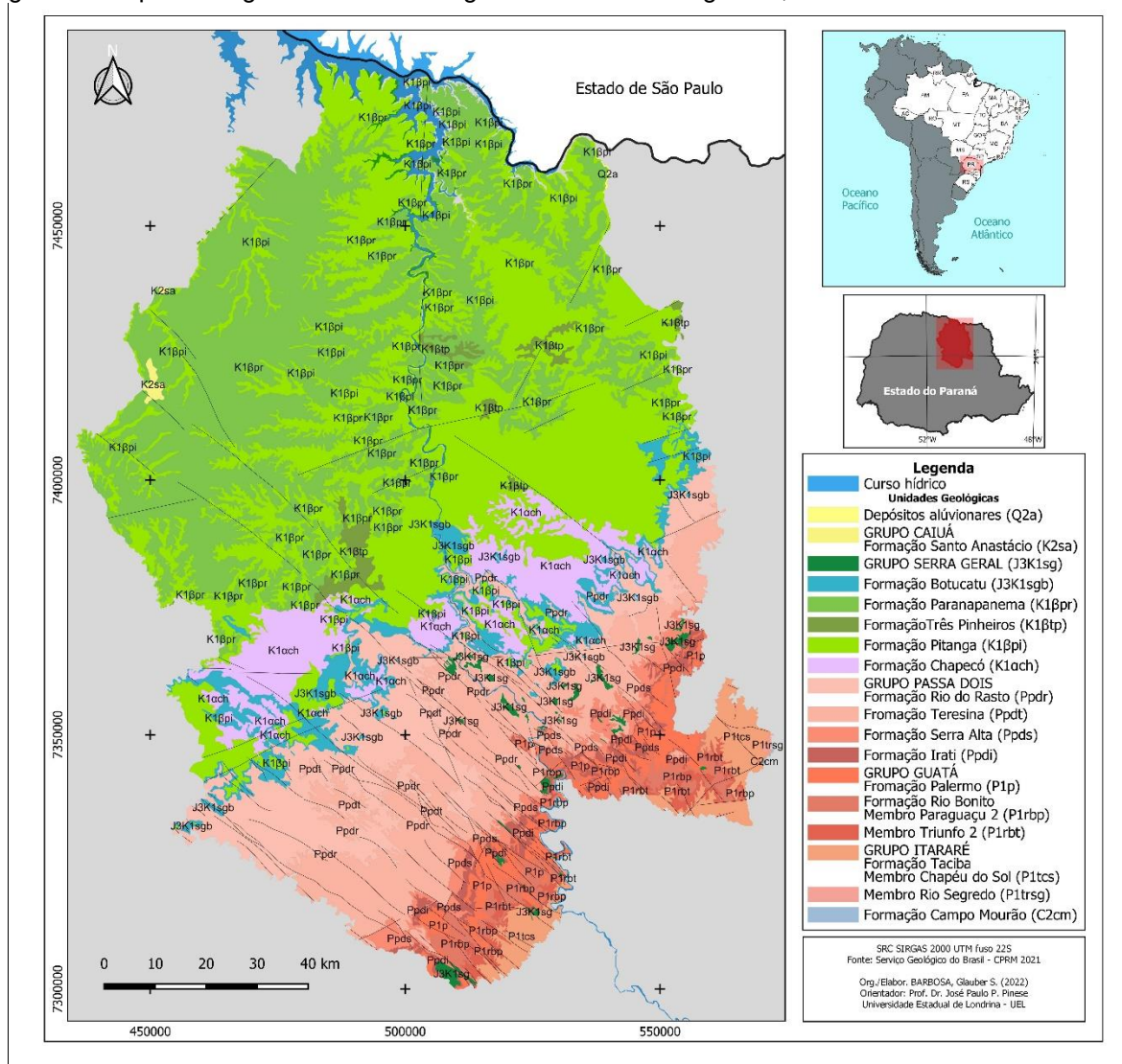
Sobre o Grupo Serra Geral compreende a sequência de derrames basálticos com intercalações de lentes e camadas arenosas que capeiam as formações Gondwânicas da bacia do Paraná. Esta consiste em rochas efusivas básicas toleíticas com basaltos maciços e amigdalóides, afaníticos cinzentos a pretos, raramente andesíticos, provenientes de derrames de intenso vulcanismo de fissura continental de idade Juro-Cretácica, iniciados quando ainda perduravam as condições desérticas de sedimentação da Formação Botucatu. Tal fato é atestado pela presença de inúmeros corpos arenosos de origem eólica na parte basal da formação (MINEROPAR, 2001; PARANÁ, 2009).

O grupo Serra Geral aflora em cerca de 29% da área da BHT. Em termos de ocorrência o grupo Serra Geral está presente também no primeiro e segundo planalto, representada por estruturas denominadas sills e diques de diabásio, os quais estão dispostos de modo concordante e discordante com os sedimentos paleozóicos, respectivamente. Tais estruturas são revestidas de grande importância na prospecção e no armazenamento das águas subterrâneas.

3) Mesozóico, Grupo Bauru e Caiuá

O **Grupo Caiuá** compreende a sequência suprabasáltica constituída de arenitos finos a médios, avermelhados, róseos e arroxeados, friáveis, grãos arredondados, com abundante estratificação cruzada do tipo tangencial. Ocupa afloramento de apenas cerca de 0,1% da BHT (PARANÁ, 2009; MINEROPAR, 2001).

Figura 3 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi - PR, no Norte do Estado do Paraná.



Fonte: MINEROPAR, 2006. Editoração: Barbosa, G. S.

De modo indiferenciado e distribuídos sobre as sequências litoestratigráficas anteriormente descritas no primeiro, segundo e terceiro planaltos, ocorrem os sedimentos aluvionares do Quaternário, Holoceno, denominados Aluviões, que são constituídos principalmente por areias, siltes, argilas e cascalhos, depositados em canais, barras e planícies de inundação, também denominados aluviões indiferenciadas. Também ocorrem os denominados aluviões atuais, que se encontram dispostos em planícies ao longo das drenagens e em pequenas depressões alveolares fechadas em todas as sequências litoestratigráficas anteriormente descritas. Apresentam constituição variada, predominando depósitos homogêneos areno-argilosos, com intercalações de bancos arenosos. No conjunto, os sedimentos

holocênicos correspondem à cerca de 3% de área de afloramento da BHT em ordem cronológica decrescente, das mais recentes para as mais antigas (PARANÁ, 2009).

Nesse sentido, entende-se que tal caracterização geológica supracitada possui um grau de estabilidade ambiental, ou seja, toda rocha é um agregado de minerais, sua resistência ao intemperismo vai depender da resistência ao intemperismo dos minerais que a compõem (o que depende da natureza das ligações entre os átomos dos diferentes elementos químicos que os constituem), bem como, da resistência à desagregação entre os minerais (o que vai depender da natureza das forças que juntaram as partículas, cristais ou grãos) (CREPANI *et al.*, 2001).

Assim, verificou-se que, as formações geológicas caracterizadas acima, associadas com baixa coesões, por exemplo, arenitos, folhetos, siltitos e aluviões podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese) vinculados com ambientes instáveis, por outro lado, rochas estruturalmente coesas, por exemplo, o basalto prevalecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese) vinculados com ambientes estáveis.

Além disso, é importante destacar que os minerais de maior solubilidade ou alterabilidade disponibilizam maiores quantidades de flúor para as soluções percolante. Em rochas alcalinas a fluorita ocorre sob formas de veios ou disseminada em rochas nefelina-sienitos e carbonatitos. Em rochas metamórficas a fluorita foi reconhecida dispersa na matriz de mica xistos silicificados. Em rochas sedimentares o flúor é reportado para os tipos litológicos como: arenito, rochas carbonáticas, carvão e fosforito (HEM, 1985; NANNI, 2008).

6.2 HIDROGEOLOGIA E UNIDADES AQUÍFERAS

O presente item é responsável pela apresentação da hidrogeologia e das unidades aquíferas do Estado do Paraná. No estado foram delimitadas 10 (dez) Unidades Aquíferas (Pré-Cambriana, Karst, Paleozóica Inferior, Paleozóica Média-Superior, Paleozóica Superior, Guarani, Serra Geral Norte e Sul, Caiuá, Guabirotuba e Costeira) determinadas a partir dos conjuntos litológicos, estruturais e de comportamento hidrológico similar, baseado o Atlas Hídrico da SUDERHSA (1998). No entanto, na BHT estão presentes 8 (oito) Unidades Aquíferas e no Baixo Tibagi (área de interesse do estudo) foram apresentados apenas 5 Unidades (Figura 4), as quais são caracterizadas a seguir.

6.3 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL – SASG

O Aquífero Serra Geral abrange a maior parte do Estado do Paraná (todo o Terceiro Planalto) e abastece grande parte dos municípios com água de excelente qualidade. Isso o torna um dos mais importantes aquíferos do Estado, com os maiores volumes captados de água subterrânea no Paraná (IAT, 2020; PETERLINI *et al.*, 2021).

Constituído de derrames de lavas basálticas, o aquífero Serra Geral é do tipo secundário, efetivando o seu armazenamento em estruturas de fraturamentos tectônicos, e estruturas de diaclases, originárias do resfriamento dos derrames, ocorridas posteriormente à formação da rocha. Envolve aproximadamente 70% da unidade territorial do Estado do Paraná. As espessuras dos derrames podem chegar a 1.500 metros onde, sob essa espessa capa, são encontradas as sequências sedimentares da Bacia do Paraná. Produtividades mais expressivas estão localizadas na porção norte da Bacia do Iguaçu, com vazão média na ordem de 30.000 L/h, A unidade Serra Geral Sul corresponde a área da bacia do rio Iguaçu, no Terceiro Planalto, e a Serra Geral Norte, nas áreas onde ocorrem as demais bacias do Terceiro Planalto, incluindo as bacias dos rios Ivaí, Itararé, Piquiri, Paraná 3, Pirapó, Tibagi, Cinzas e Paranapanema 1, 2 e 3 (IAT, 2020; ÁGUASPARANÁ, 2010; ARAÚJO *et al.*, 1995).

6.4 AQUÍFERO GUARANI

Um dos maiores reservatórios de Água Doce do Planeta, localiza-se na Bacia Geológica do Paraná, a porção centro-leste do Continente Sul-americano, abrangendo quatro países do Mercosul: Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai.

No Estado do Paraná, sua ocorrência coincide com a área de todo o Terceiro Planalto Paranaense. O aquífero Guarani apresenta-se confinado, uma vez que 90% de sua área está recoberta pelos derrames do Grupo Serra Geral. Suas áreas de recarga localizam-se nas bordas da bacia em faixas alongadas de rochas sedimentares que afloram à superfície (IAT, 2020).

Também conhecido como Aquífero Botucatu, denominado com Aquífero Gigante do Mercosul (Araújo *et al.*, 1995) ou Aquífero Guarani, é referido como sendo o conjunto de estratos eólicos e flúvio-lacustres que se encontram sotopostos aos

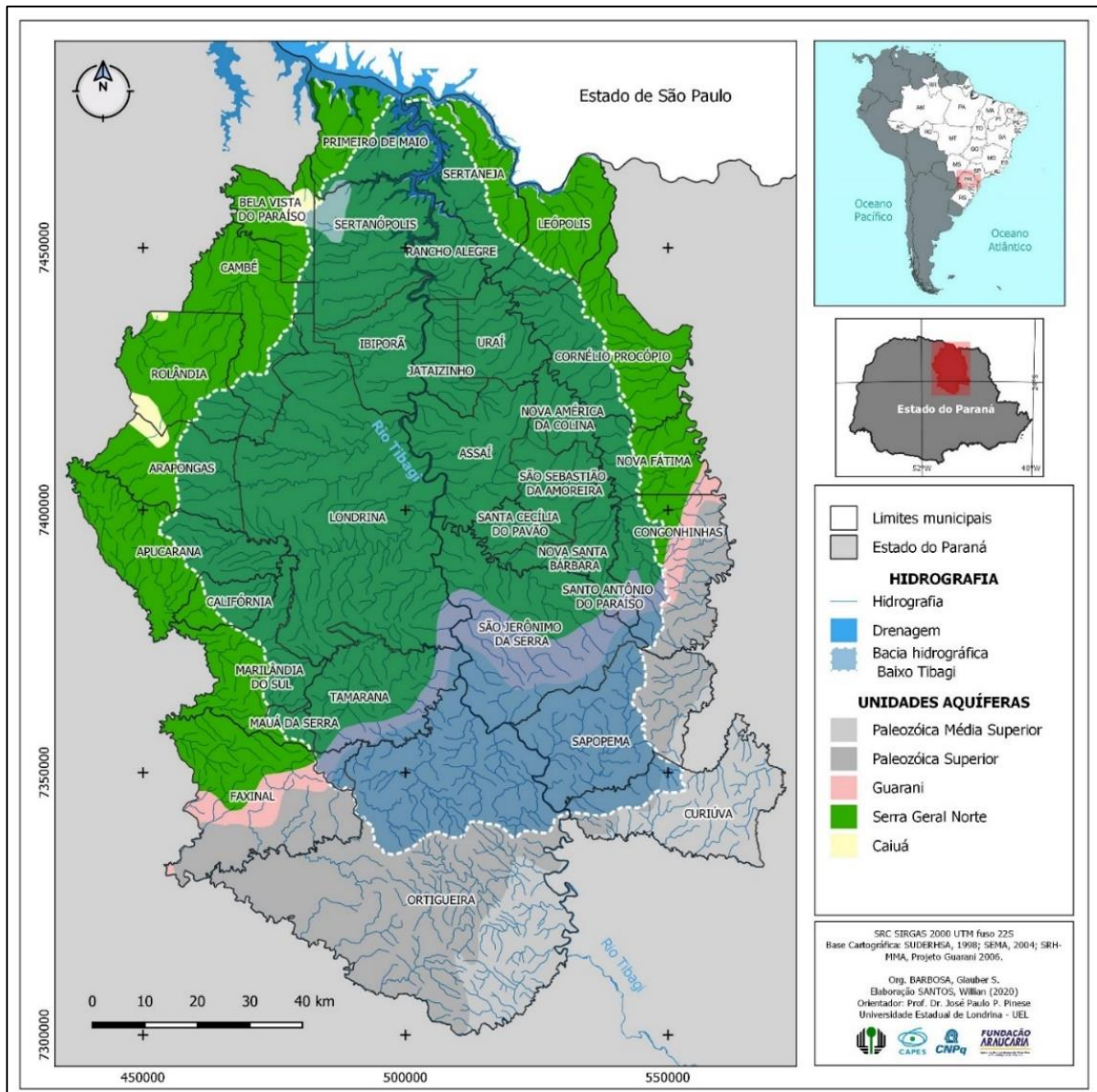
basaltos do Grupo Serra Geral. No Estado do Paraná, a maior parte do aquífero encontra-se confinada e distribuída numa área de 103.930,92 km², abrangendo toda a extensão do Terceiro Planalto Paranaense (ÁGUASPARANÁ, 2010).

6.5 CAIUÁ

No noroeste do Estado, é formada exclusivamente por depósitos sedimentares (arenitos da Grupo Caiuá). Apesar da potencialidade hídrica muito menor, quando comparado ao aquífero Guarani, o seu aproveitamento é economicamente muito importante devido à sua distribuição geográfica e menor custo para sua captação. Trata-se de aquífero acessível, de ótima permeabilidade/porosidade e, portanto, vulnerável à contaminação (IAT, 2020).

O aquífero Caiuá é representado, predominantemente, por arenitos finos a médios com um teor de até 30% de matriz siltico-argilosa e com cimento limonítico e carbonático, intercalados por camadas de siltitos e argilitos (Almeida *et al.*, 1980). É importante destacar a importância do Caiuá para a região em termos de abastecimento público, uma vez que cerca de 80% da população que vive sobre este aquífero é abastecida com águas deste reservatório subterrâneo. Em alguns locais, o aquífero Caiuá se apresenta como semi-confinado. Em qualquer situação, o limite do Caiuá, ao norte, é feito pelo rio Paranapanema, e sua extensão corresponde a região de solos arenosos onde o rio Ivaí adentra até o rio Paraná. O limite sul localiza-se, exatamente, no ponto de descarga do rio Piquiri no rio Paraná (ÁGUASPARANÁ, 2010). No entanto, sua distribuição na BHBT (bacia hidrográfica do baixo Tibagi) é muito restrita.

Figura 4 - Mapa Hidrogeológicos e Unidades Aquíferas da Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi - PR, no Norte do Estado do Paraná.



Fonte: MINEROPAR, 2006. Edição: Barbosa, G. S.

6.6 UNIDADE AQUÍFERA PALEOZÓICA MÉDIA SUPERIOR - UAPMS

A unidade aquífera Paleozóica Média-Superior é formada pelos aquíferos Rio Bonito e Itararé e está localizada no Segundo Planalto Paranaense, é constituída principalmente pelas litologias que constituem o aquífero Itararé que são representadas por camadas de arenitos que se encontram intercaladas com diamictitos, argilitos e folhelhos varvitos. Uma das características marcantes do aquífero é a variação lateral, tanto dos arenitos como dos sedimentos pelíticos. O aquífero Rio Bonito é representado por arenitos de granulação fina a média, às vezes

conglomeráticos, que ocorrem intercalados com folhelhos, siltitos, argilitos e leitos de carvão. Na região de ocorrência dessas rochas, igualmente distribuídas no Segundo Planalto Paranaense (ÁGUASPARANÁ, 2010).

6.7 UNIDADE AQUÍFERA PALEOZÓICA SUPERIOR - UAPS

Em termos hidrogeológicos, essas unidades geológicas não apresentam nenhuma característica. Não existem sequer registros da proveniência das entradas de água nos poços que seccionaram as litologias de cada uma delas. As unidades geológicas representadas pelas formações Irati, Serra Alta, Palermo, Terezina e Rio do Rasto, do Paleozóico Superior, não são classificadas como aquíferos. Todas elas ocorrem no Segundo Planalto do Paraná (Figura 4) (ÁGUASPARANÁ, 2010).

Por fim, é importante destacar que a composição química das águas subterrâneas é derivada de diferentes fontes de solutos, que incluem gases atmosféricos, produtos do intemperismo de rochas e derivados de atividades humanas (HEM, 1985). Sobre os fluoretos em águas subterrâneas, pode ser benéfica ou não, dependendo da concentração desse elemento no meio. A origem do flúor pode estar relacionada a diferentes hipóteses: filiação litoquímica, controle tectônico e a contribuição antrópica (NANNI, 2008).

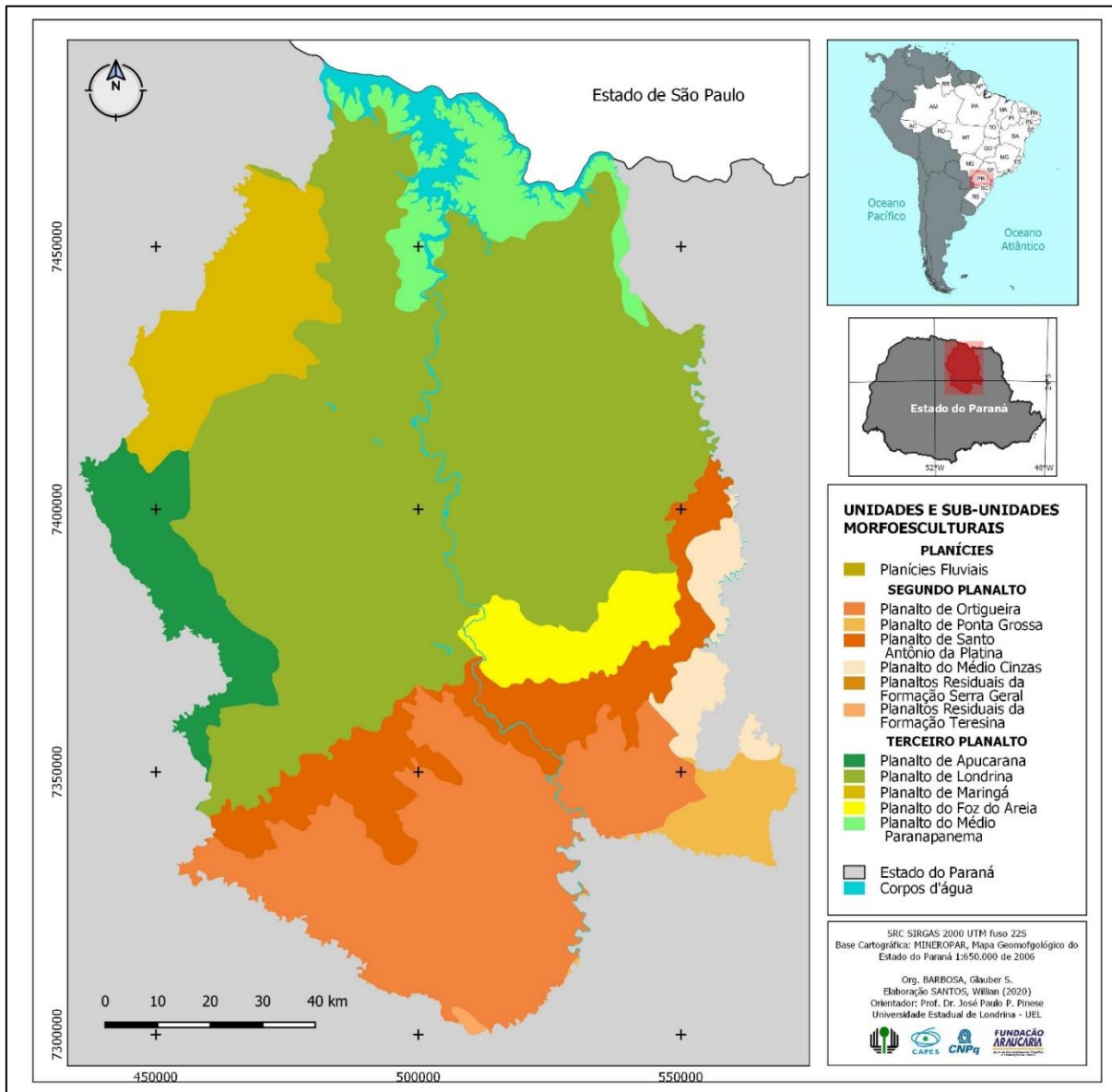
6.8 GEOMORFOLOGIA

Os atributos geomorfológicos de uma determinada área são diretamente influenciados pelo substrato geológico na configuração do relevo em unidades morfoestruturais, bem como pelas relações entre a litologia e a ação intempérica sobre elas, o que resulta nas unidades morfoesculturais. Neste aspecto a geomorfologia da BHBT é bastante heterogênea, pois ela possui uma grande extensão de superfície, a qual abrange todas as Unidades Morfoestruturais do Estado do Paraná, seccionando-as no sentido sudeste a noroeste. A BHBT compreende as seguintes unidades morfoestruturais e morfoesculturais (Figura 5), de acordo com o Atlas Geomorfológico da (MINEROPAR, 2006):

Bacia Sedimentar do Paraná – trata-se de uma extensa depressão deposicional situada no centro-leste do continente sul-americano, cobrindo no estado do Paraná cerca de 130.000 km². Trata-se de uma bacia intracratônica simétrica, preenchida com

quase 5.000 m de sedimentos paleozóicos, mesozóicos, lavas basálticas e, localmente, rochas cenozóicas. Engloba as unidades morfo-esculturais do Segundo e Terceiro Planalto Paranaense com suas respectivas sub-unidades representadas na BHBT a saber (MINEROPAR, 2006):

Figura 5 - Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi - PR, no Norte do Estado do Paraná.



Fonte: MINEROPAR, 2006. Editoração: Barbosa, G. S.

Segundo Planalto Paranaense - Representado pela presença das sub-unidades morfo-esculturais dos Planaltos de São Luiz do Purunã, do Alto do Ivaí, de Ortigueira, de Santo Antônio da Platina, de Jaguariaíva, de Tibagi, de Ponta Grossa, do Guatá, de São Mateus do Sul, de Irati, de Prudentópolis e os Residuais da Formação Teresina, os quais, juntos, ocupam cerca de 60,58% da área da BHBT, com

predominância do Planalto de Ponta Grossa caracterizado por grau de dissecação médio, topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas, apresentando vales em “U”, com altitude variando de 480 a 1.080 m.

Terceiro Planalto Paranaense - Representado pela presença das sub-unidades morfo-esculturais dos Planaltos de Foz do Areia, de Apucarana, de Londrina, do Médio Paranapanema e de Maringá, os quais, juntos, representam cerca de 27,96% da área da BHBT, com ampla predominância do Planalto de Londrina caracterizado por grau de dissecação médio, topos alongados, vertentes convexas, apresentando vales em “V”, com altitude variando de 340 a 1.180 m.

Bacias Sedimentares Cenozóicas - apresenta como sub-unidade morfoescultural as Planícies Fluviais ocorrentes em praticamente todas as unidades morfo-esculturais do Cinturão Orogênico do Atlântico e da Bacia Sedimentar do Paraná e ocupam cerca de 0,64% da área da BHBT. As Planícies Fluviais são constituídas por sedimentos recentes de areias, siltes, argilas e cascalhos.

Nesse sentido, entende-se que tal caracterização geomorfológica supracitada possui um grau de estabilidade ambiental, ou seja, os índices morfométricos do terreno como: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade, condicionam a vulnerabilidade desta unidade (CREPANI *et al.*, 2001). Desta forma, na BHBT destacam-se as áreas de transição entre os planaltos, relacionadas principalmente com a dissecação do relevo e pela amplitude altimétrica, nas quais, caracterizam essas áreas como vulneráveis ambientalmente (Figura 6).

Figura 6 - Transição entre o segundo e terceiro planalto, PR.



Fonte: o próprio autor

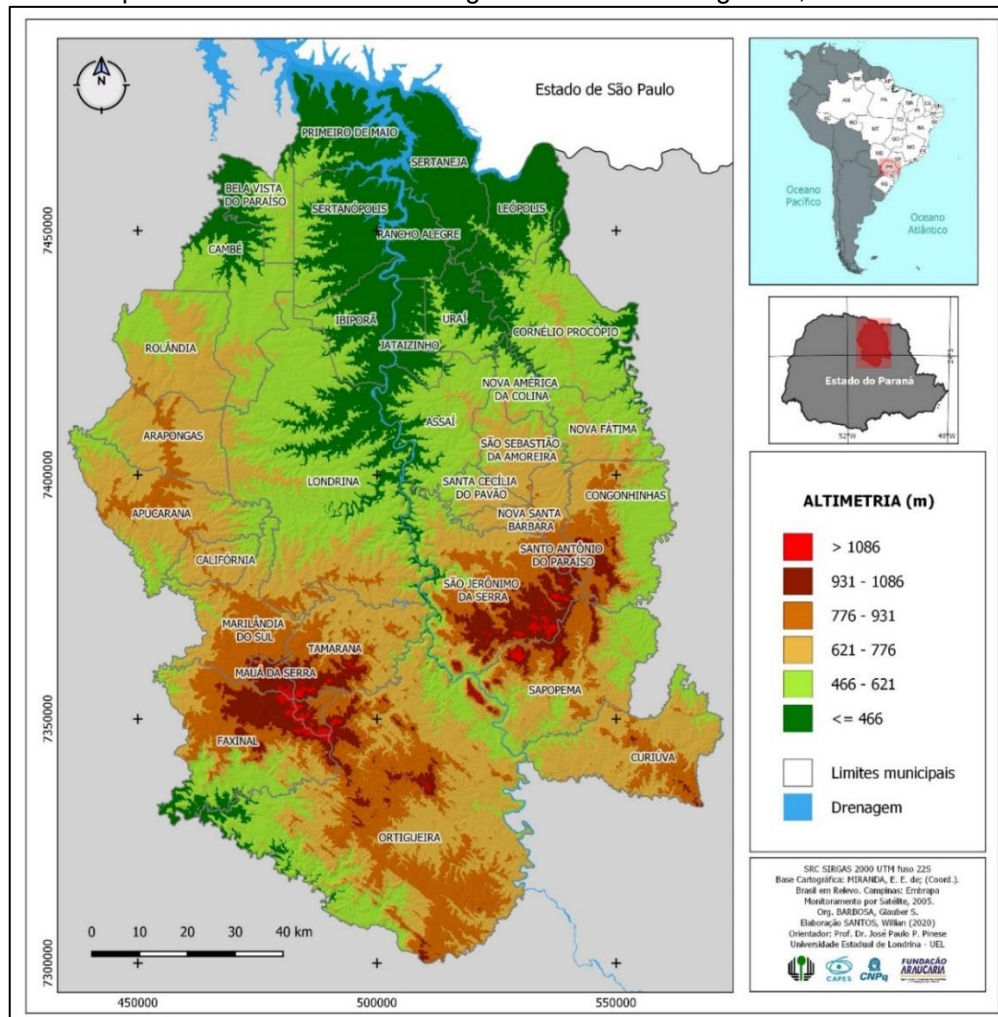
A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha. Rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, apresentam maior

quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno (CREPANI *et al.*, 2001).

6.9 ALTIMETRIA DA BHBT

Deve-se destacar que há uma variação de altitude acentuada na BHBT, variando de 1.200 m nas cabeceiras a 250 m em sua foz. As regiões mais altas estão localizadas nas áreas de transição entre o Primeiro e o Segundo Planalto, região esta conhecida como Escarpa Devoniana, enquanto que as mais baixas, junto ao rio Paranapanema, na porção norte da bacia (PARANÁ, 2009) (Figura 7).

Figura 7 - Mapa Altimétrico da Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi - PR, no Norte do Paraná.



Fonte: EMBRAPA, Brasil em relevo, 2005. Editoração: Barbosa, G. S.

Sobre a altimetria a vulnerabilidade ambiental da BHBT está relacionada com amplitude altimétrica associada com o aprofundamento da dissecação, ou seja, é um

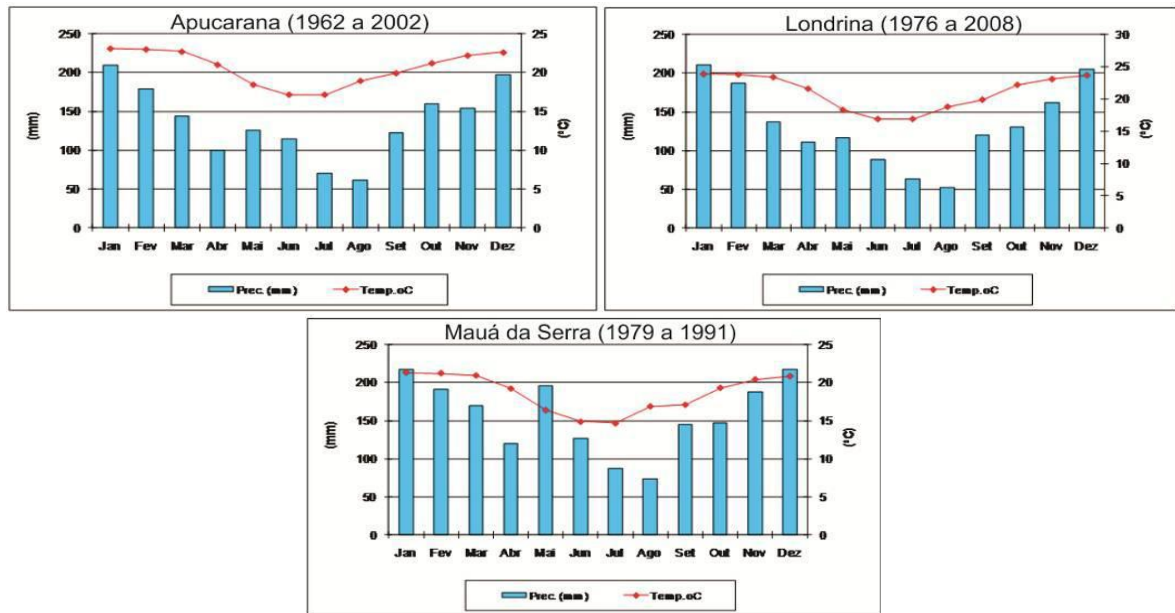
indicador da energia potencial disponível para o “runoff”. Quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial, pois as águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do terreno adquirirão maior energia cinética no seu percurso em direção às partes mais baixas e, conseqüentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese (CREPANI *et al.*, 2001). Nesse sentido, destacam-se as regiões sudeste e sudoeste da BHBT caracterizadas como vulneráveis com base na amplitude altimétrica. Por outro lado, baixas amplitudes altimétricas estão associadas com áreas com maior estabilidade, observados principalmente nas regiões norte e nordeste da BHBT.

6.10 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

O clima da região é considerado de acordo com a classificação de Köppen, correspondente ao clima Cfa: clima sub-tropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (FRANÇA, 2002).

Segundo Manosso *et al.* (2013), na região da BHBT o comportamento geral das médias de temperatura e precipitação vão de encontro a predominância do clima sub-tropical úmido, pois, em todas as estações os dados demonstram a ausência de uma estação seca, sendo os meses de julho e agosto com menos acumulo de precipitação e os meses de verão, dezembro e janeiro com maior precipitação (Figura 8).

Figura 8 – Climogramas: série Histórica de precipitação e temperatura por estação/município inseridos na BHBT.



Fonte: Manosso *et al.*, 2013.

De acordo com Crepani *et al.*, (2001), o clima controla o intemperismo diretamente, através da precipitação pluviométrica e da temperatura, e também indiretamente através dos tipos de vegetação. Além disso, a causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas provocando o intemperismo, posteriormente, sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. Nesse sentido, áreas na BHBT localizadas em regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso estão associadas à estabilidade ambiental, por outro lado, áreas localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso, indicam áreas com maior vulnerabilidade ambiental.

Nesse sentido, sobre a concentração de minerais em águas subterrâneas, por exemplo, o flúor, segundo Feitosa (2009) e Santiago (2010), destacam que os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero, ou seja, devido ao escoamento lento nos diferentes aquíferos, a água subterrânea tende a aumentar suas concentrações de substâncias dissolvidas, além disso, outros fatores podem influenciar, tais como: clima (sazonalidade/solubilidade), composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, litologias atravessadas e ação antrópica.

6.11 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

A região da BHBT está situada no Terceiro Planalto Paranaense, representados pelas subunidades morfoesculturais dos Planaltos de Foz de Areia de Apucarana, de Londrina, do médio Paranapanema e de Maringá, representando 27,96% da área da bacia do Rio Tibagi, com ampla predominância no Planalto de Londrina (MINEROPAR, 2006). De acordo com a referida classificação, no segundo planalto predomina uma variedade maior de classes de solos, como Cambissolos Háplicos e Flúvicos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Regolíticos e Litólicos, Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos; no terceiro planalto predominam Neossolos Litólicos, Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos (STIPP, 2002; SiBCS, 2018) (Figura 9).

Segundo Crepanni *et al.*, (2001), dentro do processo morfodinâmico, os solos participam como produto direto do balanço entre a morfogênese e a pedogênese indicando claramente se prevaleceram os processos erosivos da morfogênese, por outro lado, se prevaleceram processos de pedogênese, gerando solos bem desenvolvidos. Na BHBT encontram-se solos com alta instabilidade ambiental, por exemplo, Cambissolos, Neossolos e Gleissolos. Tal instabilidade é caracterizada principalmente pelos aspectos de estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis.

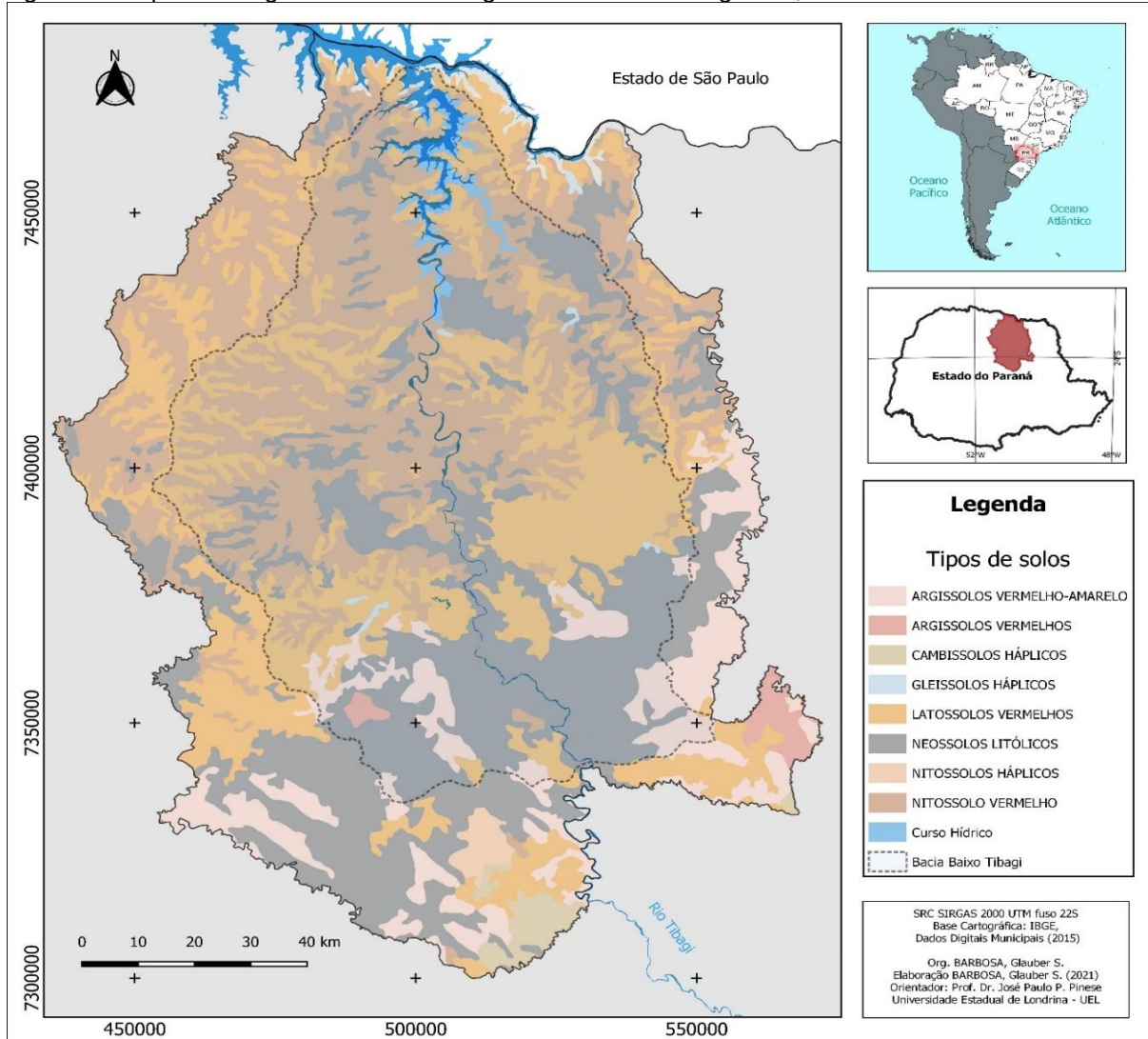
Além disso, o uso agrícola de áreas de alta vulnerabilidade natural tem se intensificado em todo o país, cedendo, muitas vezes, à pressão de expansão das terras para fins agropecuários, entre essas áreas estão aquelas de afloramento de aquíferos (GOMES, 2008).

Nesse sentido, o CONAMA na Resolução N° 420 de 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo: Art. 6°, VIII - Investigação confirmatória: etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação; XXI - Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea.

Deste modo, entende-se que práticas conservacionistas voltadas para relação solo/água, com intuito de evitar que áreas de recarga de aquíferos ocorra algum

comprometimento da água subterrânea, particularmente quanto à sua qualidade, são de suma importância para estabilidade ambiental, principalmente dos recursos hídricos.

Figura 9 - Mapa Pedológico da Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi - PR, no Norte do Estado do Paraná.



Fonte: IBGE/BDA, Dados digitais municipais, 2015. Edição: Barbosa, G. S.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados demonstraram a importância de se conhecer prévia e detalhadamente o meio físico e antrópico das áreas analisadas. Nesse caso, a partir da análise sistêmica integrada associadas as geotecnologias possibilitaram caracterizar e subsidiar diagnósticos ambientais para fins de tomadas de decisão, relacionadas à conservação e preservação dos recursos naturais, bem como, a compreensão dos aspectos hidrogeológicos associados com o comportamento do

fluoreto na área de estudo.

Além disso, é importante destacar a eficácia do método, ou seja, o suporte tecnológico como geoprocessamento, SIG e a cartografia digital contribuíram na obtenção dos resultados deste estudo, nos quais, auxiliaram na integração dos dados fisiográficos proporcionando uma análise sistemática.

A respeito da ação antrópica, a mesma demonstra a necessidade de se conhecer previamente as unidades de paisagem natural, pois, a atuação do homem sobre o meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes fisiográficos podem intensificar a modificação das diferentes unidades de paisagem natural e conseqüentemente levar a situações de degradações no ponto de vista ecológico e econômico.

Por fim, antecedendo a qualquer ocupação, deve-se conhecer os componentes físicos - bióticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima) que interagindo levam ao estabelecimento da organização territorial, orientando as atividades antrópicas, ou seja, dimensionando a capacidade de absorção de esforços antrópicos pelas unidades paisagísticas.

ESTUDO II - OCORRÊNCIAS ANÔMALAS DE FLÚORETOS EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIBAGI - PR.

8 APRESENTAÇÃO

Muitas cidades brasileiras e propriedades rurais são abastecidas, total ou parcialmente, por água subterrânea, onde o uso destas, tem cada vez mais destaque no que se refere ao seu consumo. Estudos investigativos e exploratórios da qualidade hidrogeoquímica destas águas são estritamente necessários, principalmente relacionando-as a Geografia da Saúde, Geologia-médica, saúde coletiva e qualidade ambiental.

Os fluoretos, como forma iônica do flúor (F^-), tem demonstrado em diversas pesquisas, que em uma exposição excessiva a longo prazo, tem sido relacionada a algumas doenças, dentre elas, diferentes intensidades de fluorose dentária e em níveis mais elevados a fluorose óssea.

Estudos específicos relacionados a anomalias de flúor tem sido desenvolvido em diferentes regiões paranaenses, onde, estes tem apontado diversas anomalias,

relacionada, aos impactos ao organismo humano (PIRES, 2008; ALIEVI, 2012; NASCIMENTO, 2015; ROSS, 2015; PINESE *et al.*, 2017; GOLONO DE DEUS, 2016; SANTOS, 2019; GUIMARÃES, 2020; PINESE *et al.*, 2021).

Partindo desta premissa este estudo buscou caracterizar a distribuição do elemento flúor nas águas subterrâneas para as principais unidades aquíferas da BHBT com ênfase no SASG (aquífero de maior representatividade dentro da área estudada) a partir de amostras coletadas de águas subterrâneas em poços tubulares, e em um segundo momento um levantamento de dados hidrogeoquímicos em poços, retirados dos repositórios do IAT e SIAGAS, a fim de detectar possíveis anomalias em decorrência dos excessos e/ou níveis abaixo do recomendado para o elemento flúor nas águas subterrâneas.

9 MATERIAIS E MÉTODOS

9.1 COLETA

Inicialmente, para a otimização das coletas de campo, realizou-se um levantamento prévio dos poços tubulares outorgados fornecidos pelo Águas Paraná (2018), distribuídos na bacia hidrográfica do baixo Tibagi.

A primeira expedição de campo realizada nos dias 23 a 29 de setembro de 2019 (inverno-primavera), contou com um período de regime hídrico de águas baixas ou de baixa recarga do aquífero (seco), corroborando com favorecimento de maior concentração de sais (ionizados) em meio aquoso. Em seguida, a fim de correlacionar as concentrações de flúor à sazonalidade, foi realizada uma segunda expedição de campo no período de 8 a 12 de março de 2021 (verão), período de regime hídrico de águas altas ou de alta recarga do aquífero (úmido), corroborando com uma tendência de menor concentração dos sais (ionizados) em meio aquoso, pelo seu poder de maior dissolução dos mesmos.

Os critérios para a escolha pontos de coleta de águas subterrâneas se deu primeiramente através da disponibilidade dos poços tubulares outorgados fornecidos pelo Águas Paraná (2018), informações catalogadas neste sistema e viabilidade no acesso dos mesmos. No entanto, a primeira listagem não atendeu as expectativas da localização destes poços, por não corresponderem às coordenadas pré-definidas, ou

até mesmo por estarem inativos e/ou desativados. Onde para sanar tal deficiência, buscou-se outros poços na mesma região.

Além do critério da disponibilidade dos poços, buscou-se abarcar uma homogeneidade dos pontos na bacia hidrográfica para assim buscar uma maior representatividade no recorte espacial escolhido.

Para corroborar com os dados primários coletados, realizou-se um levantamento nos repositórios do IAT e SIAGAS, onde a análise dos dados para a utilização das concentrações de flúor e outros parâmetros foram imprescindíveis para complementar os 70 pontos coletados na campanha de campo. Neste levantamento foram analisados um total de 1160 poços, destes 1114 referentes à unidade aquífera do SASG.

9.2 PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO

Os procedimentos para as amostras dos fluoretos, seguiram as orientações do “*Protocolo de Coleta e Análise da Amostra de Água*” (CECOL, 2014) onde possuem como premissas: coletar junto (ou mais próximo possível) ao hidrômetro. Após o desprezo do fluxo de água por 2-3 minutos (evitando coletas de água estagnada), realizou-se a tríplex lavagem (para evitar interferências e contaminações nos resultados) em recipiente plástico polietileno de 500 ml, com batex e tampa com lacre.

Em laboratório foi realizada a avaliação da concentração de flúor (HORWITZ, 1980) nas amostras de água, através da técnica da Potenciometria Direta no laboratório de Química e Geoquímica (DEGEO) da UEL (Universidade Estadual de Londrina), (Figura 10) conforme recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012). Tal técnica da Potenciometria exige dois tipos de eletrodos, o eletrodo seletivo a íons Fluoreto e um eletrodo de referência de calomelano. Para determinar a concentração do íon Fluoreto nas amostras, calibra-se primeiro o aparelho com cinco padrões de concentrações variáveis e depois se constrói o gráfico de calibração para obter as concentrações de íons Fluoreto nas amostras de água (FERNANDES *et al.*, 2001).

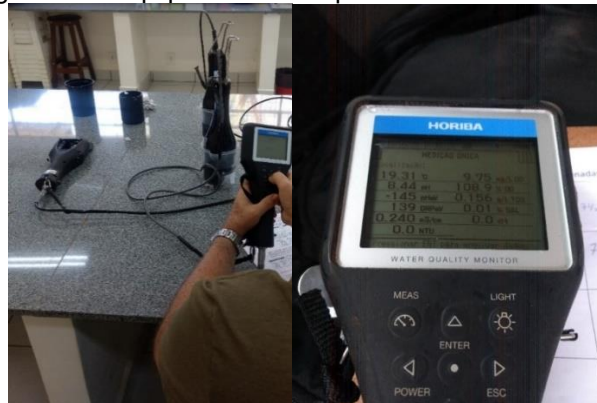
Figura 10 - Procedimentos Laboratoriais da Potenciometria Direta no quantitativo da concentração de flúor na água.



Fonte: O próprio autor

Para as análises físico-químicas das águas subterrâneas, foram realizadas as determinações “in situ” dos parâmetros através do leitor multiparâmetro Horiba-U50, onde foram determinados: temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido. Em cada intervalo de amostras utilizou-se como rigor, a lavagem/esterilização dos sensores do equipamento com água deionizada, para manter qualidade e não contaminação das amostras (Figura 11).

Figura 11 – Equipamento multiparâmetros HORIBA-U50.



Fonte: O próprio autor

9.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS

Após a coleta e análise dos dados em laboratório e a utilização do banco de dados dos repositórios do IAT e SIAGAS para complementação dos dados primários da campanha de campo, buscou-se relacionar os dados geológicos e hidrogeoquímicos dos teores de flúor, visando avaliar o comportamento dos íons

fluoretos e possíveis impactos na saúde bucal; através da elaboração de projeções cartográficas e espacialização das concentrações de flúor na BHBT, procurando distinguir as áreas de risco com excesso ou insuficiência deste elemento no recorte proposto de acordo com os padrões recomendados por (PINESE *et al.*, 2021).

Nesse sentido, Sousa e Jordão (2014) descreve a importância do aperfeiçoamento das tecnologias aplicadas a Cartografia onde o mapeamento da superfície terrestre, através do geoprocessamento e sensoriamento remoto favorecem a compreensão das dinâmicas socioespaciais através da cartografia digital. E através destes produtos os mapas em formato digital, passam a ser recursos de grande potencial à aplicação dos mais diversos campos do saber científico.

Além disso, Christofolletti (1999) ressalta que a espacialidade é a característica inerente aos sistemas ambientais onde destaca a significância dos sistemas de informação geográfica para os procedimentos de modelagem, onde estes programas de SIGs, utilizados para processamentos de dados e mapas temáticos, podem gerar mapas com inputs de dados ou até mesmo gerar a própria elaboração dos modelos.

De acordo com Calijuri *et al.*, (2007), entende-se que estudos e investigações que dão suporte à avaliação do meio físico natural, integrando as atividades antrópicas, se mostram de extrema importância no planejamento e ordenamento do uso da terra, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico com a conservação do meio ambiente.

Nesse sentido, para a espacialização dos dados primários e junção do banco de dados secundários, foram utilizadas ferramentas de interpolação IDW (Inverse Distance Weighted - Inverso do Quadrado da Distância) disponíveis no software de geoprocessamento QGIS 3.16.3.

Sobre tal técnica de interpolação, este procedimento tem sido utilizado em muitas pesquisas da mesma natureza, ou seja, na tentativa de representar a distribuição de elementos ou características das águas subterrâneas. Porém, faz-se necessário apontar que esta técnica simula um cenário geológico uniforme que desconsidera as desconhecidas falhas e discontinuidades da litologia dos aquíferos que comportam esses volumes de água.

Logo, configura-se numa modelagem suposta do fenômeno estudado. Além disso, essa técnica é utilizada para fins de construir uma superfície a partir de dados rarefeitos e disponíveis por alguns pontos no plano cartográfico, neste caso as 70 amostras. Com essas informações, o processamento consiste em combinar

elementos algébricos e geométricos para calcular a variável nas posições do plano cartográfico onde os dados são desconhecidos (FERREIRA, 2014). Para o realce do raster e visualização de mais alvos utilizou-se o 'Corte de contagem cumulativa' com valores 0,0 – 100%, precisão real, interpolação discreta, em 12 classes com intervalos personalizados para garantir a representação desejada.

Após esta etapa, para a análise dos dados complementares extraídos dos repositórios do IAT e SIAGAS, os resultados foram plotados em mapa produzido com o uso do software ArcGIS, o qual realiza a interpolação por meio de krigagem ordinária, permitindo estimar a vulnerabilidade natural do aquífero em toda a área da BHBT para os dados secundários juntamente com os primários.

A krigagem permite estimar o valor de um atributo em um local qualquer, apenas tomando o valor do atributo em alguns locais conhecidos e próximos ao local em que o atributo será estimado, Landim (2002) mostra que a equação 1 permite realizar a krigagem.

$$Z_{x_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{x_i} \quad \text{Eq. 1}$$

Com a condição de que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Em que:

- $Z_{x_0}^*$ = valor estimado do atributo no local x_0
- λ = peso
- λ I = indicador da amostra, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Além disso foram realizadas análises estatísticas por meio do Coeficiente de correlação Linear de Pearson com o intuito de entender a correlação do flúor com os parâmetros físico-químicos, apresentados através do mapa de calor, onde tal método consiste em: quantificar em uma escala de -1 a 1 a correlação linear entre as variáveis duas a duas, em que os valores da correlação que se aproximam do 0, indicam que as variáveis não apresentam correlação, por lado os valores de correlação que se aproximam do extremos do intervalo (-1 e 1) indicam presença de correlação entre as variáveis. No contexto da correlação linear, os valores <0 apontam correlações negativas, já para os valores >0 apontam correlações positivas. Bem como, o Teste do Sinal bilateral para amostras pareadas com verificação do comportamento do

elemento flúor em relação a sua sazonalidade. Tais procedimentos supracitados foram realizados com o auxílio do software R.

10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

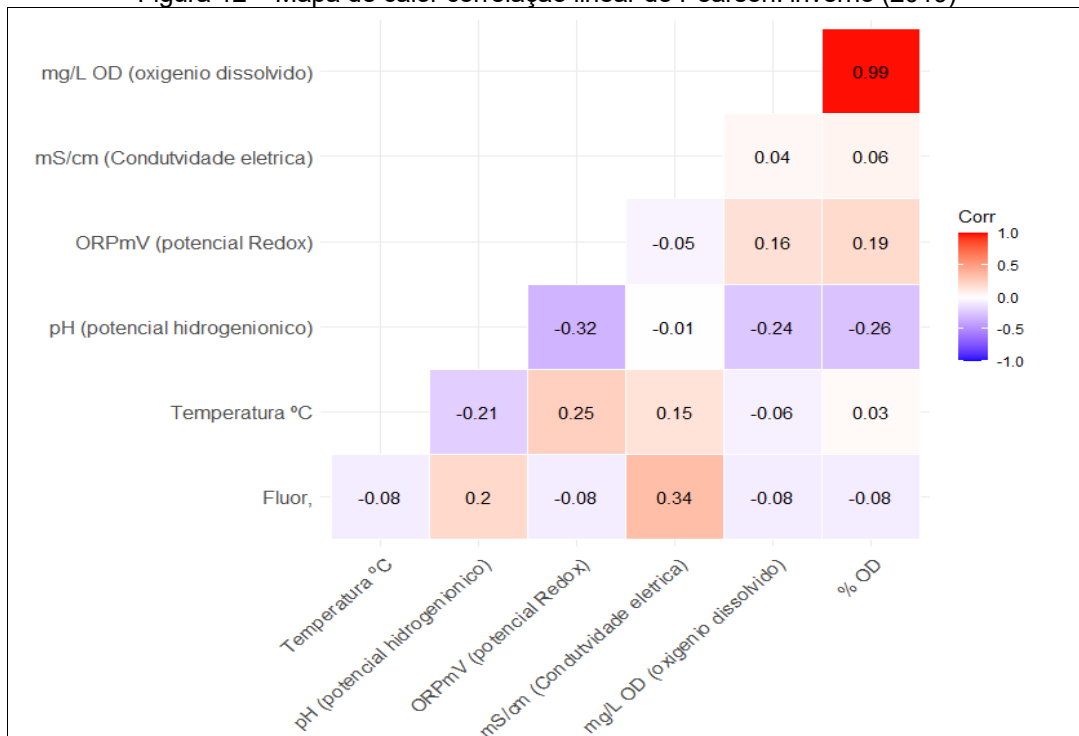
10.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON

Na busca da relação de cada elemento entre si e o elemento flúor, realizou-se a análise estatística de correlação. A priori para cada amostra coletada, foram realizadas análises físico-químicos de cada ponto amostral, presentes no (Apêndice 1 e 2), analisados para as duas campanhas de campo (inverno e verão)

10.2 INVERNO 2019

De acordo com o mapa de calor (Figura 12), foi realizada a análise de correlação entre as variáveis, onde a variável flúor e condutividade elétrica, apresenta um coeficiente de 0,34 (representada graficamente pela tonalidade de vermelho menos intensa) e as variáveis pH e potencial redox apresenta um coeficiente de -0,32 (com tonalidade azul menos intensa), demonstrando assim novamente a presença de correlação moderada. Entretanto, outras variáveis apresentaram correlações perceptíveis, expostas a seguir: pH e %OD (-0,26), pH e mg/L OD (-0,24) ambas com tonalidades azuis menos intensa, temperatura °C e potencial redox (0,25) em tonalidade vermelho menos intensa. O maior coeficiente apresentado no gráfico se dá pelas variáveis %OD e mg/L OD, por se tratarem do mesmo valor, porém em unidades de medida diferentes (0,99) representado pela tonalidade mais intensa de vermelho.

Figura 12 – Mapa de calor correlação linear de Pearson: inverno (2019)



Fonte: O próprio autor

Para os pares de variáveis não citados, inexistem correlações estatisticamente significativas, onde estas são representadas pelas tonalidades pouco intensas.

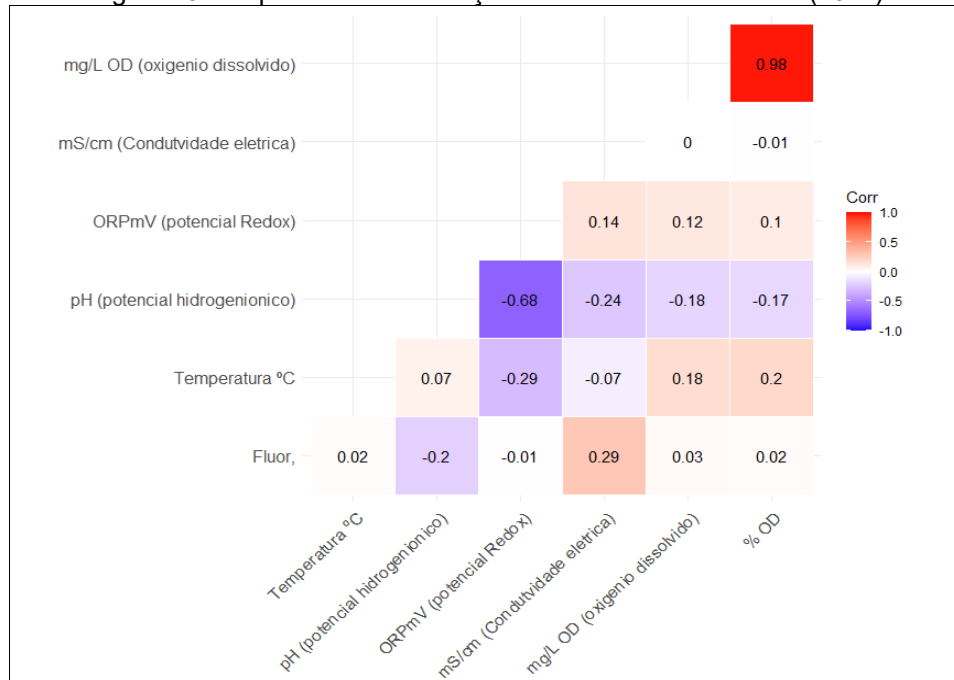
Por fim, ao analisarmos os coeficientes de correlação linear para o elemento flúor e demais variáveis, temos como resultado, que estas não são correlacionadas linearmente para nenhuma das estações (verão-inverno) pois nenhum coeficiente se aproximou dos extremos do intervalo (-1 e 1).

10.3 VERÃO 2021

Com ênfase no elemento flúor o mapa de calor, apresenta correlações perceptíveis entre o flúor e condutividade elétrica, pH e potencial redox, com valores de 0,29 e -0,68 respectivamente, demonstrando assim, presença de correlação moderada (Figura 21). A tonalidade mais intensa (vermelha) representada na (Figura 13) se dá pelas variáveis %OD e mg/L OD, por se tratarem do mesmo valor, porém em unidades de medida diferentes. Os demais valores não indicaram presença de correlações evidentes entre as variáveis, indicadas por tonalidades menos intensas (branca).

Do mesmo modo para a análise estatística realizada para a estação do inverno, optou-se por não apresentar a correlação das variáveis entre elas mesmas, pois o resultado seria obviamente o valor 1 (correlação perfeita).

Figura 13 - Mapa de calor correlação linear de Pearson: verão (2021)



Fonte: O próprio autor

10.4 ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DO ELEMENTO FLÚOR NAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Inicialmente na busca de corroborar e ampliar os estudos relacionados a dados hidrogeoquímicos para concentrados de fluoretos na região do norte/nordeste do Paraná (3º planalto paranaense), mais especificamente na bacia hidrográfica do baixo Tibagi, utilizou-se como premissas, o levantamento de trabalhos realizados na região, onde, dosagens acima dos valores máximos recomendados (Pinese *et al.*, 2021; Licht, 2018), e pela portaria nº 635 do Ministério da saúde, (BRASIL, 1975) foram encontrados na mesma.

Estes levantamentos prévios reforçaram a hipótese sobre a existência de anomalias geoquímicas de origem geogenéticas, ou seja, concentração de fluoretos naturais em dissolução nas águas, subterrâneas. De acordo com Pinese *et al.* (2017), as formações geológicas do Grupo Serra Geral e Botucatu, associadas as rochas vulcânicas, estão estritamente relacionadas ao acúmulo e disponibilidade de flúor nesses ambientes.

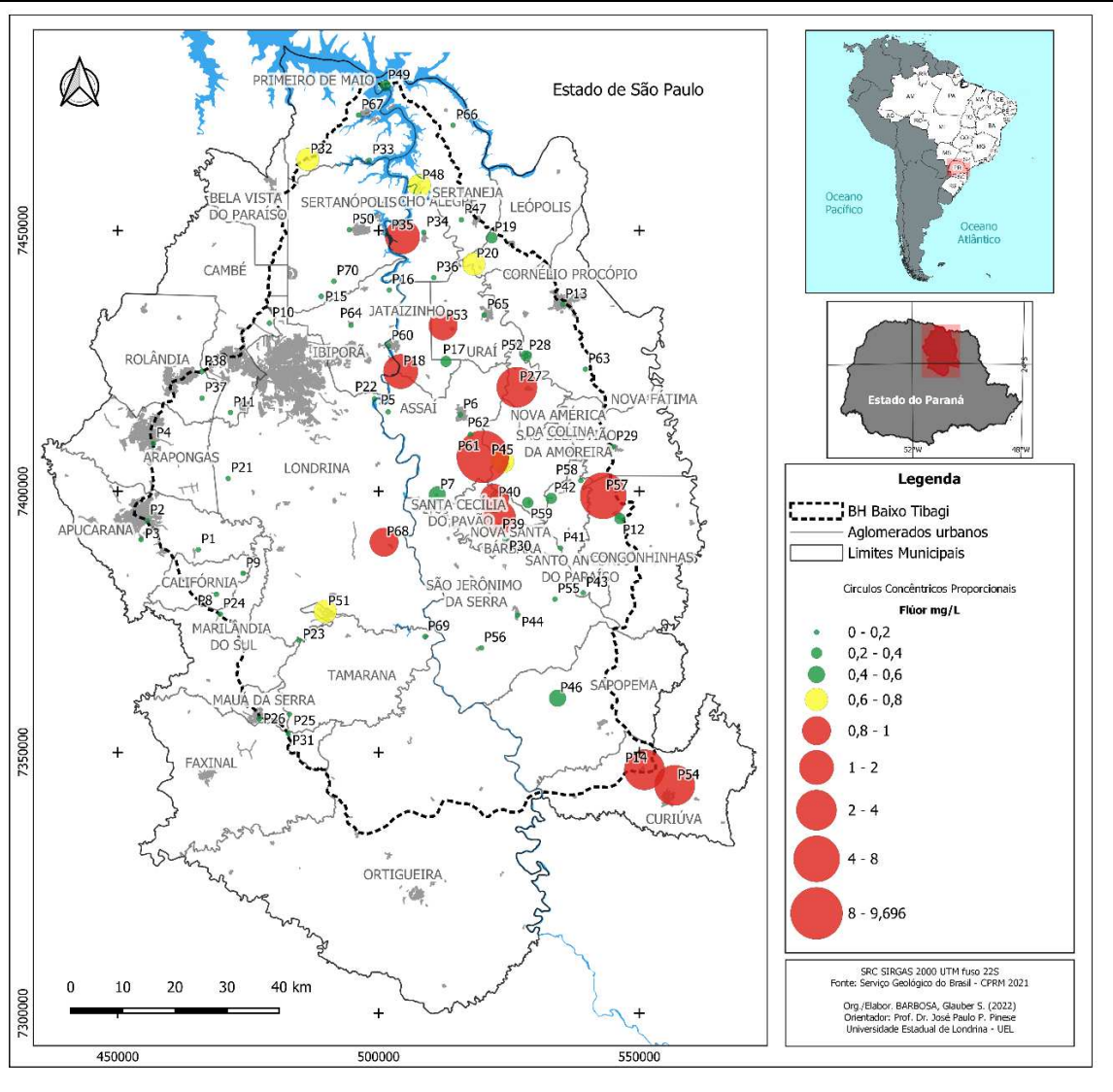
Seguindo as premissas supracitadas anteriormente, quando realizadas a espacialização dos dados coletados em campo e analisados em laboratório, direcionados a especificidade dos quantitativos numéricos do flúor, através de duas legislações vigentes.

A primeira se trata da portaria 635 (BRASIL, 1975) onde busca viabilizar a fluoretação do abastecimento público, sugerindo o cálculo de concentrações adicionadas a água de abastecimento, pautado na média térmica diária. Apoiada nas portarias 2.914, 5 e 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017, 2021) onde regulamenta os limites a serem praticadas, sugerindo o cálculo de concentrações adicionadas a água de abastecimento prevendo a quantidade máxima na concentração de até 1,5 mg/L ou ppm. Contudo, nos parágrafos concernentes ao padrão de potabilidade, se preconiza que os valores recomendados para concentração de íon fluoreto devem observar a Portaria nº 635/GM/MS, de 30 de janeiro de 1974 e 1975 (BRASIL, 1974, 1975), na qual estabelece para a região estudada as temperaturas médias de 28,0 °C, tendo como limites 0,6 – 0,8 mg/L para um quantitativo tolerável no consumo e/ou abastecimento público cálculo realizado por (cf. PINESE *et al.*, 2021).

10.5 SAZONALIDADE: INVERNO, 2019

Para uma melhor interpretação visual das anomalias geoquímicas, neste caso do elemento flúor para águas subterrâneas não tratadas, se teve como premissas, a organização do arranjo espacial sintetizado, através da projeção cartográfica, estabelecendo quantitativamente essa distribuição na forma de mapas de círculos concêntricos, onde, em escalas circulares menores, representam baixas concentrações do elemento flúor e escalas circulares maiores, concentrações mais elevadas. (Figura 14).

Figura 14 – Espacialização da concentração de fluoretos em (mg/L) nos municípios da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - –R, no norte do estado do Paraná. Portaria nº635/ BSB (BRASIL,1975) adaptado por (cf. PINESE et al., 2021): inverno, 2019.



Fonte: O próprio autor. Org.: O próprio autor

A priori estabeleceu-se o valor máximo recomendado (VMR) do teor ótimo de flúor para a área estudada, empregando como base os parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 1975), de acordo com as temperaturas atmosféricas regionais estabelecidas por Mendonça (2002), caracterizada pelo tipo Cfa: úmido em todas as estações e verão quente, com predominância dos sistemas atmosféricos intertropicais (massas de ar Tropical Atlântica, Tropical Continental, Equatorial Continental e Polar Atlântica). Apresentada como mais úmida no verão (período que concentra grande parte das chuvas que ocorrem ao longo do ano), e de temperaturas médias máximas podendo atingir os 28°C, configurando-se nos verões mais quentes de toda a bacia hidrográfica (PINESE *et al.*, 2021).

Considerado as temperaturas máximas médias da área de estudo (28 °C) estabeleceu-se que o VMR de flúor para consumo deva ser de 0,6 mg/L - 0,8 mg/L, deste modo, as concentrações acima de 0,8 mg/L, são consideradas acima do recomendado para a saúde bucal. Por outro lado, as concentrações abaixo de ($<0,6 \text{ mg/L F}^-$) serão consideradas insatisfatórias ou abaixo do recomendado, no tocante a ocorrências de cárie dental, de acordo com o Ministério da Saúde (BRASIL, 1975; PINESE *et al.*, 2021).

Os resultados quantitativos dos concentrados de flúor obtidos mediante as análises laboratoriais, mostram em uma primeira aproximação (Figura 12), os valores acima de ($>0,8 \text{ mg/L}$) estão destacados na cor vermelha e círculos maiores, representando teores de flúor acima do VMR estabelecido para saúde bucal.

No total foram analisados 70 pontos amostrais, onde, observou-se que apenas 5 amostras foram assinadas dentro dos parâmetros recomendados (0,6 mg/L - 0,8 mg/L) estabelecidos pelo MS (BRASIL, 1975) ou dentro do intervalo ideal (cf. Pinese *et al.*, 2021), as quais estão inseridos nos municípios de Primeiro de Maio, Tamarana, Leopólis, Sertaneja e São Sebastião da Amoreira, caracterizadas pela cor amarela.

Nesse universo de amostras coletadas, identificou-se 11 amostras as quais assinalaram teores acima do recomendado para o elemento F^- o qual registrou-se valores de 0,84 mg/L – 9,69 mg/L (Apêndice 1), nos municípios de: Uraí (P53), Santa Cecília do Pavão (P40 e P39), Londrina (P68), Rancho Alegre (P35), Jataizinho (P18), Nova América da Colina (P27), Curiúva (P14 e P54), Congonhinhas (P57) e Assaí (P61). Neste caso dando destaque para os municípios de Assaí e Congonhinhas com valores muito acima do VMR estabelecido pelo MS, caracterizadas pela cor vermelha e círculos maiores.

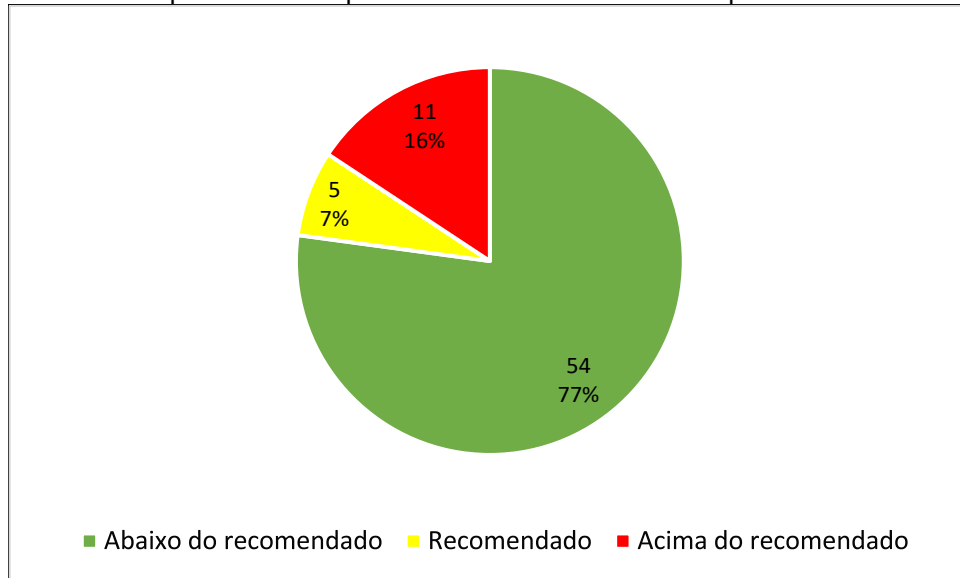
Ademais, as amostras (no total de 54) identificadas com a cor verde e círculos menores, se enquadram abaixo dos valores de ($<0,6 \text{ mg/L}$), portando abaixo dos valores recomendados pelo MS, propiciando maiores ocorrências de cárie dental.

Desta forma tem-se como premissa uma associação de tais concentrações relacionadas aos fatores geogênicos, pela afinidade geoquímica das rochas ígneas vulcânicas em interação com a água (Licht, 2001; 2018), onde através dos processos de percolação da água em basaltos do Grupo Serra Geral, resulta na elevação dos teores de F^- liberados pela dissolução do mineral fluorapatita, presente nessas rochas basálticas, além dos resíduos hidrotermais ricos em ácidos (LICHT *et al.*, 2015).

Por fim, para uma realidade de 70 pontos amostrais coletados e analisados, verifica uma realidade de 54 amostras (77%) enquadrando-se nos valores abaixo de 0,6

mg/L, assim se mostrando abaixo do recomendado para os valores definidos pelo MS, no que se diz a respeito da susceptibilidade à cárie dental. Destas, apenas 7% encontraram-se enquadradas dentro dos parâmetros estabelecidos e/ou recomendados pelo MS e 16% dos pontos amostrais considerados acima do recomendado (Figura 15).

Figura 15 – Gráfico percentual dos parâmetros dentro dos limites de potabilidade: inverno, 2019



Fonte: o próprio autor

10.6 SAZONALIDADE: VERÃO, 2021

A fim de uma melhor interpretação das anomalias geoquímicas para o elemento flúor para águas subterrâneas não tratadas, para um segundo momento de coletas e análises sazonais, tais dados são apresentados através da organização do arranjo espacial sintetizado, por meio da projeção cartográfica em forma de mapas, onde gerou-se um segundo produto de dados espaciais para o ano de 2021, em período de águas altas (verão).

Neste segundo momento, manteve-se o padrão de coletas nos mesmos pontos, utilizando os mesmos padrões de organização espacial para a espacialização dos resultados de concentrados de fluoretos.

No total foram coletados 70 pontos amostrais, onde, observou-se que apenas 1 (uma) amostra (1%), foi assinalada como dentro dos parâmetros recomendados pelo MS, os quais está inserido no município de Leópolis, caracterizada pela cor amarela (Figura 27).

Nesse universo de amostral, identificou-se 8 amostras (12%), as quais assinalaram teores em excesso ou acima do recomendado para o elemento F^- com valores entre 0,92 mg/L – 5,53 mg/L (Apêndice 2), nos municípios de Uraí (P53), Londrina (P68), Rancho Alegre (P35), Santa Cecília do Pavão (P39), Nova América da Colina (P27), Assaí (P61), Curiúva (P14), Congonhinhas (P57). Neste caso dando destaque para os municípios de Assaí (P61), Curiúva (P14) e Congonhinhas (P57), com valores em destaque acima do VMR estabelecido pelo MS, caracterizado como acima do recomendado, caracterizado pela cor vermelha e círculos maiores (Figura 17).

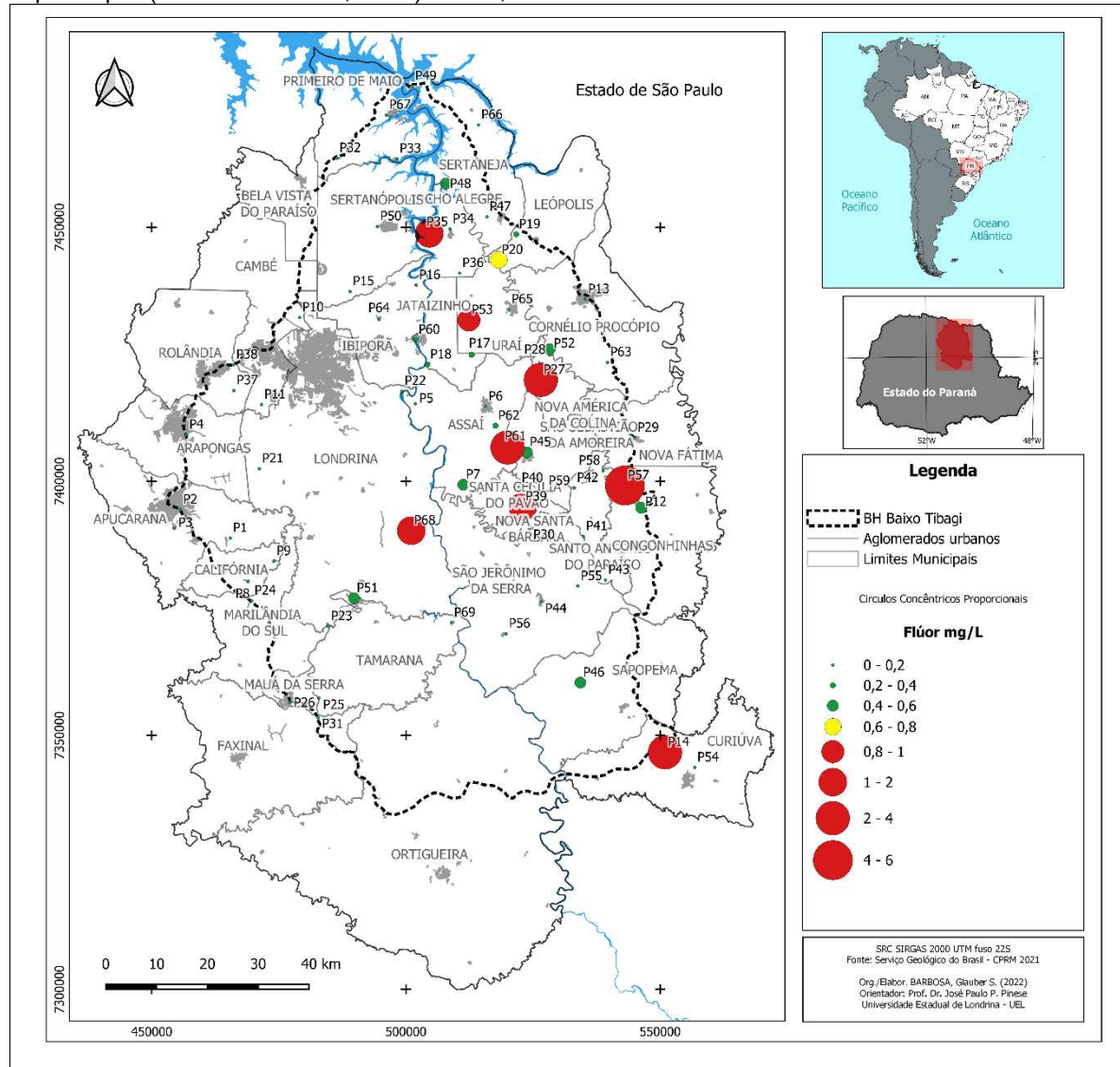
Ademais amostras identificadas pela cor verde, em um total de 61 amostras (87%), se enquadra abaixo dos valores de 0,6 mg/L, portanto abaixo do recomendado para os valores estabelecidos pelo MS, propiciando maiores ocorrências de cárie dental (Figura 16).

Figura 16 – Gráfico percentual dos parâmetros dentro dos limites de potabilidade: verão 2021



Fonte: o próprio autor

Figura 17 – Espacialização da concentração de fluoretos em (mg/L) nos municípios da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - -R, no norte do estado do Paraná. Portaria nº 635/BSB (BRASIL,1974) adaptado por (cf. PINESE et al., 2021): verão, 2021.



Fonte: O próprio autor. Org.: O próprio autor

10.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA SAZONALIDADE 2019 E 2021

Concomitante às análises geoespaciais, foi realizado o teste de hipóteses estatístico, para verificar a relação da sazonalidade inverno-verão do elemento flúor em suas concentrações nas águas subterrâneas. Para isso utilizamos o Teste do Sinal para amostras pareadas de forma bilateral, verificando se a concentração dos íons de fluoretos do inverno é maior em relação às concentrações do verão (Figura 18).

Ao aplicar o teste do sinal tivemos a obtenção de um **valor-p de 0,03406**, onde ao nível de significância de 0,05, há evidências de que a concentração dos íons de fluoretos da estação de inverno é maior em relação a concentrações dos íons de

fluoreto do verão, validando deste modo a hipótese inicial, na qual comprova que em períodos de maior disponibilidade de água no sistema (verão), tende a uma dissolução dos íons de fluoretos, logo em períodos de inverno, tende a uma maior concentração do elemento flúor para águas subterrâneas.

Figura 18 - Interface RStudio, saída para o teste do sinal

```
> SIGN.test(Inverno, Verao, alternative = "greater", conf.level = 0.95)

Dependent-samples Sign-Test

data: Inverno and Verao
S = 42, p-value = 0.03406
alternative hypothesis: true median difference is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.001465128      Inf
sample estimates:
median of x-y
      0.009

Achieved and Interpolated Confidence Intervals:

              Conf. Level L.E.pt U.E.pt
Lower Achieved CI    0.9260 0.0040  Inf
Interpolated CI     0.9500 0.0015  Inf
Upper Achieved CI    0.9544 0.0010  Inf
```

Fonte: o próprio autor

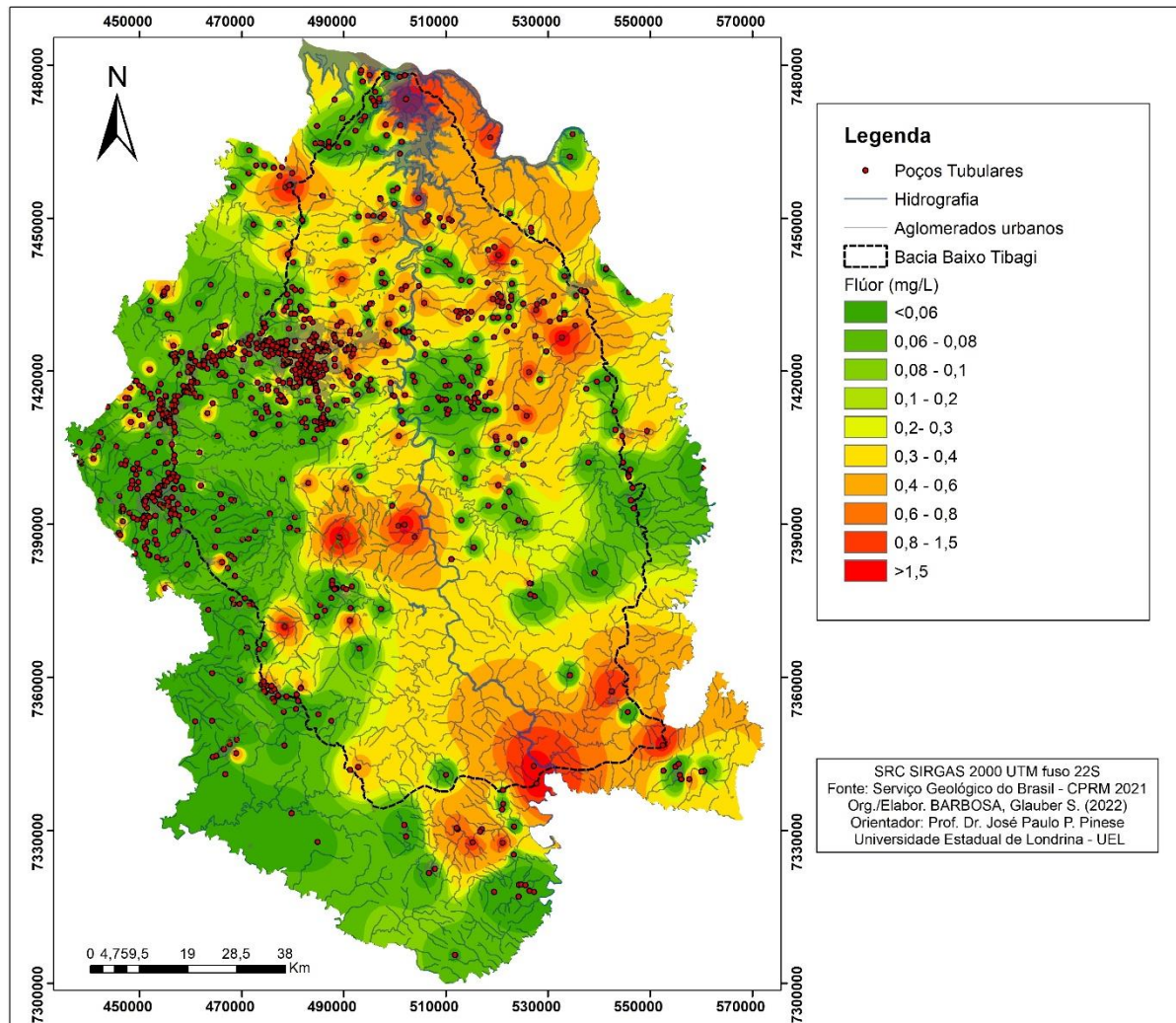
Por fim, em virtude destes resultados apresentados, foram identificadas algumas anomalias hidrogeoquímicas na BHBT, além da relação entre a sazonalidade e as concentrações do elemento flúor. Deste modo buscou-se um aprofundamento nas avaliações do elemento flúor e suas anomalias, na distribuição da bacia hidrográfica. Para uma melhor compreensão dos dados apresentados, no que tange às anomalias hidrogeoquímicas, a utilização dos dados secundários extraídos do repositório do IAT e SIAGUA, foram necessários para validar a continuidade das anomalias observadas na BHBT demonstradas pelos dados primários.

10.8 A ANÁLISE INTEGRADA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FLÚOR NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Diante das anomalias hidrogeoquímicas apresentadas anteriormente, realizou-se um levantamento mais aprofundado e consistente, utilizando fonte de dados secundários, onde, para uma melhor interpretação visual e espacial das anomalias geoquímicas, do elemento flúor, em águas subterrâneas não tratadas, teve como

premissa a organização do arranjo espacial, através de projeção cartográfica, para uma avaliação geral das águas subterrâneas. No total foram contabilizados um total de 1160 poços tubulares extraídos dos repositórios citados, além da junção dos 70 poços tubulares derivados de dados primários (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de distribuição espacial de concentração de Flúor (mg/L) nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - -R, no norte do estado do Paraná.



Fonte: SIAGAS; IAT, 2022 Org.: O próprio autor

A espacialização da avaliação geral das anomalias hidrogeoquímicas, contaram com a distribuição de poços em pelo menos quatro principais aquíferos inseridos na bacia. Destes 1160 poços, 1113 estão dipostos no SASG, 3 poços no Sistema aquífero Caiuá, 27 poços no Sistema aquífero Guarani e 33 poços no Paleozóico (Tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição da quantidade de amostras por Unidades Aquíferas

Unidades Aquíferas	Total de Amostras	Média Flúor (mg/L)	Desvio Padrão Flúor (mg/L)	Máximo Flúor (mg/L)
Sistema Aquífero Serra Geral	1113	0,29	0,56	6,95
Sistema Aquífero Caiuá	3	0,08	0,08	0,15
Sistema Aquífero Guarani	27	0,92	1,75	8,27
Paleozóico	33	0,40	0,51	2,34

Fonte: SIAGAS; IAT, 2022 Org.: O próprio autor

De acordo com o mapa de distribuição espacial das concentrações do elemento flúor nas águas subterrâneas na BHBT (Figura 29), percebe-se que as anomalias hidrogeoquímicas mais presentes, apresentando cores mais quentes (*HotSpots*), existe uma correlação vinculadas ao curso hidrico do rio Tibagi e rio das Cinzas, onde os mesmos possuem um alinhamento sul-norte, que podem estar associadas às estruturas geológicas, que entre outros fatores geoquímicos e hidrogeológicos podem exercer controle sobre as concentrações anomalias de flúor.

É importante destacar que as análises das médias, do desvio padrão e suas variações trazem resultados importantes, pois podem estabelecer conexão hidráulica entre os aquíferos, ocorrendo assim, intercâmbio hidroquímico com concentrações de íons no SASG. A conexão hidráulica pode ser ascendente, devido ao confinamento do SAG pois está sobreposto pelos basaltos da Formação Serra Geral. Isso pode explicar, ao menos parcialmente, as anomalias de flúor no SASG, e em alguns momentos correlaciona-los com outros elementos químicos, como incremento de cloretos, sódio e carbonatos).

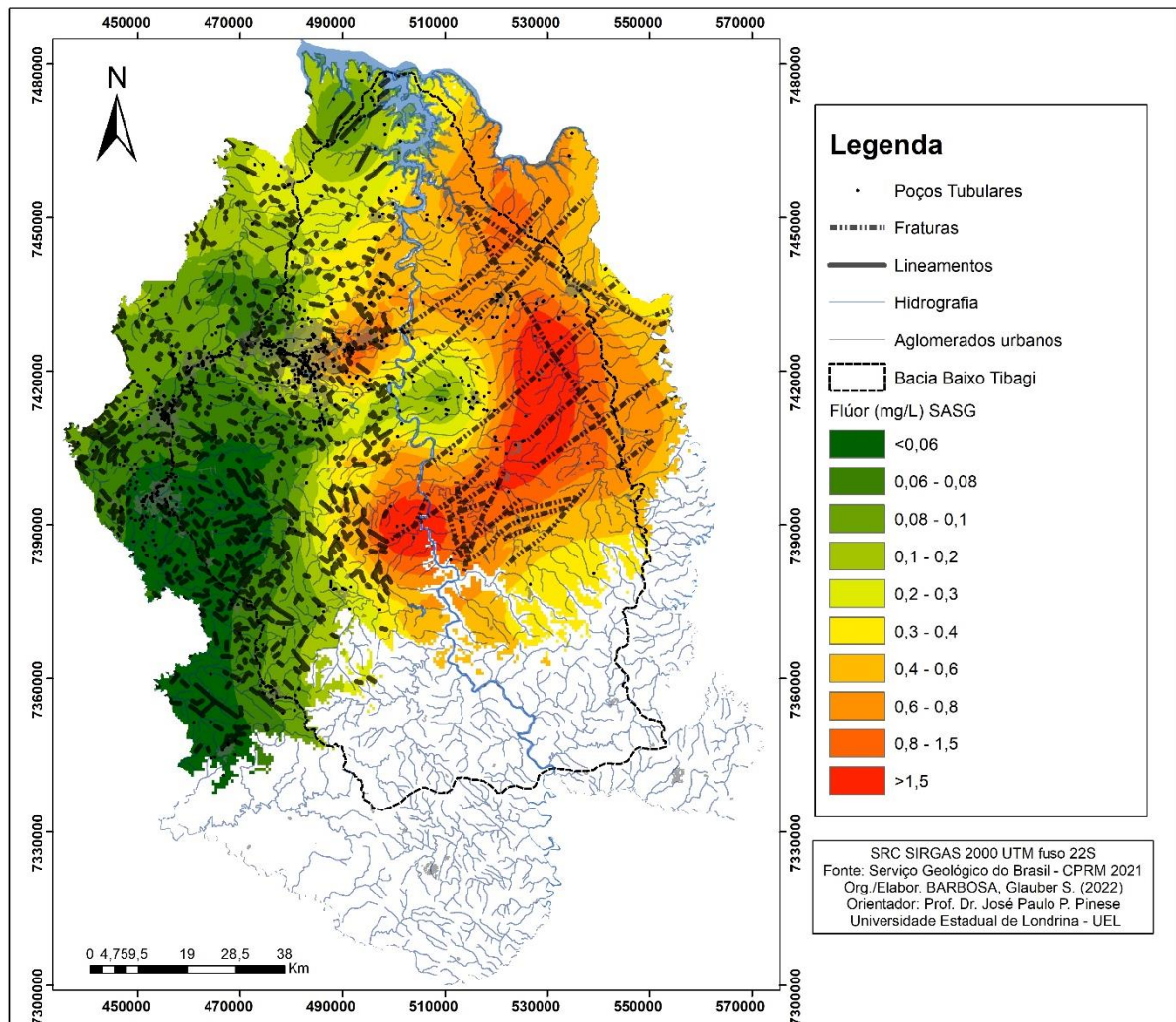
Cabe ainda ressaltar, que as zonas quentes de *HotSpots*, são áreas as quais necessitam de um olhar criterioso por parte da gestão pública, tanto para a distribuição e consumo da água, quanto para perfuração de novos poços, fazendo-se necessário um monitoramento de alerta para essas localidades.

10.9 A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FLÚOR NO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)

Cabe ainda ressaltar, que análises mais criteriosas foram aplicadas no SASG, uma vez que este, recobre a maior parte da BHBT, onde por hipótese existe uma relação de grandes estruturas geológicas especialmente dos fraturamentos ao leste e centro da bacia, que aparentam representar espacialmente correlação com os teores

anômalos do elemento flúor, onde cria-se através desta geoespacialização subsídios para o poder público e gestão das águas interferir no abastecimento e perfuração de novos poços tubulares para uso destes, justificando assim, a importância no planejamento e ordenamento do uso da terra, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico, qualidade ambiental e saúde (Figura 20).

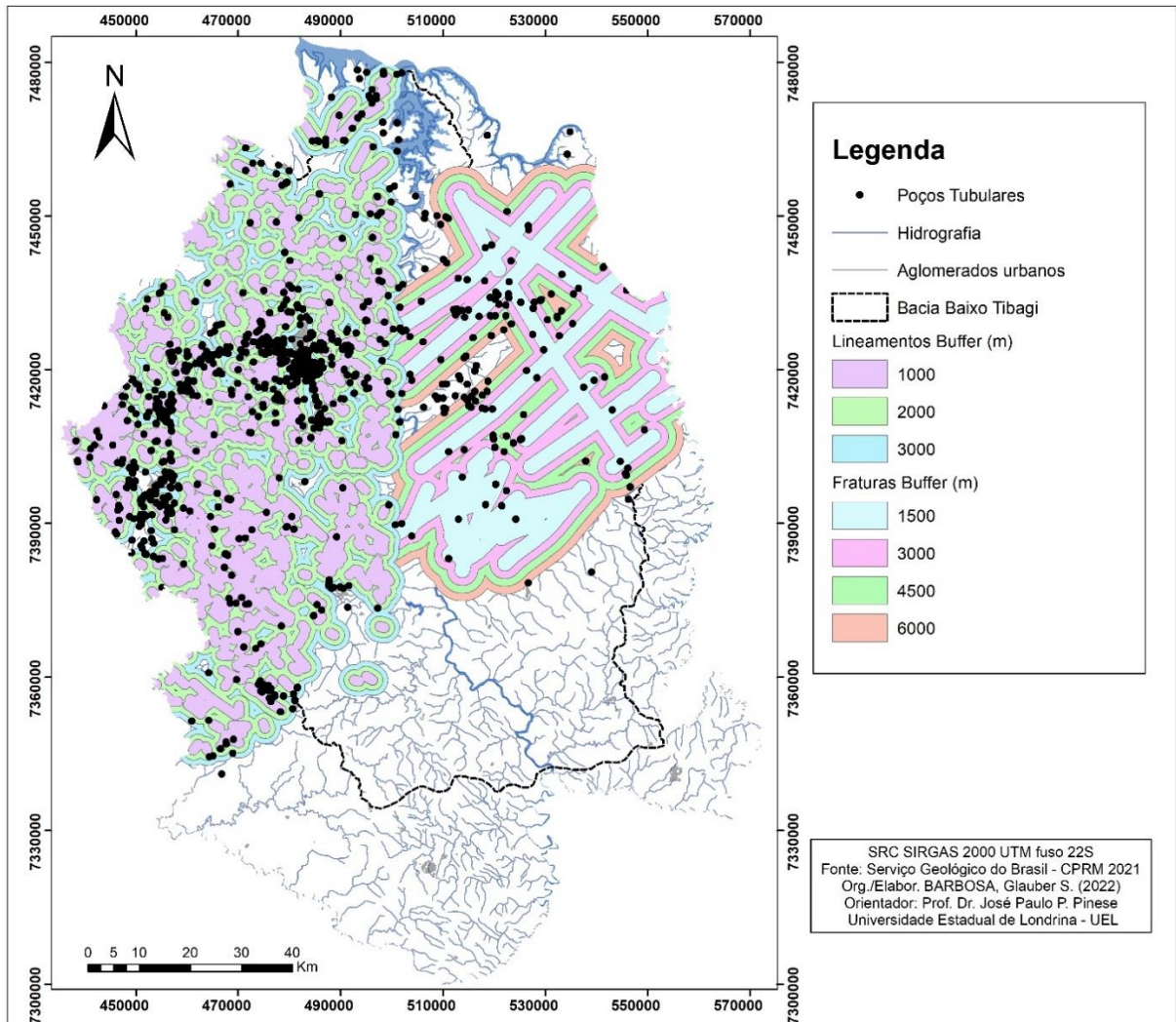
Figura 20 - Mapa de distribuição espacial de concentração de Flúor (mg/L) do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) da bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR.



Fonte: SIAGAS; IAT, 2022 Org.: O próprio autor

Ao analisar as tendências das estruturas geológicas do tipo lineamentos e fraturas do SASG, na bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR, correlacionando-as às anomalias hidrogeoquímicas, realizou-se a técnica de intersecção com cruzamento em forma de buffer, para inferir a relação do distanciamento das fraturas e lineamentos com as médias de concentração dos fluoretos (Figura 21)

Figura 21 - Mapa com Buffers com diferentes raios (m) de extensão no entorno de estruturas geológicas do tipo lineamentos e fraturas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) da bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR.



Fonte: O próprio autor

A partir destes distanciamentos, foram criadas classes de valores para cada estrutura geológica, fraturas e lineamentos. Para lineamentos foram definidas 3 classes, por serem menos extensas, porém com distribuição espacial mais densa. Para as fraturas foram definidas 4 classes devido a sua grande extensão e influência estrutural obtendo os seguintes valores (Tabela 3).

Tabela 3 – Delineamentos dos distanciamentos das estruturas geológicas e correlação com as concentrações de flúor (mg/L)

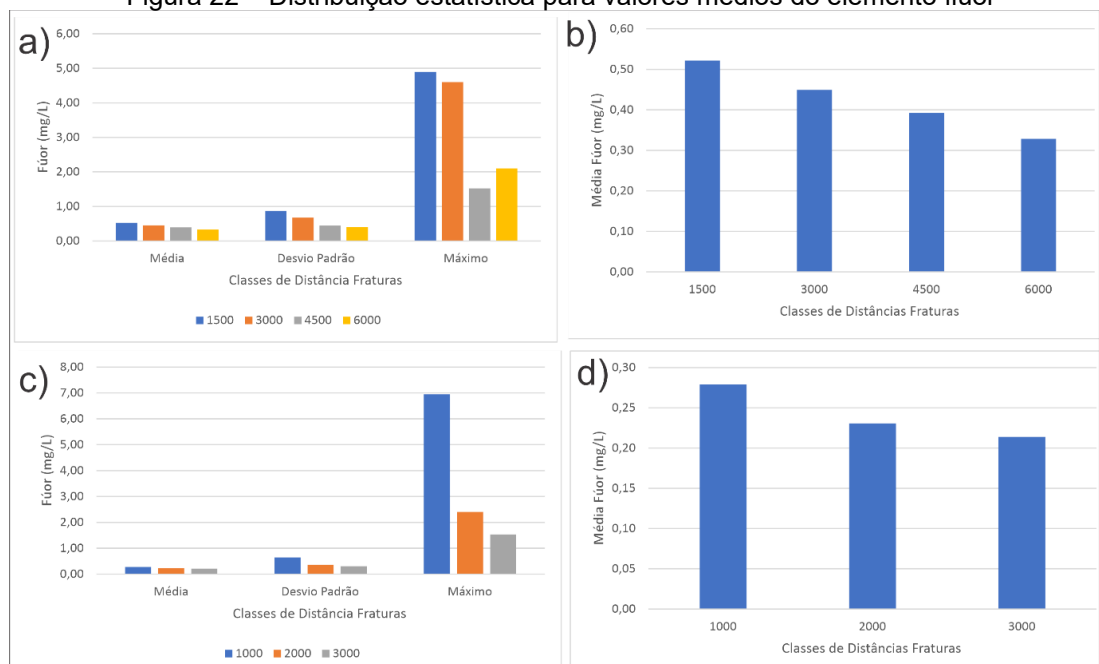
Distanciamento Fraturas (m)					Distanciamento Lineamentos (m)		
Classes	1500	3000	4500	6000	1000	2000	3000
Total Amostras	78	54	81	96	168	309	168
Concentração Flúor (mg/L)							
Média	0,52	0,45	0,39	0,33	0,28	0,23	0,21
Desvio Padrão	0,86	0,68	0,45	0,40	0,65	0,36	0,30
Máximo	4,90	4,60	1,52	2,10	6,95	2,4	1,53

Fonte: o próprio autor

Como já supracitado as foram geradas 4 classes para das fraturas, onde, apresentaram-se um distanciamento de: 1500m, um total de 78 amostras, 3000m, 54 amostras, 4500m, 81 amostras e 6000m, 96 amostras, para os lineamentos, apresentaram-se 3 classes, 1000m, 168 amostras, 2000m, 309 amostras e 3000m 168 amostras. Para cada uma dessas classes foram atribuídas estatisticamente as médias, desvio padrão e valor máximo das concentrações do elemento flúor.

Corroborando a essas análises os gráficos a seguir (Figura 22) a distribuição estatística para os valores médios do flúor (mg/L) por classes de distanciamento estruturas geológicas para o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na bacia hidrográfica do baixo Tibagi – PR.

Figura 22 – Distribuição estatística para valores médios do elemento flúor



a) distribuição estatística média em fraturamentos; b) distribuição média em fraturamentos; c) distribuição estatística média em lineamentos; d) distribuição média em lineamentos.

Fonte: o próprio autor

Percebe-se que as fraturas têm maior influência na ocorrência média das concentrações de flúor. Quanto mais próximas as fraturas, também maior o desvio padrão, ou seja, uma zona de maior incerteza.

Ao comparar as médias de concentração para fraturas é de 0,42 mg/L de Flúor enquanto para lineamentos é de 0,24 mg/L de Flúor. Para fraturas, a concentração de flúor para a classe mais próxima (1500) é de 0,52 mg/L o que se afasta 23,4% da média geral, enquanto que para as fraturas, nessa mesma comparação, para a classe 1000, se afasta 16,6%

Com base nos resultados alcançados, foi possível criar um índice de ponderação, denominado Índice de Risco de Perfuração para Flúor (IRPF) aplicado para o SASG. Foram atribuídos pesos considerando a distribuição das concentrações espaciais de flúor e legislação vigente (portaria Nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975 e discriminadas por Pinese *et al.*, 2021) e a influência de estruturas geológicas na ocorrência de anomalias de fluoreto no SASG, conforme a (Tabela 4).

Tabela 4 – Índice de Risco de Perfuração para Flúor (IRPF)

Concentração de Flúor			
<0,6	0,6 - 0,79	0,8 - 1,5	>1,5
Pesos			
0,1	0,5	0,8	1
Fraturas			
Classes			
1500	3000F	4500	6000
Pesos			
1	0,8	0,7	0,6
Lineamentos			
Classes			
1000	2000	3000L	
Pesos			
0,5	0,3	0,2	

Fonte: o próprio autor

Deste modo, com a aplicação do produto da ponderação, de acordo com cenários máximos e mínimos, foi possível obter o Índice de Risco de Perfuração para Flúor (IRFP) conforme a (Tabela 5).

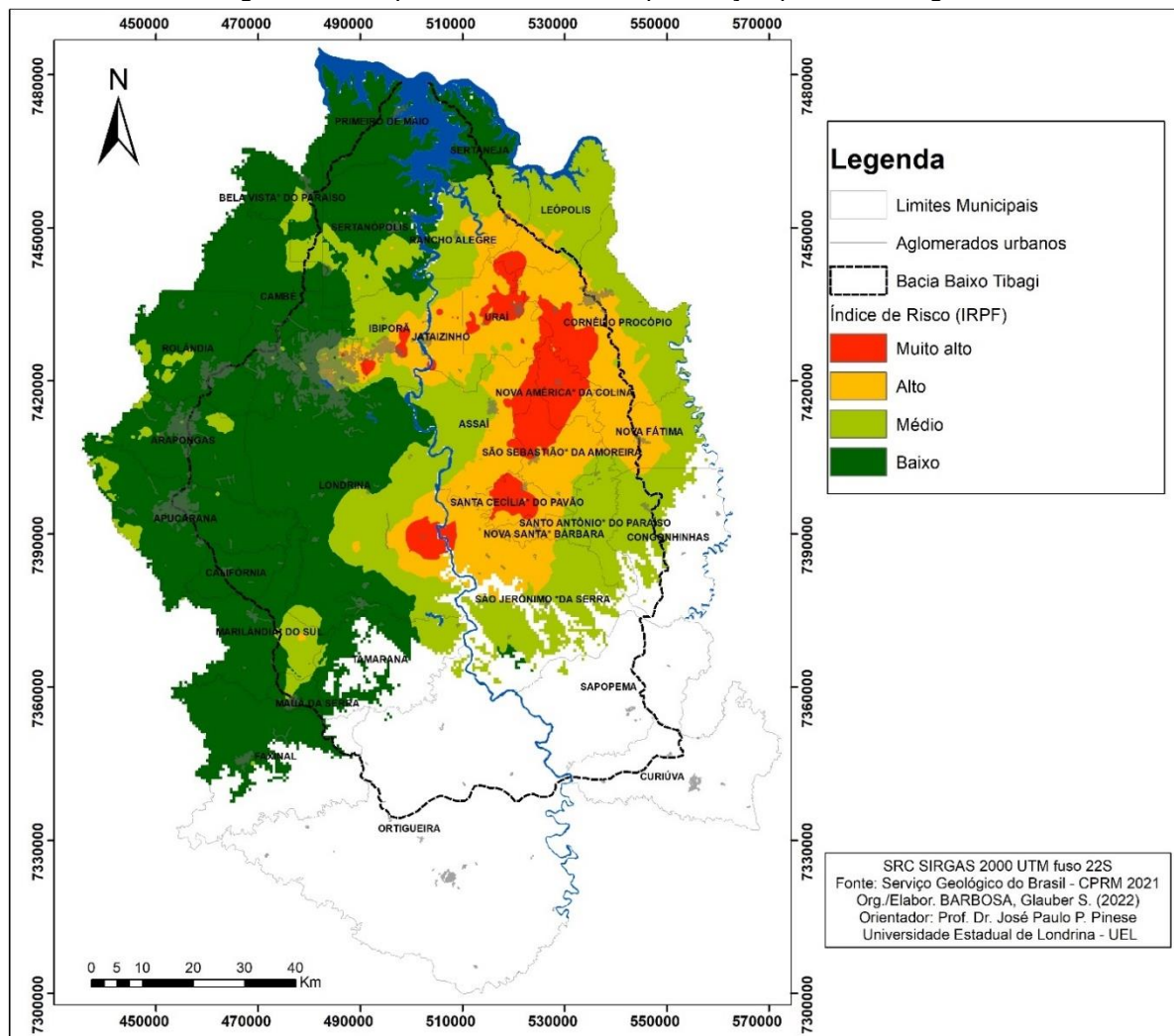
Tabela 5 – Valores e pesos para o Índice de Risco de Perfuração

Índice de Risco de Perfuração Para Flúor (IRPF)	
Valor	Índice
1	Muito alto
0,75 a 0,99	Alto
0,5 a 0,69	Médio
0,1 a 0,49	Baixo

Fonte: o próprio autor

Por fim após a aplicação e obtenção IRPF, para o SASG foi gerado um mapa temático, onde, os valores baixos são caracterizados pela cor verde (0,1 a 0,49), valores médios de cor amarela (0,5 a 0,69), valores altos de cor laranja (0,75 a 0,99) e valores muito alto caracterizado pela cor vermelha (1) (Figura 23).

Figura 23 – Mapa índice de risco de perfuração para Flúor mg/L



Fonte: o próprio autor

Desta forma, o produto gerado através dos índices de riscos de perfuração, serve de subsídio para a contribuição no planejamento das políticas públicas e gestão dos recursos hídricos na utilização dos aquíferos para abastecimento. Cabe ressaltar que o levantamento não restringe ou impede a perfuração de poços, porém cabe uma atenção especial com relação a utilização dessas águas, de forma especial ao público de uso particular, o qual muitas vezes não tem real controle sobre qualidade das águas, podendo correr riscos futuros na ingestão de níveis elevados de fluoretos.

Os municípios de Santa Cecília do Pavão, São Sebastião da Amoreira, Assaí, Nova América da Colina e Uraí, merecem uma atenção especial da gestão pública, pois os mesmos encontram-se em um nível muito alto relacionado ao índice de risco de perfuração, necessitando um cuidado alarmante para condições de usos e perfurações futuras.

Cabe ainda destacar que a utilização de aquíferos, especialmente o SASG ocorre por décadas e que a busca por perfuração de novos poços continuará, especialmente considerando a poluição antrópica e a variabilidade climática que afetam a qualidade e a disponibilidade hídrica dos mananciais superficiais.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta aproximação, trouxeram para o recorte escolhido um sinal de alerta para os teores de Flúor, indicando dessa forma o aparecimento de uma área de risco a Saúde coletiva e qualidade ambiental. Cabendo então realizar um aprofundamento nas relações espaço-temporal entre ambiente e sociedade, organizando espacialmente esses teores anômalos para a gestão pública garantir diretrizes nas questões relacionadas ao uso dos recursos hídricos e os impactos a saúde coletiva.

As regiões consideradas com teores críticos e anômalos em excesso de flúor para as coletas de inverno do ano de 2019 (acima de 0,8 mg/L) para águas subterrâneas, destacamos os municípios de Assaí (P61) e Congonhinhas (P57) com valores extremamente acima do VMR estabelecido pelo MS com teores chegando a 9,69 mg/L (Apêndice 2), teores que para o consumo humano podem trazer alto risco a desenvolvimento de diferentes níveis de fluorose dentária e em níveis mais elevados, riscos de fluorose óssea, aos consumidores destas.

Por outro lado, quando comparado as amostras em sazonalidade para o ano de 2020 (verão) observamos uma continuidade dos teores anômalos elevados do elemento flúor para os municípios de Assaí e Congonhinhas, ainda com valores acima do VMR estabelecido pelo MS, porém com uma tendência a dissolução do elemento coletado em estação de verão, em momento de abundância de água no sistema hidrológico.

Deste modo percebe-se que, nas estações mais secas, o elemento flúor tende a aparecer de forma mais concentrada com níveis mais elevados e nas estações mais chuvosas tendem a estar mais dissolvidos em suas concentrações.

Sendo assim podemos hipoteticamente afirmar que para as amostras de verão (águas altas) que estavam dentro dos níveis recomendados pela Portaria nº635/ BSB do MS (BRASIL, 1975), passaram de recomendados para níveis de concentração insatisfatórios ou abaixo do recomendado para o consumo humano, podendo propiciar maiores índices de cárie dentária. Outro ponto em destaque, são para as coletas de inverno, as quais geralmente encontram-se em níveis mais elevados insatisfatórios ou acima do recomendado para garantir a saúde bucal.

Por fim, através das análises e geoespacialização dos fluoretos realizados na bacia hidrográfica do Baixo Tibagi, percebe-se a necessidade um olhar minucioso pelo poder público para garantir uma melhor gestão na distribuição de águas para a sociedade civil, tendo em vista muitos pontos anômalos do elemento flúor, para que assim, possa garantir uma melhor qualidade na saúde bucal e saúde coletiva.

ESTUDO III - DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO DE FLUORETOS POR MEIO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIBAGI - PR ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021.

12 APRESENTAÇÃO

O flúor como elemento químico, ocorre na natureza em forma geogenética, oriundo das rochas e diluídos em solução aquosa, estes estão disponíveis na dieta humana seja eles, de forma natural, ou inseridas artificialmente pelo tratamento de água (GUIMARÃES, 2020).

Na tentativa de controle a cárie, a fluoretação no Brasil se deu a partir da década de 1970, onde constatou-se em outras regiões do planeta os altos níveis de fluoretos naturais e a baixa ocorrência de cárie, em população que consumiam das fontes de água rica em flúor. Estudos epidemiológicos constataram que o consumo de fluoretos se dá de forma positiva em caso de um controle da vigilância para esse elemento, nas águas tratadas ou *in natura*, onde evidenciaram uma queda média de dentes cariados por pessoa, após o início da fluoretação de água tratada desde a década de 70 (VENTURINI, 2016; FRAZÃO *et al.*, 2018; CALDARELLI, 2016; MALTZ, *et al.*, 2016; CORTELLAZZI *et al.*, 2009; CURY, 2001; GUIMARÃES, 2020).

Partindo desse pressuposto, na tentativa de compreender as condições do elemento flúor dispostos no recorte da bacia hidrográfica do baixo Tibagi, levou-se em consideração um resgate bibliográfico de trabalhos científicos relacionados às anomalias de fluoretos e outros elementos químicos, encontrados no norte do estado do Paraná. Trabalhos como de Pires (2008), Alievi (2012), Ross (2015), Nascimento (2015), Golono de Deus (2016), Santos (2019), Guimarães (2020), Pinese *et al.*, (2017, 2019 e 2021), constataram a ocorrência de anomalias geoquímicas de determinados elementos, com ênfase ao elemento flúor, com ocorrência natural em águas subterrâneas e superficiais.

Visando estabelecer os teores mínimos de flúor nas águas que previnam a ocorrência de cáries, e máximos que não sejam passíveis de causar danos à saúde, define-se por parâmetros nacionais, supranacionais e adaptações, as recomendações estabelecidas pela OMS (1984), onde definiu-se o teor de flúor considerado como ideal na água potável para países tropicais em 0,79 mg/L e em climas frios de até 1,4mg/L. Tais especificações de parâmetros com base em zonas climáticas, são estabelecidos considerando que, a quantidade de flúor presente no organismo, é

condicionada, dentre outros fatores, pela quantidade total de água ingerida diariamente, o que está diretamente relacionada com as condições climáticas locais (OMS, 1969; PINESE *et al.*, 2021).

A classificação destas variáveis do elemento flúor, foram balizadas pela orientação da OMS (1984) como já supracitados, onde sugere, o cálculo dos valores do elemento, limiares às condições climáticas locais, fato este, estabelecido pela Portaria 635/BSB do Ministério da Saúde (BRASIL, 1975), as quais as normas e padrões de fluoretação adotadas pelo território brasileiro reforçam a análise diária e mensal da concentração de flúor, sendo esta, regulada pela média térmica máxima diária. Desta forma, para a região da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, para temperaturas médias de 26,4 e 32,5 °C, utilizou-se como padrão assemelhado ao estado de São Paulo, onde, tomou-se por adotado o **valor de referência** de 0,6 a 0,8 mg/L, para amostras do elemento flúor indicados por (PINESE *et al.*, 2017 e 2021).

Cabe ainda ressaltar que além das portarias aqui expostas, existem portarias mais recentes acerca dos teores permitidos de elementos químicos nas águas de consumo e da fluoretação no Brasil, que são elas: as Portarias 2.914 e 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) e Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, a qual altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. As quais estabelecem por parâmetros legislativos a determinação apenas, dos teores máximos permitidos para a concentração de flúor na água que é de 1,5 mg/L.

Esses casos conduzem aprofundar na problemática buscando um melhor entendimento das ocorrências naturais e antrópicas do flúor na água superficial e subterrânea para abastecimento público.

Nesse contexto os dados secundários disponibilizados pelo Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental (VIGIAGUA), o qual faz parte dos procedimentos que alimentam os dados no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano (SISAGUA), em plataforma digital de acesso livre para toda comunidade civil busca corroborar com as análises e condições pré-existentes dos teores anômalos geogenéticos ou tecnogenéticos de flúor, levantando-se a hipótese de que a fluoretação nas águas de abastecimento público necessitam de uma melhor regulação, caso as águas superficiais e subterrâneas coletadas e distribuídas, já possuam quantidades suficientes de flúor para a distribuição à

sociedade civil, podendo ampliar a exposição ao elemento, causando situações de risco, em particular a saúde bucal.

Deste modo, estes levantamentos buscam contribuir com as entidades locais e regionais, responsáveis pela gestão das águas, onde, a pesquisa científica possa trazer subsídios por meio de ferramentas teórico-metodológicas auxiliando na fiscalização, regulação e gestão da distribuição das águas.

13 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente após a delimitação da área de estudo, os quais incluem 32 municípios inseridos na bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, foram utilizados dados secundários extraídos em plataforma online do Portal Brasileiro de Dados Abertos do Ministério da Saúde (SISAGUA/VIGIAGUA) disponíveis com acesso gratuito, para a tabulação, armazenamento e processamento de informações espaciais georreferenciadas ou não, com o intuito de gerar informações espaciais entre elas, projeção cartográfica, geoespacialização e estatística descritiva. Estas informações possibilitaram inúmeras análises as quais geraram hipóteses sobre a variabilidade dos teores de fluoretos, anômalos, presentes na área estudada.

Para o entendimento dos riscos e vulnerabilidades das classes sociais e etárias realizou-se um levantamento censitário dos habitantes por municípios, além da divisão percentual das faixas etárias mais vulneráveis a exposição do elemento flúor.

Na busca pelo melhor entendimento da distribuição e consumo de fluoretos por meio de fontes de abastecimento da água superficial e subterrânea, na bacia hidrográfica do baixo Tibagi, estabeleceu-se um banco de dados, para a produção de produtos de informações espaciais e estatísticas, formado por um total de 5.343 amostras coletadas e disponíveis no banco de dados, na representação temporal dos anos de 2017 a 2021.

Os dados das amostras disponibilizadas pela plataforma SISAGUA/VIGIAGUA, foram tratados e filtrados no software Excel para a escolha dos parâmetros de interesse, neste caso, os níveis de concentração de fluoretos por municípios, inserido na bacia hidrográfica. Para a espacialização dos dados de flúor optou-se pelo tratamento somente através da quantidade de amostras por município, pois o banco de dados se encontrava inconsistente no que se diz às coordenadas georreferenciadas, para definir a geolocalização de cada ponto amostral.

Estas foram tratadas, descritas e classificadas num âmbito geral, sem diferenciação do tipo de fonte de coleta e/ou áreas urbanas ou rurais, pois o banco de dados não especificou se as concentrações eram de águas tratadas ou não tratadas, deste modo, servindo de subsídio para uma investigação exploratória dos níveis de fluoretos anômalos o que se encontram acima ou abaixo dos valores recomendados pela Portaria N° 635/BSB, de 26 de dezembro de 1975), balizados conforme (Pinese *et al.*, 2021).

Cabe ressaltar, que a falta de informações pertinentes a geolocalização e tipos de fontes demonstram uma deficiência na coleta e gestão dos dados sobre a qualidade de água na região estudada, relacionadas ao baixo conhecimento específico de coletas e armazenamento dos dados na plataforma por parte dos técnicos responsáveis, dificultando o manejo das informações adquiridas.

Para realização da estatística descritiva das amostras disponibilizadas pelo SISAGUA/VIGIAGUA, foi realizado uma quantificação de amostras por municípios, referente ao elemento flúor, para cada ano (2017-2021), demonstrando assim, se as amostras estavam insatisfatórias, recomendados e/ou excessivas, balizadas pela Portaria N° 635/BSB de 1975 e aplicadas por (Pinese *et al.*, 2021) além do valor mínimo e máximo dos teores de fluoretos por município e média aritmética destes.

Após a organização e descrição estatística do banco de dados, as informações adquiridas, permitiram a compilação dos dados para a espacialização dos mesmos através de mapas no recorte estudado, utilizando as médias por municípios/ano, dos valores **abaixo do recomendado**, caracterizadas pelos valores de 0 - 0,59 mg/L de flúor, as médias por municípios/ano, dos valores dentro do **recomendado**, caracterizadas com valores de 0,6 – 0,8 mg/L de flúor e as médias dos valores **acima do recomendado** para as amostras com concentrações de >0,81.

Adotou-se por separar as informações geoespaciais em três níveis: 0 – 0,59 (concentração abaixo do recomendado) com gradiente de tonalidades da cor verde; para as concentrações ideais 0,6 – 0,8 (recomendado), com tonalidades da cor amarela e por fim as concentrações \geq 0,81 (concentrações acima do recomendado) com tonalidades da cor vermelha. Ainda as tonalidades da cor cinza tivemos a representação dos municípios os quais não continham amostras disponibilizadas pelo banco de dados caracterizados como S/D (sem dados). A adoção deste tratamento foi tomada por base com o objetivo de identificar quais municípios encontravam-se com uma situação mais crítica e menos crítica (Figuras 24, 25 e 26).

Deste modo as técnicas de geoprocessamento aliadas à um SIG, dentro deste contexto produzem recursos que oportunizam associações/sínteses/correlações com diversas finalidades, podendo ser utilizadas como ferramentas de trabalho e evolução metodológica na aplicação do tratamento de dados de informações “explícitas” e relações implícitas para uma melhor gestão de dados (MOURA, 2001)

14 RESULTADOS E DISCUSSÃO

14.1 RELAÇÃO RISCOS E VULNERABILIDADES SOCIAIS POR FAIXA ETÁRIA

Dados do Censo 2010, foram utilizados para determinar a relação das ocorrências anômalas de concentrações de fluoretos a partir das características etárias da população, a qual estão mais susceptíveis ao contato com o elemento, que nesse caso são as idades primárias de 0 a 14 anos, onde por tendência estão mais expostas à carie e fluorose dentária. Estudos odontológicos, evidenciam relações de classes sociais e faixas etárias com ocorrência de cáries e fluorose dentária (Tabela 6).

Tabela 6 – Quantidade percentual de habitantes por faixa etária para os municípios da bacia hidrográfica do Baixo Tibagi.

Municípios	0 a 14 anos (idade primária)	>15 anos	Total de Habitantes	% 0 a 14 anos	% Total
Apucarana	26.003	94.916	120.919	2,1	9,9
Arapongas	21.971	82.179	104.150	1,8	8,5
Assaí	3.557	12.797	16.354	0,3	1,3
Bela Vista do Paraíso	3.112	11.967	15.079	0,3	1,2
Califórnia	1.788	6.281	8.069	0,1	0,7
Cambé	21.270	75.463	96.733	1,7	7,9
Congonhinhas	1.929	6.350	8.279	0,2	0,7
Cornélio Procópio	9.154	37.774	46.928	0,7	3,8
Curiúva	3.515	10.408	13.923	0,3	1,1
Faxinal	3.856	12.458	16.314	0,3	1,3
Ibiporã	10.624	37.574	48.198	0,9	3,9
Jataizinho	2.971	8.904	11.875	0,2	1,0
Leópolis	863	3.282	4.145	0,1	0,3
Londrina	105.275	401.426	506.701	8,6	41,4
Marilândia do Sul	2.051	6.812	8.863	0,2	0,7
Mauá da Serra	2.376	6.179	8.555	0,2	0,7
Nova América da Colina	812	2.666	3.478	0,1	0,3
Nova Fátima	1.861	6.286	8.147	0,2	0,7
Nova Santa Bárbara	898	3.010	3.908	0,1	0,3
Ortigueira	6.247	17.133	23.380	0,5	1,9
Primeiro de Maio	2.113	8.719	10.832	0,2	0,9

Rancho Alegre	806	3.149	3.955	0,1	0,3
Rolândia	12.249	45.613	57.862	1,0	4,7
Santa Cecília do Pavão	825	2.821	3.646	0,1	0,3
Santo Antônio do Paraíso	557	1.851	2.408	0,0	0,2
São Jerônimo da Serra	2.925	8.412	11.337	0,2	0,9
São Sebastião da Amoreira	1.968	6.658	8.626	0,2	0,7
Sapopema	1.746	4.990	6.736	0,1	0,6
Sertaneja	1.163	4.654	5.817	0,1	0,5
Sertanópolis	3.220	12.418	15.638	0,3	1,3
Tamarana	3.352	8.910	12.262	0,3	1,0
Uraí	2.347	9.125	11.472	0,2	0,9
Total	263.404	961.185	1.224.589	21,5	100,0

Fonte: IBGE – Censo – 2010.

Cortellazi et al., (2009) consideram essas variáveis sociais variáveis importantes para estudos epidemiológicos sobre cáries, demonstrando as influências socioeconômicas, em relação a cárie, em crianças de 5 anos, no município de Piracicaba – SP, onde concluíram que “crianças com famílias de renda mensal superior a 4 salários mínimos tiveram menores probabilidades de ter cárie dental [...] do que aquelas com renda igual ou menos que 4 salários mínimos.

Uma possível explicação para tal fato, é que as crianças com contato com maior poder aquisitivo teriam maiores acessos a produtos fluoretados, como dentifrícios utilizados na escovação (CORTELLAZZI et al., 2009).

Levantamentos realizados pós fluoretação no Brasil (1958 – 1968), apontam que 1120 crianças de 6 – 12 anos em 10 unidades de ensino verificaram resultados positivos na política da redução da cárie dental, tendo uma redução de 39,4% no índice de CPO-D nesta faixa etária (AMARANTE, 2008), corroborando para a maior vulnerabilidade destes atores.

Pinto (2008) afirma que o tempo de exposição, a idade do indivíduo e a etapa de formação do dente está associado ao grau de avanço da fluorose, sendo a faixa etária mais propensa a manifestação da doença entre 3-4 meses a 7-8 anos.

A prevalência da fluorose segundo as pesquisas epidemiológicas relatam que a morbidade é endêmica em locais onde as concentrações de flúor são elevadas em reservatórios naturais de água. Na faixa etária de 12 anos, a prevalência chegou a 8,5%, apresentando como severa em apenas 0,7% segundo o levantamento brasileiro entre 2002 a 2003. Jovens entre 15 a 19 anos apresentam 5,1% de casos leves e 0,3% de casos moderados e severos. Em síntese, os resultados demonstraram baixa prevalência, entretanto com disparidades nitidamente regionais (BRASIL, 2009).

Desta forma como apresentado na (Tabela 06) cidades como Apucarana, Arapongas, Cambé, Londrina e Rolândia merecem uma atenção especial para as fontes de abastecimento, relacionadas às quantidades de fluoretos na água, pois as mesmas apontam percentuais mais altos, relacionados às faixas etárias da população mais exposta e susceptível ao contato com o elemento flúor (0 – 14 anos) nos percentuais de (2,1%), (1,8%), (1,7%), (8,6%) e (1,0%) respectivamente.

Historicamente, os benefícios e relações da fluoretação com as idades primárias no cenário de cárie dental, merece um acompanhamento contínuo o qual assegure a população contra a exposição e manifestação da fluorose dentária e óssea, regulando dessa forma, os níveis ideais para o consumo humano.

14.2 COBERTURA DAS AMOSTRAS DE FLUORETOS PELO SISAGUA – 2017 A 2021

Ao todo, entre os anos de 2017 a 2021, nos municípios do recorte da bacia hidrográfica do baixo Tibagi, foram coletadas e realizadas 5.343 análises para o fluoreto, disponibilizadas pelos dados abertos da plataforma SIAGUA. Como supracitado para essas análises, não foram realizadas separações entre tipos de fonte, amostras fluoretadas ou não, nem zonas urbanas ou rurais, inserindo-as todas as em um mesmo grupo focal. Tal posicionamento foi tomado pela inconsistência de informação nos dados adquiridos e disponibilizados pela plataforma.

Para o ano de 2017 o levantamento quantitativo das amostras para o recorte da região, totalizaram 1.736 amostras (Tabela 7), destas, de um total de 32 municípios, apenas 18 tiveram coletas e análises de amostras para o elemento flúor pelos órgãos responsáveis. Deste conjunto de amostras para o ano de 2017, foi verificado uma variação de análises de 0,0 mg/L de teores de fluoretos (Curiúva e Ortigueira) até níveis máximos chegando a 1,80 mg/L de flúor, com destaque para o município de Arapongas, níveis estes que extrapolam os valores recomendados por (Pinese *et al.*, 2021) para o consumo humano e pela portaria aqui especificada.

Tabela 7 - Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2017.

Municípios	Qtd. Amostras	Ab.R.	R	Ac.R	Min	Max	Med
16ª Regional Saúde							
Apucarana	109	7	90	12	0,50	1,50	0,71
Arapongas	109	9	90	10	0,10	1,80	0,71
Califórnia	60	4	52	4	0,47	0,89	0,68
Faxinal	60	0	52	8	0,60	0,88	0,78
Marilândia do Sul	68	11	53	4	0,21	0,87	0,65
Mauá da Serra	64	9	52	3	0,46	0,81	0,68
17ª Regional Saúde							
Assai	43	4	15	24	0,11	1,16	0,67
Bela Vista do Paraíso	51	5	15	31	0,11	1,29	0,65
Cambé	204	8	52	144	0,00	1,20	0,56
Londrina	629	15	170	444	0,01	1,34	0,60
Primeiro de Maio	113	13	45	55	0,27	1,48	0,71
Rolândia	50	2	18	30	0,02	1,65	0,56
Tamarana	34	1	7	26	0,10	1,30	0,61
18ª Regional Saúde							
Leópolis	1	0	0	1	0,08	0,08	0,08
Nova América da Colina	5	5	0	0	0,14	0,33	0,20
São Sebastião da Amoreira	1	0	1	0	0,80	0,80	0,80
21ª Regional Saúde							
Curiúva	83	11	30	42	0,00	1,61	0,69
Ortigueira	52	30	15	7	0,00	1,50	0,63
Total	1736	134	757	845			

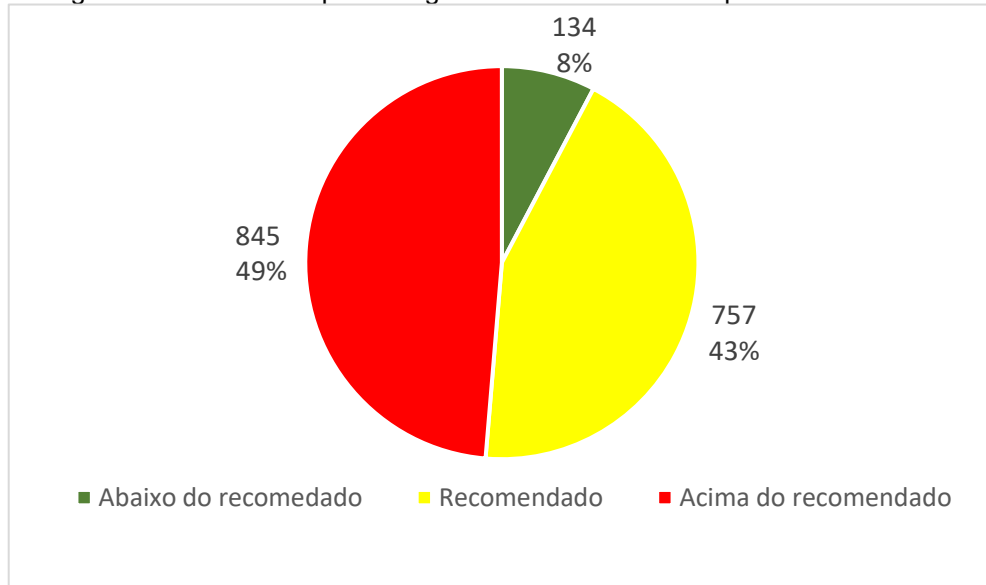
Legenda: Qtd=quantidade; Ab.R=abaixo do recomendado; R=recomendado; Ac.R=acima do recomendado; Min=mínimo; Max=máximo; Med.=média.

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Os valores médios do elemento flúor para cada município não apresentou grande confiabilidade pois a quantidade de coletas não segue um padrão em relação a quantidade de amostras, por esse motivo as médias aritméticas se mostraram tendenciosas para a análise.

A (Figura 10) o gráfico demonstra que para um total de 1736 amostras, 134 se apresentaram como abaixo do recomendado para os limites apresentados, totalizando 8% de um total de amostras. Para as amostras com teores de flúor dentro dos valores recomendados (0,6 – 0,8 mg/L), a região apresentou um total de 757 amostras (43%). Para os valores estipulados acima do recomendado para o consumo humano, totalizaram 845 amostras (49%), valor este cujo são >0,8 mg/L para o elemento flúor.

Figura 24 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2017



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

O banco de dados organizado para o ano de 2018, apresentou um total de 1.338 amostras para um total de 15 municípios, onde as quantidades para a concentração dos fluoretos, variaram de 0 mg/L a um valor máximo de 1,81 mg/L de flúor. Municípios como Assaí e Ortigueira apresentaram valores mínimos bem abaixo recomendado apresentando concentrações de 0 mg/L, em contrapartida Londrina, Assaí e Faxinal, apresentam amostras acima dos limites recomendados, (1,81; 1,73 e 1,3) respectivamente (Tabela 8). Limites estes, que extrapolam o VMP (Valor máximo permitido) pela Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021 e recomendados por (PINESE *et al.*, 2021).

Tabela 8 - Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2018.

Municípios	Qtd. Amostras	Ab.R.	R	Ac.R	Min	Max	Med
16ª Regional Saúde							
Califórnia	60	2	58	0	0,6	0,75	0,62
Faxinal	60	0	41	19	0,6	1,3	0,84
Marilândia do Sul	61	0	56	5	0,6	1	0,83
Mauá da Serra	62	0	58	4	0,6	0,98	0,82
17ª Regional Saúde							
Apucarana	110	0	107	3	0,6	0,83	0,76
Arapongas	112	0	98	14	0,6	1,1	0,80
Assaí	40	7	15	18	0	1,73	0,73
Bela Vista do Paraíso	68	2	33	33	0,4	1,11	0,72
Cambé	222	7	97	118	0,1	1,51	0,67
Londrina	450	34	147	269	0	1,81	0,65
Primeiro de Maio	30	2	12	16	0,3	1,17	0,69
Rolândia	48	5	27	16	0,3	1,1	0,68

Tamarana	32	4	19	9	0,1	1,11	0,71
18ª Regional Saúde							
-	-	-	-	-	-	-	-
21ª Regional Saúde							
Curiúva	58	16	30	12	0,1	1,18	0,71
Ortigueira	35	14	13	8	0	0,94	0,57
Total	1338	93	704	541			

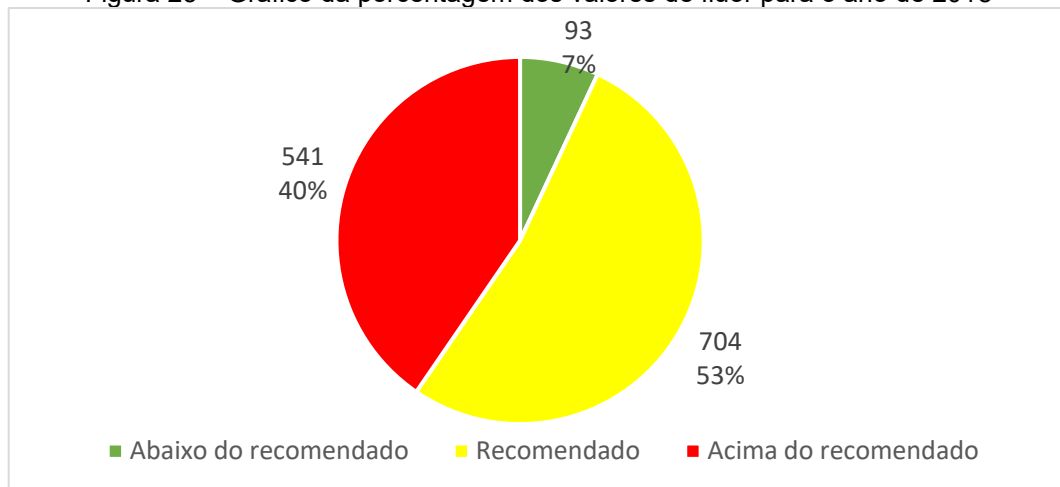
Legenda: Qtd=quantidade; Ab.R=abaixo do recomendado; R=recomendado; Ac.R=acima do recomendado; Min=mínimo; Max=máximo; Med.=média.

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Os valores médios apresentaram-se como tendenciosos para as amostras de cada município, por não possuírem um padrão na quantidade de amostras coletadas.

A (Figura 25), apresenta uma realidade de 1.338, onde 93 amostras (7%) com limites abaixo do recomendado para os valores adequados do elemento flúor, 704 amostras (53%) dentro dos valores recomendados (0,6 – 0,8 mg/L) e 541 amostras (40%) com valores acima do recomendado (>0,8 mg/L), considerados prejudiciais para o consumo humano.

Figura 25 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2018



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Para o banco de dados organizados do ano de 2019, o mesmo apresentou uma realidade de 1.085 amostras dispostas em 19 municípios. Destas amostras tivemos concentrações mínimas de 0 mg/L de flúor, com destaque para os municípios de Curiúva e Ortigueira e 2,1 mg/L para valores máximos encontrados, dando destaque para o município de Arapongas. As médias aritméticas dos teores de flúor não tiveram resultados consistentes por conta da variabilidade na quantidade de amostras, tornando-os tendenciosos (Tabela 9).

Tabela 9 - Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2019.

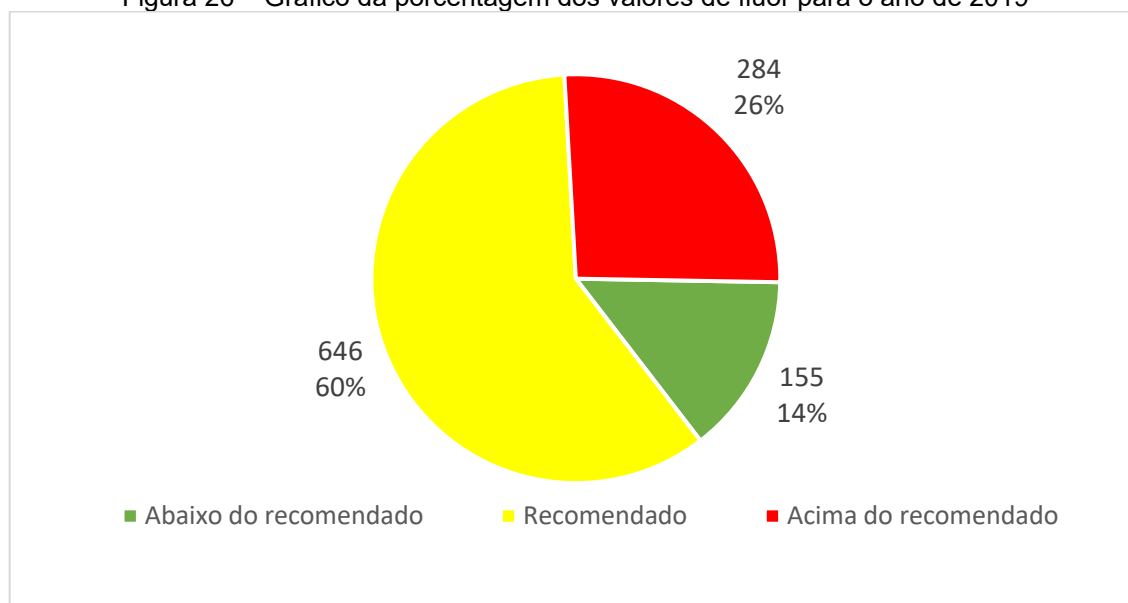
Municípios	Qtd. Amostras	Ab.R.	R	Ac.R	Min	Max	Med
16ª Regional Saúde							
Apucarana	103	2	93	8	0,52	0,96	0,69
Arapongas	108	12	93	3	0,55	2,1	1,06
Califórnia	60	2	47	11	0,54	0,93	0,70
Faxinal	60	2	45	13	0,11	1	0,65
Marilândia do Sul	60	7	39	14	0,3	1,2	0,70
Mauá da Serra	60	4	50	6	0,21	0,85	0,64
17ª Regional Saúde							
Assai	24	4	17	3	0,26	0,91	0,70
Bela Vista do Paraíso	65	17	23	25	0,05	1,11	0,60
Cambé	165	10	80	75	0,26	1,31	0,72
Londrina	182	17	72	93	0,06	1,15	0,69
Primeiro de Maio	43	25	12	6	0,05	1,33	0,66
Rolândia	39	10	25	4	0,08	1,56	0,74
Tamarana	11	4	5	2	0,14	0,92	0,68
18ª regional Saúde							
Congonhinhas	5	5	0	0	0,55	0,58	0,57
Leópolis	15	9	2	4	0,33	1,02	0,69
São Sebastião da Amoreira	10	0	6	4	0,6	0,87	0,78
Uraí	10	1	9	0	0,18	0,63	0,40
21ª Regional Saúde							
Curiúva	39	12	17	10	0	1,22	0,64
Ortigueira	26	12	11	3	0,01	1,6	0,68
Total	1085	155	646	284			

Legenda: Qtd=quantidade; Ab.R=abaixo do recomendado; R=recomendado; Ac.R=acima do recomendado; Min=mínimo; Max=máximo; Med.=média.

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Deste modo, para o ano de 2019 a (Figura 26) representa uma realidade de 1.085 amostras sendo elas, 155 amostras ou (14%) com níveis abaixo do recomendado para o consumo humano, 646 (60%) das amostras dentro do valor recomendado para os níveis de flúor, para o consumo humano e 284 (26%) das amostras acima dos valores recomendados estipulados pela portaria representada.

Figura 26 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2019



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

A representação dos dados apresentados na (Tabela 10) para o ano de 2020, contou com um total de 615 amostras, para uma realidade de 22 municípios, encontrando amostras mínimas de 0 mg/L no município de Leópolis e 0,2 mg/L para os municípios de Rolândia e Tamarana. Os valores para as concentrações máximas de fluoretos encontrada, ocorreu para o município de Leópolis com 3,12 mg/L.

Tabela 10 - Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2020.

Municípios	Qtd. Amostras	Ab.R.	R	Ac.R	Min	Max	Med
16ª Regional Saúde							
Apucarana	17	0	17	0	0,62	0,80	0,70
Arapongas	10	0	10	0	0,62	0,79	0,69
Califórnia	12	0	12	0	0,60	0,75	0,67
Faxinal	12	0	6	6	0,70	0,90	0,80
Marilândia do Sul	12	0	12	0	0,67	0,80	0,74
Mauá da Serra	12	0	12	0	0,63	0,77	0,70
17ª Regional Saúde							
Assai	22	4	12	4	0,09	1,32	0,74
Bela Vista do Paraíso	42	2	27	13	0,55	1,15	0,72
Cambé	89	7	37	45	0,09	1,20	0,68
Londrina	90	4	25	61	0,05	1,17	0,68
Primeiro de Maio	36	22	14	0	0,07	0,76	0,49
Rolândia	27	6	12	9	0,02	1,37	0,67
Tamarana	26	3	14	9	0,02	0,99	0,63
18ª regional Saúde							
Congonhinhas	21	7	3	11	0,25	1,33	0,71
Cornélio Procópio	19	3	11	5	0,58	0,96	0,72
Leópolis	51	39	2	10	0,00	3,12	0,80
Nova América da Colina	42	26	8	8	0,08	1,99	0,70
São Sebastião da Amoreira	40	3	31	6	0,12	0,89	0,65

Sapopema	8	3	5	0	0,50	0,66	0,59
Uraí	10	0	10	0	0,64	0,79	0,70
21ª Regional Saúde							
Curiúva	15	6	7	2	0,43	0,85	0,68
Ortigueira	2		1	1	0,75	0,81	0,78
Total	615	135	288	190			

Legenda: Qtd=quantidade; Ab.R=abaixo do recomendado; R=recomendado; Ac.R=acima do recomendado; Min=mínimo; Max=máximo; Med.=média.

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Da realidade de 615 amostras 135 (22%) se encontraram como valores abaixo do recomendado, 288 (47%) com valores recomendados e 190 (31%) para amostras acima do recomendado para o consumo humano (Figura 27).

Figura 27 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2020



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Para o ano de 2021 o levantamento quantitativo das amostras para o recorte da região, totalizaram 572 amostras (Tabela 11), destas, de um total de 32 municípios, apenas 15 tiveram coletas e análises de amostras para o elemento flúor pelos órgãos responsáveis. Deste conjunto de amostras para o ano de 2020, foi verificada uma variação nas análises de 0,0 mg/L dos teores de fluoretos (Cambé, Londrina, Tamarana e São Jerônimo da Serra) até níveis máximos chegando a 1,59 mg/L de flúor, com destaque para o município de Londrina, níveis estes que extrapolam os valores recomendados para o consumo humano pela portaria.

Tabela 11 - Quantificação de amostras por municípios para concentração do elemento flúor para o ano de 2021.

Municípios	Qtd. Amostras	Ab.R.	R	Ac.R	Min	Max	Med
16ª Regional Saúde							
-	-	-	-	-	-	-	-
17ª Regional Saúde							
Assai	26	0	3	23	0,8	1,37	0,85
Bela Vista do Paraíso	30	2	10	18	0,5	1,07	0,73
Cambé	108	2	51	55	0	1,49	0,67
Jataizinho	7	2	4	1	0,3	0,81	0,68
Londrina	258	31	67	160	0	1,59	0,63
Primeiro de Maio	18	5	9	4	0,4	1,01	0,69
Rolândia	32	9	11	11	0,1	0,98	0,60
Sertanópolis	4	1	3	0	0,2	0,72	0,47
Tamarana	21	1	9	11	0	1,01	0,80
18ª regional Saúde							
Congonhinhas	10	0	7	3	0,6	0,89	0,78
Cornélio Procópio	5	0	4	1	0,6	0,82	0,77
Leópolis	15	7	4	4	0,2	1,17	0,74
Nova Santa Barbara	8	3	5	0	0,4	0,75	0,58
São Jerônimo da Serra	13	13	0	0	0	0,49	0,15
21ª Regional Saúde							
Curiúva	17	2	10	5	0,3	1,18	0,69
Total	572	78	197	296			

Legenda: Qtd=quantidade; Ab.R=abaixo do recomendado; R=recomendado; Ac.R=acima do recomendado; Min=mínimo; Max=máximo; Med.=média.

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Os valores médios não apresentaram grande confiabilidade pois a quantidade de coletas não segue um padrão em relação a quantidade de amostras, por esse motivo as médias aritméticas também se mostraram tendenciosas para a análise.

Para a (Figura 28) o gráfico demonstra que um total de 572 amostras, 78 se apresentaram como abaixo do recomendado para os limites apresentados, totalizando 14% de um total de amostras. Para as amostras com teores de flúor dentro dos valores recomendados (0,6 – 0,8 mg/L), a região apresentou um total de 197 amostras (34%). Para os valores estipulados acima do recomendado para o consumo humano, totalizaram 296 amostras (52%), valor este, cujo, são >0,8 mg/L para o elemento flúor.

Figura 28 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2021



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Por fim, para o levantamento do referido bando de dados, da bacia hidrográfica do baixo Tibagi - PR, ao analisar os dados obtidos pela plataforma online do SISAGUA, identificou-se para os anos de 2019 a 2021, um total de 5.343 amostras, das quais 595 foram classificadas como abaixo do recomendado ou insatisfatórias no tocante a prevenção de cárie, ou seja, níveis de concentração abaixo de 0,59 mg/L para o elemento flúor. As amostras classificadas como recomendadas (0,6 – 0,8 mg/L) apresentaram um total de 2.592 e por fim, as amostras consideradas como acima do recomendado, apresentaram um total de 2156 (Tabela 12).

Tabela 12 - Quantificação de amostras por ano para concentração do elemento flúor 2017-2021

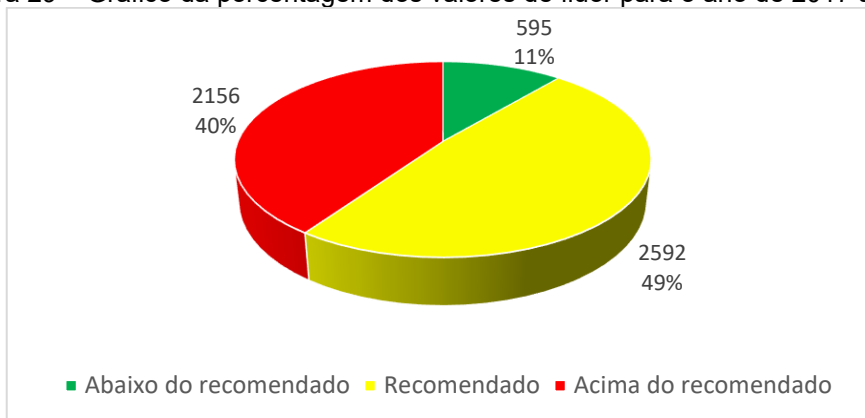
Parâmetros	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Abaixo do recomendado	134	93	155	135	78	595
Recomendado	757	704	646	288	197	2592
Acima do recomendado	845	541	284	190	296	2156
Total Geral	1736	1338	1085	615	572	5343

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Nessa realidade as amostras consideradas como abaixo do recomendado apresentaram um valor percentual de 11% do total das amostras, ou seja, insatisfatórias no que se diz a respeito da prevenção de cáries dentárias. Os valores ideais ou recomendados, se apresentaram com a quantidade de 49% e os valores

acima do recomendado, tiveram um total de 40% (Figura 29). Dessa forma inferimos que 51% das amostras encontram-se como fora do padrão de potabilidade para o consumo humano, podendo trazer sérios riscos à saúde bucal tais como a cárie dentária em níveis insatisfatórios e/ou fluorose dentária no caso do consumo da água em níveis anômalos de fluoretos.

Figura 29 – Gráfico da porcentagem dos valores de flúor para o ano de 2017 a 2021



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

14.3 ESPACIALIZAÇÃO DO CONSUMO DE FLUORETOS: DADOS SISAGUA 2017 A 2021

Embora os dados disponíveis pela plataforma SISAGUA, não terem um padrão de referência apontadas anteriormente, utilizamos de operações de geoprocessamento para investigar as diferentes organizações em escala regional e municipal, tendo como objetivo determinar as diferentes situações espaciais referentes ao consumo de fluoretos no recorte da bacia hidrográfica do baixo Tibagi. Desta forma, percebe-se algumas situações pontuais que expõe a população à diferentes riscos.

Outro ponto importante, detectado na espacialização das amostras, foram demonstrados pelas lacunas existente no banco de dados, principalmente no sentido da falta de amostras coletadas em muitos municípios do recorte, não existindo um padrão de coletas anuais para a manutenção do mesmo.

14.4 ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DO ELEMENTO FLÚOR 0 – 0,59 MG/L PARA OS ANOS DE 2017 A 2021.

Ao analisar a representação cartográfica (Figura 30) de concentrações médias por municípios do elemento flúor (0 – 0,59 mg/L), observamos que para o ano de 2017, notou-se 6 municípios em estado crítico, com concentrações que variam de 0,04 a 0,14 mg/L (Tabela 13), com destaque para o município de Rolândia (0,04), Cambé (0,07), Leópolis (0,08) Londrina e Tamarana (0,10) e Bela Vista do Paraíso (0,14), valores estes considerados totalmente ineficientes para o controle à cárie.

Tabela 13 - Concentrações médias de flúor 0 – 0,59 mg/L para os anos de 2017 a 2021

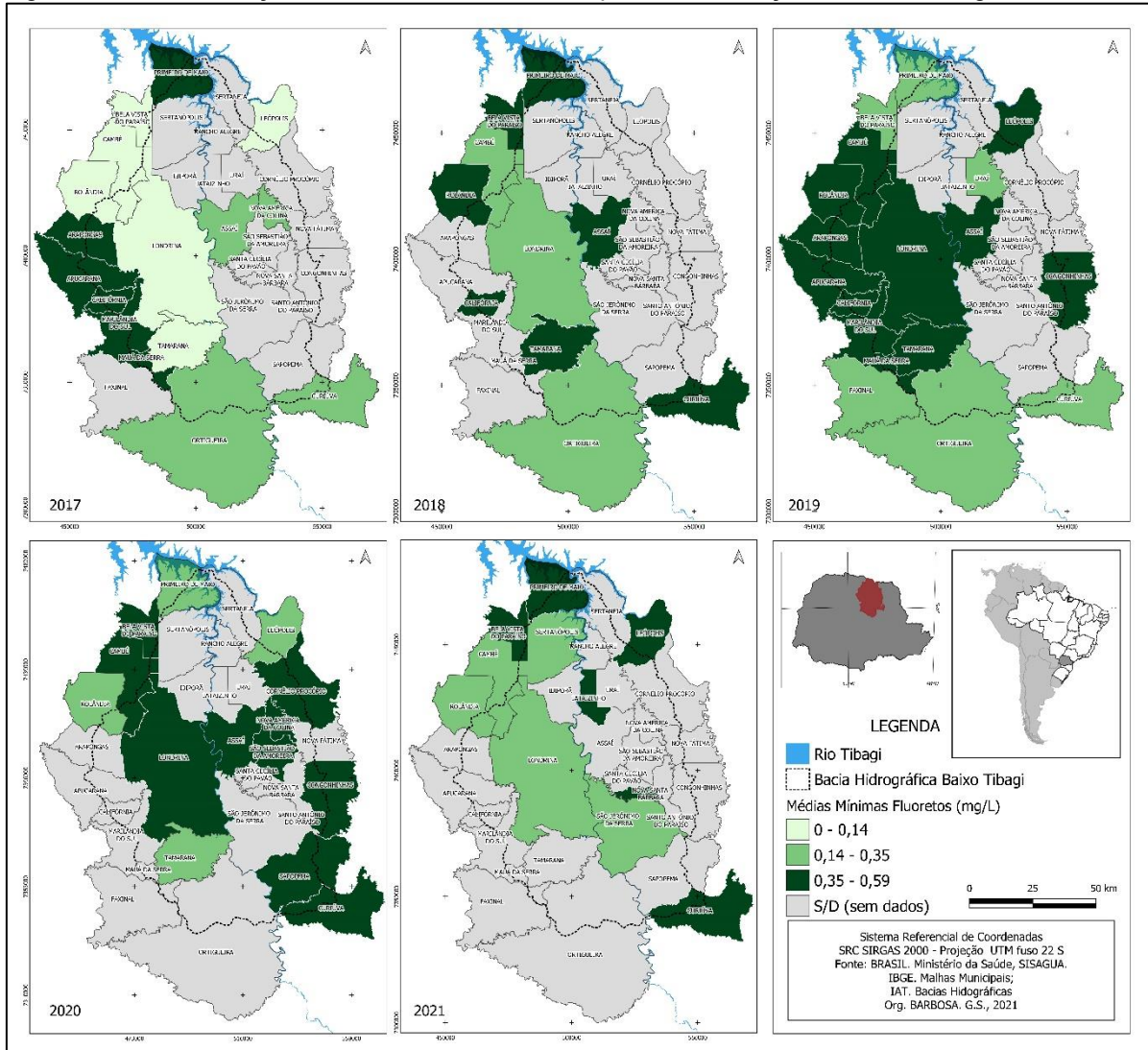
Municípios	2017	2018	2019	2020	2021
Apucarana	0,56	-	0,54	-	-
Arapongas	0,48	-	0,58	-	-
Assai	0,31	0,40	0,51	0,41	-
Bela Vista do Paraíso	0,14	0,54	0,18	0,57	0,54
Califórnia	0,50	0,58	0,55	-	-
Cambé	0,07	0,35	0,51	0,38	0,32
Congonhinhas	-	-	0,57	0,44	-
Cornélio Procópio	-	-	-	0,59	-
Curiúva	0,35	0,51	0,22	0,53	0,37
Jataizinho	-	-	-	-	0,45
Faxinal	-	-	0,32	-	-
Leópolis	0,08	-	0,40	0,31	0,44
Londrina	0,10	0,28	0,45	0,38	0,17
Marilândia do Sul	0,42	-	0,44	-	-
Mauá da Serra	0,54	-	0,39	-	-
Nova América da Colina	0,20	-	-	0,36	-
Ortigueira	0,25	0,17	0,22	-	-
Nova Santa Barbara	-	-	-	-	0,47
Primeiro de Maio	0,46	0,43	0,23	0,32	0,50
Rolândia	0,04	0,46	0,49	0,30	0,25
São Jerônimo da Serra	-	-	-	-	0,15
São Sebastião da Amoreira	-	-	-	0,39	-
Sertanópolis	-	-	-	-	0,23
Sapopema	-	-	-	0,53	-
Tamarana	0,10	0,42	0,47	0,25	-
Uraí	-	-	0,19	-	-

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

A partir do ano de 2018 até 2021 houveram melhorias nos padrões de concentração do flúor por municípios, porém não chegando ainda nos níveis de concentrações ideais e/ou recomendadas que são de 0,6 – 0,8 mg/L. Destes se destacam os anos de 2019 e 2020 representado graficamente nos mapas com a tonalidade verde mais escura, onde os níveis variam de 0,35 – 0,59 mg/L de flúor,

níveis estes, aproximados do valor recomendado para a concentração do elemento na região.

Figura 30 – Concentração médias do elemento flúor para concentrações 0,0 – 0,59 mg/L: 2017 a 2021



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021; IBGE, Malhas municipais, 2015 Org.: O próprio autor

14.5 ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DO ELEMENTO FLÚOR 0,6 – 0,8 MG/L PARA OS ANOS DE 2017 A 2021.

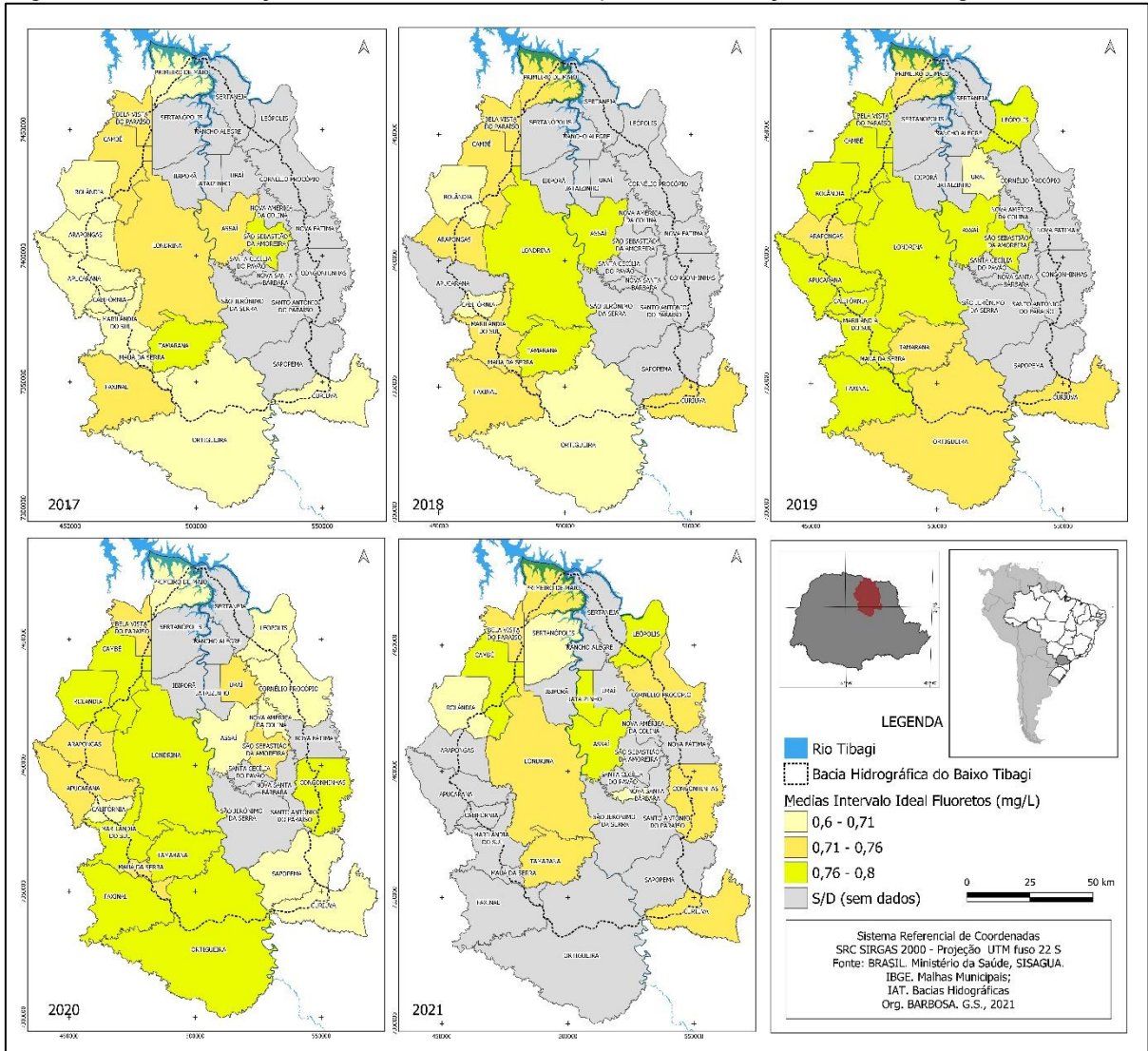
Para a análise da representação cartográfica (Figura 31) das concentrações médias por municípios do elemento flúor (0,6 – 0,8 mg/L), observamos que a maior parte dos municípios que possuem dados, apresentaram 49% de suas amostras dentro dos valores recomendados e/ou ideais (Figura 29), valores estes considerados dentro da potabilidade para consumo (Tabela 14).

Tabela 14 - Concentrações médias de flúor 0,6 – 0,8 mg/L para os anos de 2017 a 2021

Municípios	2017	2018	2019	2020	2021
Apucarana	0,70	-	0,70	0,70	-
Arapongas	0,68	0,71	0,68	0,69	-
Assai	0,74	0,74	0,73	0,65	0,79
Bela Vista do Paraíso	0,75	0,72	0,71	0,70	0,73
Califórnia	0,67	0,67	0,70	0,67	-
Cambé	0,72	0,72	0,72	0,73	0,75
Congonhinhas	-	-	-	0,72	0,72
Cornélio Procópio	-	-	-	0,66	0,72
Curiúva	0,68	0,70	0,67	0,66	0,73
Jataizinho	-	-	-	-	0,76
Faxinal	0,74	0,71	0,72	0,75	-
Leópolis	-	-	0,70	0,66	0,76
Londrina	0,76	0,73	0,71	0,73	0,74
Marilândia do Sul	0,68	0,71	0,72	0,74	-
Mauá da Serra	0,69	0,70	0,71	0,70	-
Nova América da Colina	-	-	-	0,67	-
Ortigueira	0,68	0,69	0,68	0,75	-
Nova Santa Barbara	-	-	-	-	0,69
Primeiro de Maio	0,70	0,72	0,67	0,65	0,71
Rolândia	0,71	0,68	0,71	0,72	0,68
São Jerônimo da Serra	-	-	-	-	-
São Sebastião da Amoreira	0,8	-	0,70	0,69	-
Sertanópolis	-	-	-	-	0,70
Sapopema	-	-	-	0,64	-
Tamarana	0,78	0,76	0,69	0,75	0,71
Uraí	-	-	0,62	0,70	-

Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Figura 31 – Concentração médias do elemento flúor para concentrações 0,6 – 0,8 mg/L: 2017 a 2021



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021; IBGE, Malhas municipais, 2015 Org.: O próprio autor

14.6 ESPACIALIZAÇÃO DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DO ELEMENTO FLÚOR \Rightarrow 8,1 MG/L PARA OS ANOS DE 2017 A 2021.

Ao avaliar a representação cartográfica (Figura 32) de concentrações médias por municípios do elemento flúor acima do recomendado para consumo humano (\Rightarrow 0,81 mg/L) observou-se que grande parte dos municípios possuem concentrações do elemento flúor acima do recomendado variando de 0,81 a 1,93 mg/L (Tabela 15), com destaque para os municípios de Bela vista do Paraíso (2017); Assaí (2018); Arapongas, Curiúva, Ortigueira, Primeiro de Maio e Rolândia (2019); Assai, Leopólis e Nova América da Colina (2020) e por fim Leopólis novamente apresentando um

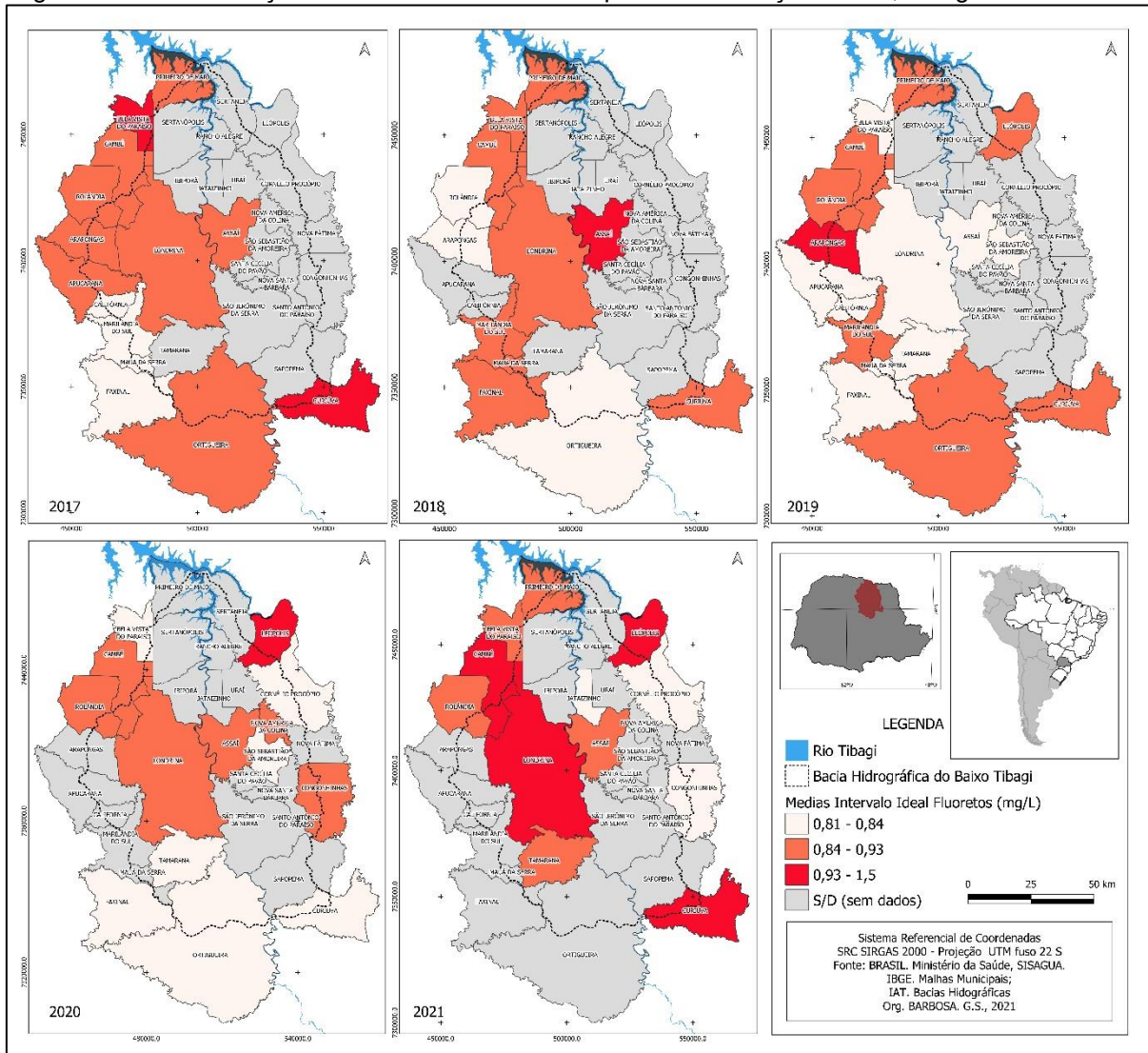
valor em 2021, estes representam 52% dos municípios, fora dos limites recomendados (PINESE *et al.*, 2021) e pela portaria aqui utilizada (Figura 28).

Tabela 15 - Concentrações médias de flúor \geq 0,81 mg/L para os anos de 2017 a 2021

Municípios	2017	2018	2019	2020	2021
Apucarana	0,90	-	0,85	-	-
Arapongas	0,96	0,89	1,93	-	-
Assaí	0,96	1,05	0,85	1,16	0,92
Bela Vista do Paraíso	1,07	0,91	0,92	0,89	0,93
Califórnia	0,87	-	0,85	-	-
Cambé	0,91	0,94	0,94	0,94	0,95
Congonhinhas	-	-	-	0,97	0,84
Cornélio Procópio	-	-	-	0,90	0,83
Curiúva	1,03	0,92	1,03	0,85	0,98
Jataizinho	-	-	-	-	0,82
Faxinal	0,83	0,97	0,91	0,86	-
Leópolis	-	-	0,96	1,44	1,01
Londrina	0,94	0,94	0,93	0,94	0,97
Marilândia do Sul	0,85	0,94	0,95	-	-
Mauá da Serra	0,81	0,94	0,83	-	-
Nova América da Colina	-	-	-	1,08	-
Ortigueira	0,96	0,85	1,15	0,81	-
Nova Santa Barbara	-	-	-	-	-
Primeiro de Maio	0,98	0,93	1,07	-	0,88
Rolândia	0,94	0,88	1,03	0,99	0,88
São Jerônimo da Serra	-	-	-	-	-
São Sebastião da Amoreira	-	-	0,85	0,86	-
Sertanópolis	-	-	-	-	-
Sapopema	-	-	-	-	-
Tamarana	0,96	0,97	0,87	0,89	0,90
Uraí	-	-	-	-	-

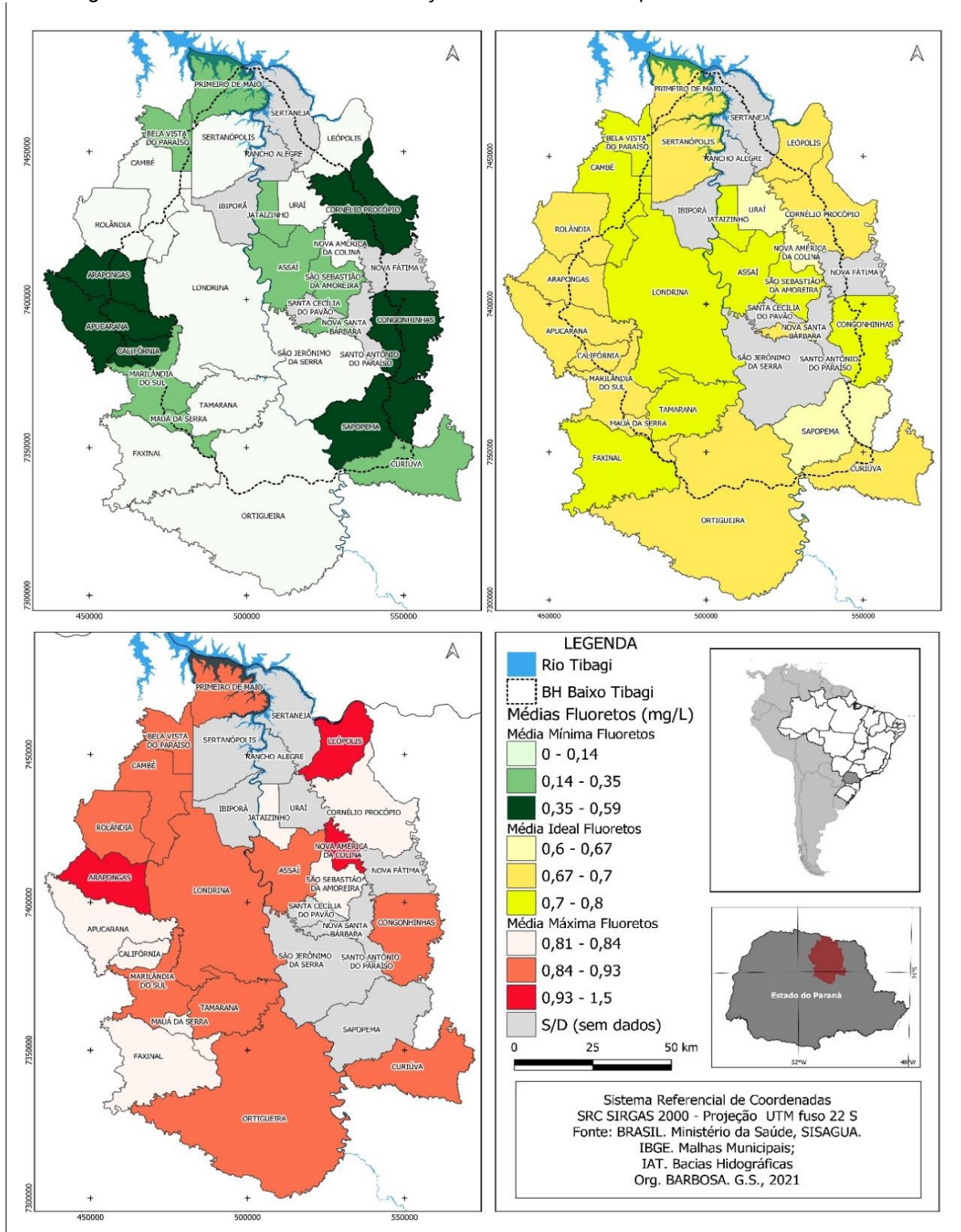
Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021 Org.: O próprio autor

Cabe ressaltar que todos os municípios apresentados (Figura 32) com tonalidades da cor vermelha, estão acima do valor de referência estipulado pela PORTARIA Nº 635/74, expondo grande parte da população a fluorose dentária.

Figura 32 – Concentração médias do elemento flúor para concentrações $\geq 0,81$ mg/L: 2017 a 2021

Por fim ao analisar as concentrações de fluoretos em escala regional e temporal de 2017 a 2021 (Figura 33), pode-se afirmar que grande parte dos municípios dentre eles Leopólis, Uraí, Nova América da Colina, São Jerônimo da Serra, Tamarana, Ortigueira, Faxinal, Londrina, Rolândia, Cambé e Sertanópolis possuem concentrações abaixo do recomendado para elemento flúor (0 – 0,14 mg/L), necessitando ser colocada em alerta pela gestão das águas da região, no tocante a exposição da cárie dentária. O valor percentual dessas amostras abaixo do recomendado representa apenas 11% do total de amostras (Figura 29), porém, seus níveis mínimos se encontram com valores muito abaixo do estipulado, colocando-os como alerta.

Figura 33 - Média totais da concentração do elemento flúor para os anos de 2017-2021



Fonte: SISAGUA. Ministério da saúde, 2021; IBGE, Malhas municipais, 2015 Org.: O próprio autor

Os municípios de Apucarana, Leopólis e Nova América da Colina se apresentam com níveis mais críticos e acima do recomendado ($\geq 0,81$ mg/L) referentes aos anos de 2017 a 2019, necessitando de uma atenção especial para as

adequações de potabilidade para a região colocando a mesma em exposição a fluorose dentária.

15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geoespacialização dos dados se mostrou eficaz e fundamental para o apontamento as áreas que estão expostas a diferentes níveis de concentração dos fluoretos. A relação entre a espacialização do elemento juntamente com a distribuição por faixa etária demonstra a vulnerabilidade e riscos para os municípios de Apucarana que detém 2,1% de sua população em idades primárias, ou seja, 0-14 anos, Arapongas com 1,8%, Cambé 1,7%, Londrina 8,6%. Público esses mais susceptíveis ao contato com o elemento flúor, no que diz a respeito da fluorose e cárie dentária. Cabe ressaltar que os demais municípios também merecem atenção especial quanto os níveis insuficientes para a fluoretação no abastecimento, colocando assim, a sociedade civil principalmente nos anos primários ao risco de cárie dentária.

A disponibilidade dos dados secundários obtidos em plataforma livre e gratuita do SISAGUA é de suma importância para o processamento de informações referentes as anomalias de fluoretos na região da bacia do baixo Tibagi - PR. Entretanto a inconsistência do mesmo, dificulta uma melhor análise e interpretação, principalmente em relação a falta de coordenadas georreferenciadas dos pontos de coleta prejudicando assim o processamento das informações.

Este levantamento investigativo e exploratório deu subsídios para a detecção de problemas advindos da insuficiência e excesso de flúor em alguns municípios da bacia hidrográfica do baixo Tibagi, fato este que merece, portanto, uma normatização para os levantamentos epidemiológicos e a correlação com o consumo do elemento na região estudada.

Além disso é importante salientar que as brechas existentes na portaria 2.914 da ANVISA, replicada para a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 e Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, não estipulam valores mínimos para a concentração no estado do Paraná, onde as mesmas se referem somente ao limite máximo permitido, que é de 1,5 mg/L. Desta forma no estado as concentrações do elemento flúor podem chegar até o limite de 1,5 mg/L, porém não há nenhuma menção aos valores sugeridos, chegando a alguns casos em valores próximos a 0 mg/L do elemento supracitado, causando riscos à saúde bucal, no tocante a carie dentária.

Recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem na avaliação destes pontos críticos, tanto no armazenamento do próprio banco de dados, quanto na investigação dos levantamentos das anomalias do flúor e levar até os órgãos públicos competentes para a de uma resposta/prognostico desta investigação.

16 CONCLUSÕES

Em relação ao levantamento prévio e detalhado do meio físico da região estudada, através da análise sistêmica, integrada, associada às geotecnologias, podemos destacar a eficácia do método tecnológico a partir das técnicas de geoprocessamento, para a elaboração de cartografia digital, contribuindo efetivamente para o auxílio na integração dos dados fisiográficos, bem como, no entendimento da vulnerabilidade ambiental dada pelas características das unidades geoambientais e na espacialização cartográfica dos flúoretos. Deste modo, entende-se a importância dos diagnósticos ambientais para subsidiar tomadas de decisão relacionadas à conservação e preservação dos recursos naturais para o estabelecimento da organização territorial, dimensionando a capacidade de absorção de esforços antrópicos pelas unidades paisagísticas.

Para as amostras coletadas in loco, a cartografia e as técnicas laboratoriais através da Potenciometria Direta, demonstraram sua eficácia para o levantamento e quantificação dos teores anômalos de flúor, onde destacou-se o município de Assaí com um VMR muito acima do estabelecido pela portaria e recomendado por Pinese et al., 2021, com concentrações de flúoretos chegando a 9,69 mg/L. Além disso, cabe ressaltar a importância da padronização sistemática sazonal nas expedições técnico-científica de campo, nas quais, viabilizaram a produção de novos dados e auxiliaram na interpretação holística dos aspectos geográficos. Nesse sentido, a avaliação dos parâmetros químico-físicos, juntamente com as análises estatísticas, evidenciaram correlação moderadas entre o elemento flúor e condutividade elétrica, pH e potencial redox para os dois períodos de coleta (inverno/verão).

Sobre as concentrações do elemento flúor, ao comparar os resultados dos dados secundários com os dados primários das coletas de águas subterrâneas, observou-se uma tendência nos altos teores de flúor (acima de 0,8 mg/L) na região dos municípios de Assaí, Curiúva, Congonhinhas e Nova América da Colina, necessitando de um olhar criterioso para a gestão das águas e abastecimento público.

Com relação aos altos teores de fluoretos encontrados em águas naturais, acima de 0,8 mg/L, com destaque para municípios de Assaí e Congonhinhas, entende-se que necessitam de observações ao planejamento e gestão do consumo de água na região, visto que para a utilização destas, deve-se tomar medidas de prevenção, como diluição, para que o consumo destas não torne um risco ao desenvolvimento de diferentes tipos de fluorose dentária ou até mesmo problemas relacionados a fluorose óssea. Por outro lado, os levantamentos que apontam níveis insuficientes ou abaixo do recomendado para prevenção de cáries, se colocam em destaque para áreas de maior risco a saúde bucal, necessitando de uma melhor gestão no controle e vigilância das águas de abastecimento público, pelos órgãos responsáveis, de forma ativa, quanto aos teores flutuantes do elemento flúor.

Nesse sentido, as representações cartográficas, orientadas pela portaria Nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975 e discriminadas por Pinese et al., 2021, serviram de subsídios para a identificação de ocorrências anômalas de fluoretos na região, dando destaque para os municípios de Apucarana, Leópolis e Nova América da Colina, apresentando níveis críticos de fluoretos acima do recomendado ($\geq 0,81$ mg/L) apontando concentrações de 1,93 mg/L para o município de Arapongas, ultrapassando até mesmo os limites máximos estipulados pela portaria Nº 888 de 4 de maio de 2021 que é de 1,5 mg/L para o elemento flúor.

Sobre os dados secundários obtidos pelo SISAGUA, cabe algumas sugestões para a manutenção do banco de dados na região da bacia hidrográfica do baixo Tibagi. Identificou-se algumas lacunas no tocante aos registros de coordenadas geográficas, onde, verificou-se que nem todos os municípios realizaram este procedimento, dificultando assim a gestão da qualidade das águas, principalmente relacionadas a geoespacialização das amostras de fluoretos. Este fato, porém, não anula a importância da manutenção e disponibilidade do banco de dados do SISAGUA, através de análises de fluoretos e outros elementos para futuras investigações científicas a respeito da qualidade das águas na região

Por fim, os estudos realizados demonstraram a importância de se conhecer prévia e detalhadamente os aspectos hidrológicos da BHBT a partir da análise sistêmica integrada com suportes geotecnológicos, associada à conservação e preservação dos recursos hídricos relacionadas principalmente com a adequação das águas subterrâneas para saúde pública.

17 REFERÊNCIAS

- AGENDA 21. **Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos.** Água em Rev: Suplemento das Águas; 1996. p.14-33.
- AGUASPARANÁ. Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas. In: **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos.** COBRAPE, Revisão. Final. Curitiba. AGUASPARANÁ. Instituto das Águas do Paraná, 2010. Disponível em: <https://goo.gl/QrPpJM>. Acesso em 01 ago. 2020.
- AGUASPARANÁ. Outorgas Emitidas. Instituto das Águas do Paraná, 2018. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-79.html>. Acesso em 19 ago. 2020.
- ALIEVI, A. **O consumo de água subterrânea do aquífero Serra Geral na regional de saúde de Londrina (PR) e implicações à saúde coletiva** – Uma discussão da geografia da saúde apoiada na Hidrogeoquímica. Dissertação (Dissertação em Geografia) - UNIVESIDADE ESTADUAL DE LONDRINA - UEL. Londrina, 2012.
- ALIEVI, A. A; PINESE, J. P. P. Bacia Hidrográfica Enquanto Entidade de Análise na Geografia da Saúde: Pressupostos Teóricos em André Cholley. In: **XI Encontro Nacional da ANPEGE, 2015.** Presidente Prudente - SP. Anais do XI Encontro Nacional da ANPEGE. Dourados UFGD Editora 2015.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). (2012) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. Washington, D.C.: APHA/AWWA/WEF.
- AMARANTE, L. M. **Flúor:** benefícios e controvérsias dos programas de fluoretação no Estado do Paraná. Curitiba: Fundação Caetano Munhoz da Rocha, 1992.
- AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**, [S.l.], v. 13, n. 41, abr. 2012. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16613>>. Acesso em: 05 jul. 2017.
- AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. **Análise Geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP.** Sociedade e Natureza. Ano 19, n. 37. 19-40 p. 2007.
- ANA. Atlas Brasil. **Abastecimento Urbano de Água. Brasília:** ANA, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso: 17 jan. 2020.
- APHA, 2012. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

ARAÚJO, P. R. **Interação Hidrogeoquímica e Geografia da Saúde na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia, Zona Norte de Londrina- PR.** 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006

ARAUJO, L.M.; FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. 1995. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó.** 16 p. Curitiba-PR. Ed. Universidade.

ASSUNÇÃO, E. G. ; CARDOSO, M. L. ; PEREIRA, A. C. F. ; ROSA, J. L. ; KURODA, E. K. . **DIAGNÓSTICO TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI.** In: **29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017**, São Paulo. 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

BARCELLOS, C.; BASTOS, F. I. Geoprocessamento, ambiente e saúde: uma união possível?. **Cadernos de Saúde Pública** (ENSP. Impresso). Rio de Janeiro - Brasil, v. 12, n. 3, p. 389-397, 1996.

BARROZO, L. V. Contribuições da cartografia aos estudos da geografia da saúde: investigando associações entre padrões espaciais. **Revista do departamento de geografia**, v. Especial, p. 413-425, 2014.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas.** Petrópolis: Editora Vozes, 1975.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução Olga Cruz – **Caderno de Ciências da Terra.** Instituto de geografia da Universidade de São Paulo, nº13, 1972.

BORDALLO, C. L. A. **A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento dos Recursos Hídricos.** Belém: NUMA/UFPA, 1995.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). **Manual de fluoretação da água para consumo humano.** Fundação nacional de saúde. Brasília: Funasa, 2012. 72 p.

BRASIL. CON/1988 (CONSTITUIÇÃO FEDERAL DE 1988). Constituição da República Federativa do Brasil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, DF, 05 de Outubro de 1988, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974.** Dispõe sobre a fluoretação da água em sistema de abastecimento quando existir estação de tratamento. Diário oficial da união, Poder Executivo, Brasília, 27 maio 1974.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação do ministério da saúde nº5 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do sistema único de saúde. Diário oficial da união, Brasília, Poder Executivo, DF, 28 set. 2017.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia de recomendações para o uso de fluoretos no Brasil** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – Brasília : Ministério da Saúde, 2009. 56 p.

_____. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Brasília, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 4 out. 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 635, de 26 de dezembro de 1975**. Aprova normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano. Diário oficial da união, Brasília, Poder Executivo, DF, 26 dez. 1975.

_____. Lei nº 9.433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997.

CALIJURI, M. L. *et al.* Identificação de Áreas Alternativas Para Disposição de Resíduos Sólidos na Região do Baixo Ribeira do Iguape – SP. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12. n. 3, p. 247-251, 2007.

CALDARELLI, P. G.; LUCAS, B. B.; SILVA, B. S. Contribuição da água e dentifrício fluoretado na prevalência de cárie e fluorose dentária: uma abordagem baseada em evidências. **Revista do Instituto de Ciências da Saúde (UNIP)**, v. 34, p. 117-122, 2016. Disponível em: https://www.unip.br/presencial/comunicacao/publicacoes/ics/edicoes/2016/02_abr_jun/V34_n2_2016_p117a122.pdf. Acesso em: 26 abr. 2019.

CÂMARA, G.; MONTEIRO A. M. V. Conceitos básicos da ciência da geoinformação. *In*: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>. Acesso em: 18 maio 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros.html>. Acesso em: março de 2005.

CAMARGO, J. C. G; REIS JÚNIOR, D. F. C. **Considerações a respeito da**

geografia neopositivista no Brasil. Geografia (Rio Claro), v. 29, p. 355-382, 2004. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1064/97>> Acesso em: 05 jun. 2019.

CARRILLO-CHÁVEZ, J. O. W. GRIMMER & J. PIRONON. (2002). **Petroleum-Rich Fluid Inclusions in Fluorite, Purisima Mine, Coahuila, Mexico.** Inter. Geol Review 44:8

CAVALCANTI, A. P. B; RODRIGUEZ, J. M. M. O meio ambiente: histórico e contextualização. In: CAVALCANTI, A. P. B. (org.). **Desenvolvimento Sustentável e planejamento: bases teóricas e conceituais.** Fortaleza: UFC, 1997. p. 9-26.

CECOL-USP. **Protocolo de coleta e análise de amostra de água – projeto vigifluor.** São Paulo, 2014. Disponível em: <https://goo.gl/9q3CD>. Acesso em: 01 ago. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **As perspectivas da Geografia.** São Paulo: Difel, 1982.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgar Blücher, 1998.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CICILIATO, R. N.; PIROLI, E. L. Análise e avaliação dos fragmentos florestais de áreas de preservação permanente no baixo curso do Rio Tibagi em imagens de satélite e geoprocessamento. **Revista Geonorte**, edição especial. Manaus, v. 3, n. 4, p. 573-582, 2012.

CORTELLAZZI, K. L.; TAGLIAFERRO, E. P. S.; ASSAF, A.V.A.; TAFNER, A. P. M. F.; AMBROSANO, G. M. B.; BITTAR, T. O.; MENEGHIM, M. C.; PEREIRA, A. C. Influência de variáveis socioeconômicas, clínicas e demográfica na experiência de cárie dentária em pré-escolares de Piracicaba, SP. **Rev Bras Epidemiol**, v. 12, n. 3, p.490-500, 2009.

CREPANI, E.; Medeiros, J.S.; Azevedo, L.G.; Duarte, V.; Hernandez, P.; Florenzano, T; Barbosa, C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial.** INPE, São José dos Campos, SP, 2001.

CURY, J. A. Uso do fúor e o controle da cárie como doença. In: BARATIERI, L. N. (org.). **Odontologia restauradora – fundamentos e possibilidades.** 1 ed. São Paulo: 2001, p. 33-68

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

DUTRA, C.V., Método para determinação de traços e sub-traços de terras raras em rochas por espectrometria de plasma (ICP). Aplicação em petrogênese. *In: CONGR. BRÁS. GEOL.*, 33. Rio de Janeiro, 1984.

ELANGO L, KANNAN R, SENTHIL KUMAR M (2003) Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *J Environ Geosci* 10(4):157–166.

ESPÍNDOLA, E.L.G. *et. al.* **A Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolinho**. RIMA. USP- Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2000.

FAISSOL, S. A geografia na década de 80; os velhos dilemas e as novas soluções. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 49, n. 3, p. 7-37, jul./set. 1987.

FAUST, S.D. & ALY, O.M. (Eds.) 1981. **Chemistry of Natural Waters**. Butterworths Publishers, Sydney, 400pp.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A.; **Hidrologia: conceitos e aplicações**. CPRM, LABHID, 2009.

FERNANDES, J. C. B.; KUBOTA, L. T.; OLIVEIRA NETO, G. D. Eletrodos ion-seletivos: histórico, mecanismo de resposta, seletividade, revisão de conceitos. **Química Nova**, v. 24, n. 1, p. 120-130, 2001.

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

FISHMAN, M. J., Downs, S. C., 1966. **Methods for analysis of select metals in water by atomic absorption: US Geol. Survey Water Supply Paper** 1540-C, p. 32-34

FRANÇA, V. O rio Tibagi no contexto hidrográfico parananense. *In: A bacia do rio Tibagi* (M.E. Medri, E. Bianchini, O.A. Shibatta & J.A. Pimenta, eds.). **M. E. Medri**, Londrina, p.45-61, 2002.

FRAZAO, P.; ELY, H. C.; NORO, L. R. A.; PINHEIRO, H. H. C.; CURY, J. A. O modelo de vigilância da água e a divulgação de indicadores de concentração de fluoreto. **Saúde debate**. Rio de Janeiro, v. 42, n. 116, p. 274-286, 2018. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010311042018000100274&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 abr. 2019.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice Hall, 1979, 598 p. Fuyang County, China. *Environ. Monit. Assess.* 154, 439-449.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas**. Tradução Everton de Oliveira

et al. São Paulo: Everton de Oliveira, 2017. 698 p. Disponível em: . Acesso em 06 de dezembro de 2017.

FREITAS, M. B. & ALMEIDA, L. M., 1998. Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário. *In: X CONGRESSO Brasileiro de Águas Subterrâneas*. CD-ROM, São Paulo: Sonopress-Rimo.

GOLONO DE DEUS, A.; ALVES, J. C. ; PINESE, J. P. P. Distribuição Espacial dos Concentrados de Fluoretos nos Mananciais de Abastecimento Público do Nordeste Paranaense e Relações com a Saúde Coletiva. **In: XI Encontro Nacional da ANPEGE, 2015, Presidente Prudente - SP**. Anais do XI Encontro Nacional da ANPEGE. Dourados: UFGD - Editora, 2015. v. CD-ROM. p. 6402-6413.

GOLONO DE DEUS, A. **Análise da distribuição espacial dos concentrados de Flúor nas bacias hidrográficas do nordeste paranaense**: relações com a saúde coletiva. Dissertação (Dissertação em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

GOMES, M. A. F. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil Implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Meio Ambiente Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Embrapa Informação Tecnológica Brasília, DF. 2008.

GRANIEL, C. E., MORRIS, L. B., & CARRILLORIVERA, J. J. (1999). Effect of Urbanization on Groundwater Resources of Merida, Yucatan, Mexico. **Environmental Geology**, 37(4), 303-312. doi:10.1007/s002540050388.

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M. L. & MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4. p.345-390

GUIMARÃES, S. M. **Investigação da ocorrência de fluorose associada ao consumo de água subterrânea na região nordeste do estado de Goiás utilizando sistema de informações geográficas**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação)- Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado de Goiás, Goiânia.

GUIMARÃES, R. B. Geografia e saúde coletiva no Brasil . **Saúde e Sociedade**. 2016, v. 25, n. 4. p. 869-879, versão online. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902016167769>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/ByYQCmppfzfSnT8pWpQr7HR/?lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2020.

GUIMARÃES, D. V. **Teores de fluoreto na água para consumo humano na 17ª Regional de Saúde do Paraná entre os anos de 2014 e 2018**: vulnerabilidades e riscos à saúde bucal. Londrina 2020 . 191 f. Tese (Doutorado em Geografia) -

Universidade Estadual de Londrina , Centro de Ciências Exatas , Programa de Pós - Graduação em Geografia , 2020.

HAIMANOT, R. T.; MALAKU, Z.; KLOOS, H.; REIMANN, C.; FANTAYE, W.; ZERIHUN, L.; BJORVATN, K. The geographic distribution of fluoride in surface and groundwater in Ethiopia with an emphasis on the Rift Valley. **Sci Total Environ** p.182-190, 2006.

HEM, J. D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd Edition, US Geological Survey Water-Supply, University of Virginia, harlottesville, 1985.

HIRATA, R. **Recursos hídricos**. In: TEIXEIRA, W. *et al.* Decifrando a Terra, Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

Horwitz, W. [Editor] (1980), **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C)**. 13. ed. Washington: Published by the A.O.A.C., p. 557 – 559.

IAT - Instituto Água e Terra. **Diagnóstico do Plano Bacia Hidrográfica do Tibagi**. 2009. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/tibagi-diagnostico_bht-versao_final.pdf

IAT - Instituto Água e Terra. **Relatório de conjuntura dos recursos hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 2020.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Paraná: características demográficas e projeção da população, por microrregião, até 1990**. Curitiba, 1983.

_____. Séries retrospectivas do Paraná: dados históricos da indústria - 1940-80. Curitiba, 1993.

JAYME, N. S. ; SILVEIRA, H. M. ; ROSS, A. ; ALVES, J. C. ; PINESE, J. P. P. Espacialização dos Teores de Flúor em Águas Superficiais do Município de Santo Antônio da Platina (PR) e as Possíveis Implicações na Saúde Coletiva. In: **IX Semana da Geografia da UNESP. O espaço brasileiro contemporâneo: leituras sobre campo, cidade e região.**, 2013, Ourinhos (SP). Anais da IX Semana da Geografia da UNESP. O espaço brasileiro contemporâneo: leituras sobre campo, cidade e região. Ourinhos (SP): Editora da UNESP, 2013. v. OnLine. p. 111-120.

JEEVANANDAM, M., KANNAN, R., SRINIVASALU, S., & RAMMOHAN, V. (2006). **Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment of lower part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore district, South India**. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1), 263–274. doi:10.1007/s10661-006-9532-y

KRISHNAKUMAR, S. (2004). **Quality Characterization and Geochemical Characteristics of Lower Gadilum River Basin, Tamil Nadu, India**. Dissertation, University of Madras.

KOMATINA, M. M. *Medical Geology: effects of geological environments on human health*. Amsterdam: Elsevier, 2004

LEAL, A.C. *Gestão das Águas no Pontal do Paranapanema - São Paulo. Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LICHT, O.A.B.; MORITA, M.C.; TARVAINEN, T. A utilização de dados de prospecção geoquímica de fluorita no primeiro planalto paranaense, na identificação de áreas de interesse para a saúde pública: uma abordagem preliminar. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 57-69, 1996.

LICHT, O.A.B.; PIEKARZ, G.F.; SILVA, J.C.C.DA; LOPES JUNIOR, I. Levantamento geoquímico multielementar de baixa densidade no Estado do Paraná (hidrogeoquímica – resultados preliminares). **A terra em revista**, Belo Horizonte, v. 3, n. 3, p. 34-46, 1997.

LICHT, O. A. B. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil**. 2001. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, 2001.

LICHT, O. A. B.; ATHAYDE, G. B.; ATHAYDE, C. V. M.; ALLAN, G.; ROMULO, S. A. Basaltos HTI-HP e os altos teores de fluoreto em bacias hidrográficas do terceiro planalto e no sistema aquífero Serra geral, estado do Paraná, Brasil. *In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 9., 2015, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: 2015.

LICHT, O. A. B. Multiscale, multimedia and multi-element geochemical mapping of the State of Paraná, Brazil. **Geochimica Brasiliensis** 32(2): 209 - 242. DOI:10.21715/GB2358-2812.2018322209. 2018

MAACK, R. **Geografia física do Paraná**. Curitiba: J.Olympio: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Paraná, 1981.

MAACK, R. 2002. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3ª edição. Curitiba, Imprensa Oficial, 440p.

MALTZ, M.; TENUTA, L. M. A.; GROISMAN, S.; CURY, J. A. **Cariologia: conceitos básicos, diagnóstico e tratamento não restaurador**. 1. ed. São Paulo: Artes Médicas, 2016. v. 1, 1 p.

MANOSSO, F.; GOMES, M.; AOKI, A. (2013). Distribuição espacial e temporal da precipitação e temperatura média na região da serra do cadeado (PR). **Revista**

Brasileira de Climatologia. 12. 10.5380/abclima.v12i1.27902.

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). Departamento de Geoquímica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

MARWA, J.; LUFINGO, M.; NOUBACEP, C.; MACHUNDA, R. Defeating fluorosis in the east African Rift Valley: transforming the Kilimanjaro into a rainwater harvesting park. **Sustainability.** 2018; 10 (11): 4194. Disponível em: https://www.mdpi.com/20711050/10/11/4194?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=SustainabilityTrendMD_0. Acesso em: 20 jan. 2020.

MATTHESS G (1982) **The properties of groundwater.** Wiley, New York, p 498

MENDONÇA, M. Dinâmica Temporo-espacial do Clima Subtropical da Região Conurbada de Florianópolis/SC. 2002. 343 f. Tese (Doutorado em Geografia), FFLCHUSP. São Paulo.

MENDONÇA, F. **Geografia e Meio Ambiente.** São Paulo: Contexto, 2005.

MEYBECK, M.; Helmer R. **The quality of rivers: from pristine stage to global pollution.** *Paleogeogr Paleoclimatol Paleoecol* 1989;75:283-309

MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná.** Curitiba, 125 p; 2001.

MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Paraná,** 2006. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Acesso em: 08 abr. 2017.

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 ago. 2018.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas:** a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MOURA, A. C. M. – Cartografia II – Apostila do departamento de cartografia.
MOURA, A. C. M. Contribuições metodológicas do geoprocessamento à geografia. *In: Curso de especialização em geoprocessamento.* Belo Horizonte, IGC/UFMG, 2001.

NANNI, A.S. **O Flúor em águas do Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico.** 2008. Porto Alegre: Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Tese de Doutorado).

NASCIMENTO, F. R do; CARVALHO, O. **Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão geoambiental: uma proposta metodológica.** *Revista Fluminense de Geografia.* Niterói. N° 2, p. 61-82, 2003.

NASCIMENTO, R. E. **O consumo de água subterrânea do aquífero serra geral na porção norte da 19ª regional de saúde de Jacarezinho (PR) e suas relações com a hidrogeoquímica e saúde coletiva.** Dissertação (Dissertação em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

NDÉ-TCHOUPÉ, A. I.; TEPONG-TSINDÉ, R.; LUFINGO, M.; PEMBE-ALI, Z.; INOCENTE, L.; MURETH, R. I.; NKINDA, M.; MARWA, J.; GWENZI, W.; MWAMILA, 188 T. B.; RAHMAN, M. A.; NOUBACTEP, C.; NJAU, K. N. White teeth and healthy skeletons for all: the path to universal fluoride-free drinking water in Tanzania. **Water**. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/131>. Acesso em: 17 out. 2020.

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.; DE 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.

PARANÁ. **Diagnóstico do plano da bacia hidrográfica do Rio Tibagi**, 2009. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-119.html>. Acesso em: 15 de maio de 2020.

PEREZ FILHO, A. Sistemas Naturais e Geografia. In: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. (org.). **Panorama da Geografia Brasileira**. São Paulo: Annablume, 2007, v. 01, p. 333-336.

PERTILLE, C.; SANTOS, V. F.; SCHRAMM, C. B.; SOUZA, C.; GERBER, D. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tibagi - Paraná**. 2017.

PETERLINI, G., PINESE, J. P. P.; CELLIGOI, A. Proposed method for the evaluation of water productivity in fractured aquifers. **Journal of Hydrology**, n. 602, 126-754 p., 2021.

PINESE, J.P.P.; ALVES, J.C. ; LICHT, O.A.B. Anomalias Hidrogeoquímicas No Município de Itambaracá (PR): Resultados Preliminares. **Congresso Brasileiro de Geoquímica**, 8; Boletim de Resumos, Curitiba. P. 88 2001.

PINESE, J. P. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: **A Bacia do Rio Tibagi**. MEDRI, M. E. Londrina, 2002.

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: Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 2017. v. 1. p. 353-353.

PINESE, J. P. P.; ROSS, A.; ALVES, J. C. Paisagens e territórios urbanos de risco à saúde bucal balizadas pelos teores de fluoretos naturais em águas subterrâneas de abastecimento público em Londrina/PR. In: YAMAKI, H.; CUNHA, L. (org.). **Paisagem e Território: expedições**. 1 ed. Londrina: EDUEL, 2019, v. 1, p. 63-75

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**, [S. l.], 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: 8 abr. 2022.

PINTO, V. G. **Saúde bucal coletiva**. 5 ed. São Paulo: Santos, 2008.

PIRES, E. O. **Geografia da saúde e geologia médica como instrumentos de planejamento e gestão em saúde ambiental** : o caso das anomalias de flúor e da fluorose dentária em Itambaracá-Pr. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

PITTER, P. **Forms of occurrence of fluorine in drinking water**. Water Res. v.19, n. 3 ,281-284 , 1985

PITTALIS, D. **Interdisciplinary studies for the knowledge of the groundwater fluoride contamination in the eastern African rift: Meru District-North Tanzania**. Dissertação de Mestrado, University of Sassari. 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/11689996.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019.

PIROLI, E. L. Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das Áreas de Preservação Permanente dos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Pardo. **Tese de Livre Docência**. Ourinhos: UNESP/Campus Experimental de Ourinhos, 2013.

RAJMOHAN, N.; ELANGO, L.; RAMACHANDRAN, S.; NATARAJAN, M. (2000). **Major ion correlation in groundwater of Kancheepuram region, South India**. Indian J Environ Prot 20(3):188–193.

RODRIGUEZ, J. M. M. Análise e síntese da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**. São Paulo, v. 9. 1994.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma análise ambiental**. 4. ed. Fortaleza: Ed. UFC, 2010.

ROSS, A. **Espaços de risco à saúde bucal por teores de Flúor em águas superficiais e subterrâneas em Londrina - PR**. 2015. Dissertação (Dissertação em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

ROJAS, L. I. **Geografia y salud. Entre historias, realidades y utopias**. In: Caderno Prudentino de Geografia. Associação dos geógrafos Brasileiros. Vol.1, n.1, Dezembro de 2003.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. Tradução de Márcia Guekezian. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

SANTANA, D. P, **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTIAGO, M. R. **Analyses of the Anomalous Occurrences of Fluoride in Groundwaters**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço. Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. 2.ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

SANTOS, W. S. **O flúor na porção norte da bacia hidrográfica do Rio das Cinzas-PR: riscos e qualidade dos aquíferos subterrâneos sob a ótica da geografia da saúde**. 2019.136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

Schuh, W. M., Klinekebiel, D. L., Gardner, J. C., & Meyar, R. F. **Tracer and nitrate movements to groundwater in the norruem great plains**. Journal of Environment Quality,26, p. 1335–1347, 1997.

SELINUS, O.; ALLOWAY, B.; CENTENO, J. A.; FINKLEMAN, R. B.; FUGE, R.; LINDH, U; SMEDELY. P. **Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health**. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 2005.

SELINUS, O. **Geologia médica**. Trad. Fernanda Gonçalves da Cunha In: SILVA, C. R. et al. Geologia Médica no Brasil, efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e maio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico Brasileiro, p.1-5, 2006.

SELINUS, O.; CAVE, M.; KOUSA, A.; STEINNES, E.; VARET, J.; SILVA, E. F. Medical Geology in Europe. In: SELINUS, O.; FINKELMAN, R. B.; CENTENO, A. (org.). **Medical Geology: a regional synthesis**.Springer. New york, 2010. p. 259 -301.

SIQUEIRA, R. M. B.; SILVA G. H. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia**, v. 39, n. 2, p. 1-15, 2011.

SOTCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo. n. 16, p. 1-52, 1977.

SOUSA, I. B., JORDÃO, B. G. F., Geotecnologias como recursos didáticos em apoio ao ensino de cartografia nas aulas de geografia do ensino básico 1. **Caminhos da Geografia**. v. 16, n. 53. Uberlândia, 2014.

SORRE, M. **El Hombre en la Tierra**. Barcelona: Labor, 1961.

SPERLING E. V., **Considerações sobre a saúde de ambientes aquáticos**. Bio 1993;2(3):53-6

STIPP, N. A., Principais tipos de solo da bacia do rio Tibagi. In: M.E. Medri, E.

Bianchini, O.A. Shibatta & J.A. Pimenta (eds.). **A bacia do rio Tibagi**, Universidade de Londrina, Londrina, 2002. p. 39-44

SUBBA RAO, N., GURUNADHA RAO, V. V. S., & GUPTA, C. P. (1998). Groundwater pollution due to discharge of industrial effluents in venkatapuram area, visakhapatnam, Andra Pradesh, India. **Environmental Geology** 33(4), 289–294. doi:10.1007/s002540050248.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1998.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova**, v. 93, p. 741-798, 2001.

TOREZAN, J.M. 2002. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi, p.103-107. In M.E. Medri, E. Bianchini, O.A. Shibatta & J.A. Pimenta (eds.), **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, Editora dos Editores, 595p.

TRESCASES, J.J. **Análise química por espectrometria de absorção atômica**. In: **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. p. 44-83.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro IBGE/SUPREN. 1977. 91 p

TROLL C. **Landscape Ecology**. ITC-UNESCO Centre for Integrated Surveys, Paper S. 1966. 4. 23p.

UMAR, R. SAMI AHMAD, M. (2000). Groundwater quality in part of Central Ganga Basin, India. **Environmental Geology**, 39(6), 673–678. DOI: 10.1007/s002540050480.

VALENTIM, L. S. O. **Consumo de água subterrânea e riscos à saúde**. Informativo SAMA/CVS n. 01/2007, São Paulo, 2007.

VEGA, M.M, FERNANDEZ, T.B., TARAZONA, JV, CASTAÑO, A. **Biological and chemical tools in the toxicological risk assessment of Jarama River, Madrid, Spain**. Environ Pollut 1996;93(2):135-9.

VELOSO, H.P., RANGEL Fo, A.L.R. & LIMA, J.C.A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio de Janeiro.

VUHAHULA, E. A. M.; MASALU, J. R. P.; MABELYA, L.; WANDWI, W. B. C. Dental fluorosis in Tanzania Great Rift Valley in relation to fluoride levels in water and in „Magadi“ (Trona). **Desalination**, p. 610-615. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409006407/pdf?md5=f45661c7ec0eed14522d3bcb35ddc052&pid=1-s2.0-S0011916409006407-main.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VENTURINI, C. Q.; NARVAI, P. C.; MANFREDINI, M. A.; FRAZAO, P. Vigilância e monitoramento de fluoretos em águas de abastecimento público: uma revisão sistemática. **Rev. Ambient. Água. Taubaté**, v. 11, n. 4, p. 972-988, 2016. Disponível em : http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2016000400972&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 abr. 2020.

YANG, N.; TANG, S.; ZHANG, S.; HUANG, W.; CHEN, P.; CHEN, Y.; XI, Z.; YUAN, Y.; WANG, K. Fluorine in chinese coal: a review of distribution, abundance, modes of 193 occurrence, genetic factors and environmental effects. **Minerals**. 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-163X/7/11/219>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

ZIMMERMANN, C. M., Avaliação do potencial poluente das atividades industriais do distrito industrial de Ponta Grossa e sua correlação com a qualidade das águas do rio Tibagi. 2008. **Tese Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas**, Programa de Pós Graduação em Química.

ZIMMERMANN, C. M. GUIMARAES, O. M. ; ZAMORA, P. P.. Avaliação do potencial poluente das atividades do distrito industrial de ponta grossa e a qualidade das águas do rio Tibagi usando PCA. *In*: 14º Encontro Nacional de Química Analítica - ENQA, 2007, João Pessoa. 14º Encontro Nacional de Química Analítica, 2007 e aceito para publicação Química Nova (Online), 2008

ZONNEVELD I.S. The Land Unit - a fundamental concept in Landscape Ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, 1989. 3:67-86

APÊNDICE 1 - PARAMENTOS FÍSICO-QUÍMICOS: INVERNO (2019)

Ponto	Município	Flúor	UTM	UTM	Temp. °C	pH	ORP mV	EC mS/cm	mg/L OD	% OD	g/L TDS
P1	Apucarana	0,051	465433	7388814	18,86	6,54	209	0,05	10,63	117,6	0,03
P2	Apucarana	0,078	455615	7394402	19,36	6,68	284	0,261	14,23	159,1	0,169
P3	Apucarana	0,073	454445	7390780	20,18	6,77	277	0,063	13,1	148,3	0,038
P4	Arapongas	0,049	456834	7409166	22,22	6,42	292	0,264	7,97	93,8	0,171
P5	Assai	0,151	501827	7415226	17,28	7,07	257	0,16	19,78	180	0,104
P6	Assai	0,086	515694	7414702	19,33	6,73	204	0,347	8,59	96	0,225
P7	Assai	0,59	511261	7399321	20,67	9,1	376	0,137	12,77	146,3	0,089
P8	Califórnia	0,178	468923	7380251	19,33	7,25	276	0,204	13,34	149	0,133
P9	Califórnia	0,076	473998	7384265	19,45	7,87	187	0,084	12,91	144,7	0,053
P10	Warta	0,086	479067	7432229	23,45	6,1	291	0,099	25	297,2	0,061
P11	Cambé	0,097	471593	7415085	22,38	6,55	288	0,079	8,89	104,9	0,051
P12	Congonhinhas	0,339	546267	7394777	21,56	8,12	299	0,098	16,82	195,6	0,064
P13	Cornélio Procópio	0,081	535272	7435816	19,31	8,44	139	0,24	9,75	108,9	0,156
P14	Curiúva	2,983	550981	7346651	21,24	6,58	158	1,13	17,33	200,9	0,724
P15	Sertanópolis	0,144	488990	7437362	20,88	6,1	271	0,255	15,16	173,9	0,163
P16	Ibiporã	0,038	502036	7438588	20,42	6,64	227	0,104	21,3	243	0,064
P17	Jataizinho	0,335	512912	7424905	17,4	9,49	153	0,461	9,27	99,9	0,3
P18	Jataizinho	1,71	504226	7422969	19,63	9,02	162	0,253	6,99	78,6	0,165
P19	Leópolis	0,227	521697	7448597	20,72	7,83	214	0,308	11,54	132,3	0,2
P20	Leópolis	0,715	518263	7443560	21,35	8,08	212	0,253	8,45	98	0,164
P21	Londrina	0,067	471156	7402478	19,89	5,69	220	0,065	9,95	112,5	0,039
P22	Londrina	0,164	499198	7417739	21,33	6,64	264	0,159	x	x	0,104
P23	Marilândia do Sul	0,081	484704	7371446	19,36	6,21	283	0,06	16,68	186,1	0,036
P24	Marilândia do Sul	0,061	469650	7376468	22,14	6,48	254	0,13	13,73	161,9	0,084
P25	Tamarana	0,032	482904	7357315	17,03	6,72	233	0,012	14,19	151,6	0,008
P26	Mauá da Serra	0,1	477134	7356464	19,69	6,27	272	0,085	5,83	65,6	0,055
P27	Nova A. da Colina	2,186	526527	7419952	19,36	9,98	202	0,367	9,01	100,8	0,238
P28	Nova América da Colina	0,345	528273	7425967	17,45	8,67	215	0,334	34,5	371,9	0,217
P29	Nova Fatima	0,079	544992	7408551	20,68	9,19	277	0,43	11,75	134,7	0,28
P30	Nova Santa Barbara	0,133	524268	7390792	18,99	8,91	216	0,073	11,04	123,5	0,046
P31	Mauá da Serra	0,064	482684	7353567	19,62	5,48	170	0,05	16,62	185,1	0,03
P32	Primeiro de Maio	0,622	486384	7463596	19,26	6,36	335	0,225	5,89	65,8	0,142
P33	Primeiro de Maio	0,086	498227	7463475	21,49	7,63	185	0,121	10,27	119,3	0,079
P34	Rancho Alegre	0,12	508640	7449621	21,59	7,5	225	0,253	7,56	88,1	0,164
P35	Rancho Alegre	1,332	504586	7448790	23,43	8,4	214	0,233	9,18	110,3	0,151
P36	Rancho Alegre	0,091	510558	7440958	20,59	7,78	222	0,164	13	148,2	0,1
P37	Rolândia	0,081	461324	7417852	22,55	7,72	327	0,159	10,8	127,8	0,103
P38	Rolândia	0,065	466083	7422923	22,72	6,45	514	0,224	19,3	229,1	0,146
P39	Sta. Cecília do Pavão	1,155	522976	7394987	19,47	10,68	106	0,264	7,45	83,5	0,171
P40	Sta. Cecília do Pavão	0,856	522215	7398652	19,12	9,19	413	0,198	8,49	94,5	0,129
P41	Nova Santa Barbara	0,081	534888	7389140	17,27	8,38	126	0,058	19,29	207	0,038
P42	Sto. Antônio do Paraíso	0,27	533095	7398676	20,56	8,48	293	0,063	10,92	124,4	0,038
P43	Santo A. do Paraíso	0,072	539245	7380556	15,68	8,37	177	0,053	15,87	164,7	0,034
P44	São J. da Serra	0,066	526622	7376230	15,51	7	162	0,061	6,25	64,9	0,04
P45	São S. da Amoreira	0,776	523784	7405700	19,43	9,63	351	0,266	10,96	122,7	0,173
P46	Sapopema	0,582	534315	7360366	19,22	5,73	388	0,561	14,92	166,4	0,35

P47	Sertaneja	0,141	515902	7452041	21,7	7,22	243	0,288	9,79	113,9	0,178
P48	Sertaneja	0,769	507839	7458611	20,86	8,23	200	0,216	2,37	27,2	0,14
P49	Sertaneja	0,227	501266	7477765	21,43	7,73	142	0,145	12,78	148	0,089
P50	Sertanópolis	0,086	494383	7450157	19,28	6,11	371	0,217	8,16	91,4	0,137
P51	Tamarana	0,645	489767	7376971	18,49	7,12	317	0,035	23,82	261	0,021
P52	Nova A. da Colina	0,143	528271	7425966	18,13	9,15	156	0,244	11,27	123,1	0,159
P53	Uraí	0,842	512373	7431737	20,46	8,38	205	0,553	10,5	119,9	0,354
P54	Curiúva	2,451	556789	7343661	19,16	4,58	314	0,521	16,07	179,1	0,333
P55	São J. da Serra	0,075	533815	7379352	18,85	7,63	406	0,097	9,77	108,1	0,063
P56	São J. da Serra	0,136	519705	7369990	17,03	7,81	181	0,086	9,04	96,6	0,056
P57	Congonhinhas	4,875	543085	7399165	20,58	8,76	208	0,287	11,58	132,4	0,186
P58	Sto. Antônio do Paraíso	0,101	538769	7402069	20,33	8,72	216	0,094	11,83	134,6	0,061
P59	São S. da Amoreira	0,234	528600	7397838	19,18	9,19	242	0,166	14,71	163,9	0,108
P60	Jataizinho	0,097	501923	7427837	19,98	6,99	191	0,41	22,98	260,2	0,267
P61	Assai	9,696	519981	7406647	17,56	9,04	201	0,28	10,09	109	0,182
P62	Assai	0,167	517600	7410906	18,07	9,21	209	0,207	10,68	116,5	0,134
P63	Cornélio Procópio	0,1	539650	7423404	18,49	9,63	155	0,047	8,84	97,1	0,029
P64	Ibiporã	0,05	494709	7431857	18,54	8,88	152	0,058	8,72	96	0,038
P65	Uraí	0,069	520232	7433818	20,16	8,05	146	0,205	11,27	128,2	0,124
P66	Sertaneja	0,102	514275	7470144	21,96	7,42	210	0,199	11,68	136,8	0,129
P67	Primeiro de Maio	0,057	496166	7472093	20,63	6,63	244	0,131	8,83	101	0,085
P68	Londrina	0,877	501052	7390272	20,2	7,42	497	0,171	16,7	190,1	0,111
P69	Tamarana	0,066	508914	7372158	18,6	6,69	316	0,021	20,02	218,3	0,013
P70	Sertanópolis	0,191	491428	7440264	20,83	6,09	260	0,372	14,42	165,7	0,242

APÊNDICE 2 - PARAMENTOS FÍSICO-QUÍMICOS: VERÃO, 2020

Ponto	Município	Flúor	UTM	UTM	Temp. °C	pH	ORPmV	mS/cm	mg/L OD	% OD	g/L TDS
P1	Apucarana	0,038	465433	7388814	26,94	8,48	132	0,071	4,4	55,9	0,046
P2	Apucarana	0,062	455615	7394402	27,96	9,15	98	0,228	9,9	127,7	0,148
P3	Apucarana	0,052	454445	7390780	29,1	8,61	121	0,085	7,99	104,9	0,055
P4	Arapongas	0,03	456834	7409166	28,16	8,82	122	0,223	25,93	335,6	0,145
P5	Assai	0,125	501827	7415226	25,35	6,78	213	0,116	13,81	172,1	0,071
P6	Assai	0,076	515694	7414702	26,54	6,84	209	0,32	10,54	133,3	0,202
P7	Assai	0,581	511261	7399321	30,55	6,25	290	0,087	13,99	186,9	0,053
P8	Califórnia	0,158	468923	7380251	26,93	8,93	74	0,168	6,2	104,1	0,109
P9	Califórnia	0,066	473998	7384265	27,35	8,89	104	0,089	10,88	139,2	0,058
P10	Warta	0,074	479067	7432229	26,19	9,02	105	0,12	7,42	93,2	0,078
P11	Cambé	0,074	471593	7415085	29,74	7,58	156	0,09	6,45	85,3	0,058
P12	Congonhinhas	0,494	546267	7394777	25,49	9,05	120	0,102	9,44	117,1	0,066
P13	Cornélio Procópio	0,061	535272	7435816	26,29	8,83	94	0,264	16,39	206,3	0,172
P14	Curiúva	2,881	550981	7346651	27,46	7,96	199	0,928	10,54	135,3	0,593
P15	Sertanópolis	0,147	488990	7437362	27,98	9,28	95	0,239	27,6	356,2	0,155
P16	Ibiporã	0,037	502036	7438588	28,35	8,28	152	0,107	17,41	225,8	0,07
P17	Jataizinho	0,359	512912	7424905	25,19	7,59	188	0,38	11,29	139,7	0,247
P18	Jataizinho	0,255	504226	7422969	23,96	6,83	223	0,334	11,2	135,9	0,223
P19	Leópolis	0,235	521697	7448597	25,78	8,03	156	0,246	8,38	104,2	0,158
P20	Leópolis	0,728	518263	7443560	26,99	7,41	141	0,214	26,59	338,2	0,139
P21	Londrina	0,058	471156	7402478	27,45	6,81	215	0,109	21,8	279,1	0,071
P22	Londrina	0,175	499198	7417739	28,38	6,86	214	0,122	22,38	291,5	0,075
P23	Marilândia do Sul	0,087	484704	7371446	25,27	8,85	192	0,083	16,05	198,5	0,053
P24	Marilândia do Sul	0,067	469650	7376468	24,9	9,06	114	0,123	7,79	95,9	0,078
P25	Tamarana	0,099	482904	7357315	23,64	8,4	189	0,017	16,79	202,4	0,011
P26	Mauá da Serra	0,163	477134	7356464	25,61	8,77	130	0,089	8,26	102,8	0,058
P27	Nova América da Colina	2,472	526527	7419952	25,62	8,37	115	0,334	9,59	119,7	0,217
P28	Nova América da Colina	0,393	528273	7425967	27,37	8,66	136	0,207	11,66	149,2	0,127
P29	Nova Fatima	0,096	544992	7408551	27,24	8,4	239	0,411	16,54	211,3	0,267
P30	Nova Santa Barbara	0,142	524268	7390792	27,08	8,37	208	0,041	8,81	111,2	0,025
P31	Mauá da Serra	0,047	482684	7353567	24,89	8,22	194	0,065	16,06	197,6	0,042
P32	Primeiro de Maio	0,058	486384	7463596	27,33	9,8	80	0,26	9,13	116,7	0,168
P33	Primeiro de Maio	0,067	498227	7463475	30,37	8,72	122	0,118	12,37	165,2	0,077
P34	Rancho Alegre	0,11	508640	7449621	26,85	8,62	117	0,21	11,93	151,4	0,137
P35	Rancho Alegre	1,542	504586	7448790	27,55	9,19	32	0,191	9,82	125,9	0,124
P36	Rancho Alegre	0,084	510558	7440958	26,26	8,84	121	0,188	9,43	118,5	0,12
P37	Rolândia	0,075	461324	7417852	28,63	8,85	215	0,141	9,8	127,6	0,092
P38	Rolândia	0,055	466083	7422923	27,06	8,15	144	0,18	9,19	117	0,117
P39	Sta. Cecília do Pavão	1,841	522976	7394987	28,65	6,08	333	0,182	13,71	177,9	0,112
P40	Sta. Cecília do Pavão	0,2	522215	7398652	27,92	8,34	168	0,094	7,92	101,3	0,057
P41	Nova Santa Barbara	0,089	534888	7389140	25,32	7,26	256	0,055	9,59	118,8	0,036
P42	Sto. Antônio do Paraíso	0,102	533095	7398676	27,32	7,57	204	0,101	11,07	140,9	0,065
P43	Sto. Antônio do Paraíso	0,076	539245	7380556	23,83	8,08	263	0,089	17,8	215,3	0,058
P44	São J. da Serra	0,038	526622	7376230	24,38	8,46	117	0,103	5,74	70,1	0,067
P45	São S. da Amoreira	0,598	523784	7405700	28,33	8,33	170	0,205	24,67	320	0,133
P46	Sapopema	0,549	534315	7360366	23,48	7,68	322	0,526	4,84	58,3	0,337
P47	Sertaneja	0,115	515902	7452041	27,7	8,14	172	0,238	12,97	165,8	0,146
P48	Sertaneja	0,467	507839	7458611	28,36	8,79	46	0,172	8,3	107,7	0,112

P49	Sertaneja	0,146	501266	7477765	26,53	9,11	90	0,189	6,89	87,1	0,123
P50	Sertanópolis	0,086	494383	7450157	23,82	8,63	129	0,182	13,77	166,7	0,118
P51	Tamarana	0,597	489767	7376971	24,58	7,72	244	0,05	10,98	134,2	0,033
P52	Nova A. da Colina	0,443	528271	7425966	27,75	8,55	114	0,288	13,15	169,2	0,187
P53	Uraí	0,929	512373	7431737	25,28	8,11	157	0,399	8,63	106,7	0,252
P54	Curiúva	0,116	556789	7343661	24,61	8,71	165	0,11	8,79	107,6	0,071
P55	São J. da Serra	0,071	533815	7379352	24,32	7,75	435	0,087	16,51	201,3	0,057
P56	São J. da Serra	0,142	519705	7369990	23,38	8,32	203	0,119	1,72	140,7	0,077
P57	Congonhinhas	5,532	543085	7399165	25,76	7,42	141	0,253	9,12	113,8	0,164
P58	Sto. Antônio do Paraíso	0,113	538769	7402069	26,73	9,01	144	0,089	11,88	150,5	0,058
P59	São S. da Amoreira	0,109	528600	7397838	28,48	7,79	162	0,15	10,32	134,2	0,098
P60	Jataizinho	0,335	501923	7427837	24,14	5,15	362	0,858	12,09	147,3	0,548
P61	Assai	2,506	519981	7406647	28,12	7,35	117	0,227	21,09	272,8	0,148
P62	Assai	0,393	517600	7410906	26,56	6,91	170	0,173	8,67	109,9	0,106
P63	Cornélio Procópio	0,105	539650	7423404	22,33	7,65	197	0,088	8,98	106,2	0,057
P64	Ibiporã	0,046	494709	7431857	26,94	7,66	167	0,073	11,82	150,1	0,047
P65	Uraí	0,058	520232	7433818	26,01	9,1	116	0,291	8,38	105	0,188
P66	Sertaneja	0,103	514275	7470144	26,97	8,31	108	0,158	9,85	125,2	0,103
P67	Primeiro de Maio	0,051	496166	7472093	28,41	8,13	165	0,162	12,87	167,1	0,106
P68	Londrina	1,113	501052	7390272	24,74	7,28	248	0,167	22,76	279,3	0,109
P69	Tamarana	0,058	508914	7372158	25,84	8,17	302	0,031	6,89	71,8	0,02
P70	Sertanópolis	0,167	491428	7440264	28,76	8,04	163	0,293	8,96	117	0,191