



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TRÊS RIOS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS E DO  
AMBIENTE - DCAA**

**AVALIAÇÃO DE RISCO PARA CONSUMO HUMANO DO FLÚOR  
DISSOLVIDO NAS ÁGUAS MINERAIS DO PARQUE SALUTARIS,  
PARAÍBA DO SUL, RJ.**

**Leonardo Jatobá Rodrigues**

**ORIENTADOR: Prof. Dra. Olga Venimar de Oliveira Gomes  
CO-ORIENTADOR: Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho**

**TRÊS RIOS - RJ.  
FEVEREIRO – 2014.**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO TRÊS RIOS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS E DO  
AMBIENTE - DCAA**

**AVALIAÇÃO DE RISCO PARA CONSUMO HUMANO DO FLÚOR  
DISSOLVIDO NAS ÁGUAS MINERAIS DO PARQUE SALUTARIS,  
PARAÍBA DO SUL, RJ.**

**Leonardo Jatobá Rodrigues**

Monografia apresentada ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da UFRRJ, Instituto de Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**TRÊS RIOS - RJ.  
FEVEREIRO – 2014.**

XXX.XX

XXXr Rodrigues, Leonardo Jatobá, 2014-

Avaliação de risco para consumo humano do flúor dissolvido nas águas minerais do Parque Salutaris, Paraíba do Sul, RJ./ Leonardo Jatobá Rodrigues. - 2014.

45f. : graf., tabs.

Orientadora: Olga Venimar de Oliveira Gomes.

Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Administrativas e do Ambiente.

Bibliografia: f. 45-46.

1. Fluoreto – Avaliação de Risco – Parque Salutaris – Paraíba do Sul. Monografia.
2. Gestão Ambiental – Brasil – Teses. I. Boas, Ana Alice Vilas. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Ciências Administrativas e do Ambiente. III.

Título



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO TRÊS RIOS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS E DO AMBIENTE - DCAA**

**AVALIAÇÃO DE RISCO PARA CONSUMO HUMANO DO FLÚOR DISSOLVIDO  
NAS ÁGUAS MINERAIS DO PARQUE SALUTARIS, PARAÍBA DO SUL, RJ.**

**Leonardo Jatobá Rodrigues**

Monografia apresentada ao Curso de Gestão Ambiental como pré-requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aprovada em 20/02/2014

Banca examinadora:

---

Profa. Dra. Olga Venimar de Oliveira Gomes / UFRRJ

---

Prof. Co-orientador Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho / UFF

---

Profa. Dra. Erika Cortines / UFRRJ

---

Dr. Eduardo Duarte Marques / Serviço Geológico do Brasil

**TRÊS RIOS - RJ.**  
**FEVEREIRO – 2014.**

*“Dedico este trabalho a todos da minha família que me apoiaram em especial, aos meus pais e meu avô Mario, minhas principais inspirações na vida.”*

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria de agradecer ao Professor Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho, responsável pelo Laboratório de Hidrogeoquímica da UFF pelas análises cordialmente realizadas para este presente estudo.

## RESUMO

Águas que possuam organismos patogênicos, substâncias tóxicas, radioativas em concentrações que comprometam a saúde humana são consideradas águas contaminadas sendo que podem ter origem antropogênica ou natural. O flúor no Brasil é adicionado em grande parte da água potável fornecida pelos órgãos públicos com o intuito de prevenir a doença cárie. Análises químicas realizadas no mês de agosto/2012 nas águas minerais do Parque Salutaris, localizado na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro identificaram concentrações de até 1,5 mg/L de flúor dissolvido. O fato de muitas pessoas do município de Paraíba do Sul e arredores consumirem as águas minerais do Parque Salutaris “*in natura*” levantou o questionamento se as concentrações de flúor disponíveis naturalmente nessas águas poderiam causar danos à saúde de quem as ingerisse. Sabe-se que dependendo da concentração, o consumo do flúor pode ser benéfico ou trazer adversidades à saúde, como a flourose dentária e/ou óssea. Este estudo teve como objetivo principal fazer a análise do risco à saúde pelo consumo de flúor dissolvido nas águas minerais do Parque Salutaris no município de Paraíba do Sul – RJ. As análises químicas realizadas em amostras de água subterrânea coletadas em poços no Parque Salutaris eventualmente apresentaram concentrações de flúor acima do limite recomendado baseando-se no cálculo do risco para a saúde humana ( $> 1,1$  mg/L).

Palavras-chave: Contaminação natural, flúor, avaliação de risco, água mineral, Rio de Janeiro.

## ABSTRACT

Waters that have pathogenic organisms, toxic or radioactive substances in concentrations that may endanger human health are being considered contaminated water that may have anthropogenic or natural origin. Fluoride is added in Brazil in the drinking water provided by public agencies in order to eradicate caries. Chemical analyzes performed in the month of August/2012 in the mineral waters of Parque Salutaris park, located in the south central region of the state of Rio de Janeiro identified concentrations up to 1.5 mg/L of dissolved fluoride in the mineral water available for consumption in that park. This prerogative associated with the fact that many people in the city of Paraíba do Sul and its nearby area consume the mineral waters of Parque Salutaris "in natura" raised the question whether the fluoride concentration available naturally in these waters could cause damage to the health of those who ingest it. It is known that depending on the available concentration, consumption of fluoride can be beneficial or bring hardships to human health, such as dental flourosis. This study's main objective is to make the analysis of the risk to human health based on the methodology RBCA (Risk-Based Corrective Action) from the consumption of dissolved minerals in the water from Parque Salutaris park by people (human receptors), them being adults, adolescents and children in the city and vicinity of Paraíba do Sul - RJ. The analyzes conducted in this study indicated that the amount of fluoride in the water distributed in Parque Salutaris park are above the recommended limits based on the calculation of the risk to human health ( $> 1.1$  mg/L), whereas the more fragile receiver is the adult consumers of 2 liters/day of water from the park park in some spots in several months.

Keywords: Natural contamination, fluoride, risk assessment, mineral water, Rio de Janeiro

## LISTA DE ABREVIACOES E SMBOLOS

ACBR - Aes Corretivas Baseadas em Risco

AT - Tempo médio para ocorrência de efeitos adversos (efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos), em anos (a); BW - Massa corpórea, em quilogramas (kg)

Ca - Concentração da SQI na água em miligramas por litro (mg/L)

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

ED - Duração da exposição em anos

EF - Frequência da exposição, em anos (d/a)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

In (ingestão) - Ingresso da SQI "n" por ingestão de água, em litros por quilograma (L/kg.d)

In - Ingresso para a SQI n – mg/kg.dia

IRw - Taxa de ingestão diária de água, em litros por dia (L/d);

MCE - Modelo de Cenário de Exposição

NBR - Norma Brasileira

QRin - Quociente de risco para a SQI n para o cenário i

RBCA - Risk Based Corrective Action

RfDn - Dose de referência da SQI n – mg/kg.dia

RJ - Rio de Janeiro

SANEPAR - Companhia de Saneamento Básico do Paraná

SQI - Substância Química de Interesse

UFF - Universidade Federal Fluminense

USEPA - United States Environment Protection Agency

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Mapa de localização do Parque Salutaris, Paraíba do Sul	pag.15
<b>Figura 2 -</b>	Consumo “in natura” da água mineral do Parque Salutaris por morador do município	pag.17
<b>Figura 3 -</b>	Coleta para consumo “in natura” da água mineral do Parque Salutaris por morador do município	pag.17
<b>Figura 4 -</b>	Esquema ilustrativo de fonte, rota do contaminante e receptor	pag.21
<b>Figura 5 -</b>	Fluorose Dentária em estágio leve	pag.25
<b>Figura 6 -</b>	Fluorose maxilar esquelética Dentária nos incisivos central e lateral, caninos e pré-molares, em estágio moderado	pag.25
<b>Figura 7 -</b>	Fluorose Dentária em estágio grave	pag.26
<b>Figura 8 -</b>	Localização do poço Nilo Peçanha - P-10 poço	pag.30
<b>Figura 9 -</b>	Fonte Nilo Peçanha - P-10 fonte	pag.30
<b>Figura 10 -</b>	Localização do poço Maria Rita - P-11 poço	pag.31
<b>Figura 11 -</b>	Fonte Maria Rita - P-11 fonte	pag.31
<b>Figura 12 -</b>	Íon cromatógrafo de troca iônica, equipamento Metrohm	pag.32
<b>Figura 13 -</b>	Concentrações de fluoreto no poço Nilo Peçanha (P-10) e poço Maria Rita (P-11)	pag.38
<b>Figura 14 -</b>	Modelo do Cenário de Exposição à água disponível no Parque Salutaris	pag.39
<b>Figura 15 -</b>	Quociente de Risco das águas dos poços para adultos	pag.42
<b>Figura 16 -</b>	Quociente de Risco para Adultos das águas disponíveis para consumo no Parque Salutaris	pag.43

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Concentração de fluoreto nas amostras de água mineral do Parque Salutaris pag.37
- Tabela 2** – Alteração das concentrações de fluoreto nos reservatórios das fontes do Parque Salutaris pag.39
- Tabela 3** – Quociente de Risco para consumo de água das e dos poços fontes do Parque Salutaris considerando como SQI flúor pag.41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	pag.14
1.1 OBJETIVOS.....	pag.18
1.1.1 Objetivos específicos.....	pag.18
1.1.2 Justificativa.....	pag.19
<b>2 REVISÃO TEÓRICA</b> .....	pag.20
2.1 AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A SAÚDE HUMANA (RBCA) .....	pag.20
2.1.1 Identificação do Perigo.....	pag.22
2.1.2 Avaliação da Exposição.....	pag.22
2.1.3 Avaliação da Toxicidade.....	pag.23
2.1.4 Caracterização do Risco.....	pag.23
2.2. CASOS DE CONTAMINAÇÃO NATURAL POR FLUOR NO BRASIL.....	pag.24
2.2.1 Flúor na água subterrânea de Minas Gerais.....	pag.24
2.2.2 Flúor na água subterrânea do Paraná.....	pag.27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	pag.29
3.1. AMOSTRAGEM DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E ANÁLISE DO FLÚOR.....	pag.29
3.1.1. Amostragem.....	pag.29
3.1.2. Metodologia Analítica.....	pag.32
3.2. METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO DO RISCO.....	pag.32
3.2.1. RBCA Toolkit for Chemical Releases.....	pag.33
3.2.2. Quantificação do ingresso por ingestão de água subterrânea.....	pag.34
3.2.3. Caracterização do Risco.....	pag.35
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	pag.37
4.1. ANÁLISE DO FLUORETO.....	pag.37
4.2. AVALIAÇÃO DE RISCO PARA FLUORETO .....	pag.39
4.2.1. Modelo do Cenário de Exposição para a área de estudo.....	pag.39

<b>4.2.2. Cálculo do ingresso por ingestão de água subterrânea no Parque Salutaris....</b>	<b>pag.40</b>
<b>4.2.3. Caracterização do Risco.....</b>	<b>pag.40</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>pag.44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de água contaminada está relacionado à água que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas em concentrações que possam afetar a saúde humana (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000). A contaminação da água subterrânea tanto pode ter origem antropogênica como natural. Como exemplos de fontes antropogênicas de contaminações destacam-se as emissões de efluentes atmosféricos, vazamento de contaminantes no solo, acidentes industriais, despejos de efluentes na hidrosfera, lixiviação de resíduos sólidos para o solo, para sistemas aquíferos, etc. As fontes de contaminação da água subterrânea também podem ser naturais em função do intemperismo dos minerais e sedimentos por onde a água subterrânea percola.

No Brasil, em grande parte da água potável disponibilizada pelos órgãos públicos é adicionado flúor com o intuito de erradicar a doença cárie. Segundo Bastos et al. (2001), a adição de tal elemento na água potável se dá em baixas quantidades, em torno de 0,1 a 0,3 mg/L.

Porém, ainda de acordo com Bastos *et al* (2001), em cidades como Piracicaba e Pereira Barreto, localizadas no estado de São Paulo, tais concentrações naturais podem alcançar 4 mg/L conforme comprovado por Cury (1992). De acordo com Dan (1942), níveis muito acima de 1 mg/L, apesar de diminuir a ocorrência de cárie, podem aumentar significativamente uma enfermidade chamada de fluorose dentária e até mesmo esquelética.

Segundo Diniz (2006), também existem casos no estado de Minas Gerais, onde as maiores concentrações de flúor estão distribuídas naturalmente na mesorregião do norte do estado, no vale do Jequitinhonha, zona da Mata e Vale do Rio Doce podendo apresentar um valor máximo de 7,86 mg/L na região norte (município de Verdelândia), valor altíssimo em relação ao padrão do flúor na água que é de 1,5 mg/L de acordo com a Portaria 2.914 do Ministério da Saúde, que trata dos procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Nessa região foram verificados inclusive casos de fluorose dentária na população jovem.

Análises químicas realizadas por Lima *et al* (2012) no mês de agosto/2012 em águas minerais do Parque Salutaris, área deste trabalho monográfico, localizado na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro identificaram concentrações de até 1,5 mg/L de flúor dissolvido

em uma das águas minerais consumidas do referido parque. Essa prerrogativa associada ao fato de muitas pessoas consumirem as águas minerais do Parque Salutaris “*in natura*” no município de Paraíba do Sul e arredores levantou-se o questionamento se as concentrações de flúor disponíveis naturalmente nas águas dessa estância poderiam causar danos à saúde humana de quem as ingerisse.

O município de Paraíba do Sul (Latitude Sul 22°09'43''S e Longitude Oeste 43°17'34''W), localizado na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro até os dias de hoje é conhecido no estado por ser “A Rainha das Águas Minerais” devido à disponibilidade de águas mineralizadas que são livremente consumidas pela população (Figura 01).



Figura 01: Mapa de localização do Parque Salutaris, Paraíba do Sul.

A água subterrânea do parque está acumulada em aquíferos fissurais e dentro do parque são verificadas rochas como granulitos e gnaisses. A percolação da água nessas rochas ocorre principalmente em função da foliação das rochas associadas à fraturamentos de origens estruturais e fissuras por alívio de pressão (Gomes et al, 2013). Quanto ao regime pluviométrico no município de Paraíba do Sul, o período chuvoso vai de dezembro a março e a época de seca compreende os meses de junho a setembro.

No Parque Salutaris, desde o final do século XIX, já eram divulgadas algumas propriedades físico-químicas da água mineral encontrada nessa área, conhecida então como

“Arraial dos Sapos”, pelos residentes do município de Paraíba do Sul, entretanto, não há registros históricos sobre análises das concentrações de flúor nessas águas até o ano de 2012. Em 1887, um estudo feito pela Escola de Medicina do Rio de Janeiro constatou que as águas exploradas neste local tinham características que as classificavam como águas ferruginosas, bicarbonatadas e gasosas. Em 15 de junho de 1889 essas classificações hidroquímicas foram publicadas em Diário Oficial da União (FCPS, 2008).

Entre 1888 e 1895, as fontes foram adquiridas por Palhares, Grünh e CIA que as registraram com a marca “Salutaris”, quando então foram denominadas como “Águas Minerais Salutaris”, a qual foi premiada em diversas exposições no Brasil e no exterior (FCPS, 2008), porém, em 1942 a empresa Salutaris foi adquirida por Cílio da Gama Cruz, responsável por um grande investimento na industrialização e comercialização das águas, trazendo grandes benefícios turísticos e econômicos ao município de Paraíba do Sul e região, que entrou no circuito de Estâncias Hidrominerais (FCPS, 2008).

Em 1985, Francisco Portela e Francisco Gonçalves adquiriram a referida empresa, reestruturando-a e modernizando-a com a introdução de tecnologia para comercialização da água mineral em novas embalagens através inclusive do envasamento da água em copo.

O Parque Salutaris, localizado no bairro homônimo de Paraíba do Sul – RJ é demarcado por aquíferos fraturados com distintos tipos hidroquímicos de águas numa área relativamente pequena. Só essa peculiaridade já instigaria a pesquisa para a compreensão das ocorrências dessas águas minerais no estado do Rio de Janeiro.

Atualmente, a área de estudos possui dois poços, de águas subterrâneas, ativos que disponibilizam água para três fontes na área. O poço referente à Fonte Alexandre Abrahão, água caracterizada como ferruginosa, encontra-se desativado. A Fonte Nilo Peçanha que é caracterizada genericamente como água alcalina encontra-se ativo juntamente com a fonte Maria Rita que é caracterizada como magnésiana, tendo, portanto, cada uma das águas suas especificidades.

Por questões de gestão pública, durante anos, os poços não tiveram a manutenção adequada **fazendo-se ausente** a realização de análises químicas rotineiras para os padrões estabelecidos pela Portaria N°2.914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MS 2914).

Tendo em vista que muitos visitantes do parque consomem essa água e pessoas do município armazenam essas águas em suas residências para serem consumidas, em muitos casos sem filtragem, estimar o risco e as consequências desse consumo na dieta da população consumidora desse recurso consiste numa ferramenta que pode auxiliar a gestão ambiental das águas minerais de Paraíba do Sul (Figura 02 e 03).



Figura 02: Consumo “in natura” da água mineral do Parque Salutaris por morador do município (Foto: Leonardo Jatobá).



Figura 03: Coleta para consumo “in natura” da água mineral do Parque Salutaris por morador do município (Foto: Leonardo Jatobá).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é fazer a análise do risco à saúde humana, utilizando-se a metodologia RBCA (Risk-Based Corrective Action), do consumo de flúor dissolvido nas águas minerais do Parque Salutaris no município e arredores de Paraíba do Sul – RJ. Para que este objetivo fosse alcançado os seguintes objetivos específicos foram definidos:

### 1.1.1 Objetivos Específicos

- Coletas de amostras para análises mensais das concentrações de flúor nas águas minerais do Parque Salutaris, em Paraíba do Sul – RJ;
- Avaliação das concentrações de flúor dissolvido nos poços de água subterrânea e as concentrações de flúor disponível no reservatório das fontes das águas minerais do Parque Salutaris em Paraíba do Sul – RJ;
- Caracterização dos receptores que consomem as águas do Parque Salutaris;
- Proposição de medidas de gestão do consumo das águas minerais do Parque Salutaris baseando-se na avaliação do risco definida no objetivo principal.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

O flúor é um elemento essencial à saúde humana como na prevenção de cáries dentárias, no entanto, a exposição crônica a níveis acima de 1,0 mg/L pode trazer prejuízos a saúde (Dean, 1942);

Lima et al. (2012) e Gomes et al. (2013) identificaram concentrações de flúor dissolvido nas águas do Parque Salutaris no Município de Paraíba do Sul acima dos padrões definidos pela portaria 2.914 do Ministério da Saúde, e que portanto, podem oferecer risco a saúde dos usuários/consumidores;

Compreender o comportamento do flúor nas águas utilizadas pela população é o primeiro passo para se avaliar o risco de exposição dos consumidores dessas águas e propor um modelo de gestão desses recursos;

## **2. REVISÃO TEÓRICA**

Quanto aos benefícios e malefícios da ingestão de flúor na dieta dos seres humanos, segundo Demos *et al* (2001), a fluoretação considerada adequada para o consumo de água (1,0 mg/L) é vista como a maneira mais igualitariamente social de prevenir cárie dental. Estudos na Austrália comprovaram uma diminuição de 90% para 35% dos casos de cárie em crianças de 12 anos no período de 1977 até 1997 em função da fluoretação da água potável em conjunto com a utilização de creme dentais fluoretados por essas crianças. Na década de 30, Dean (1942) já havia descrito inúmeros levantamentos que demonstram os efeitos da associação positiva entre a concentração de flúor na água potável. Porém, segundo Carvalho *et al* (2011), a ingestão excessiva do íon flúor pode ocasionar fluorose dentária sendo essa patologia resultante de um distúrbio ocorrido durante a formação da dentição, caracterizada por uma hipomineralização do esmalte (concentrações < 1,0 mg/L, em média). A distribuição e severidade dessa patologia estão principalmente relacionadas com a quantidade de flúor ingerida, com a duração da exposição e com o estágio da amelogênese (processo de formação do esmalte dental) na qual houve a intoxicação.

Um modelo para o cálculo dos riscos pela ingestão do flúor dissolvido nas águas subterrâneas do Parque Salutaris é proposto nesta pesquisa monográfica que se baseou na metodologia de avaliação de risco para a saúde humana internacionalmente conhecida como RBCA (*Risk-Based Corrective Action*).

## 2.1. AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A SAÚDE HUMANA (RBCA)

A avaliação de risco é uma etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas utilizada para estimar numericamente o risco à saúde humana causada pela exposição do homem a uma determinada substância ou grupo de substâncias presentes no meio físico (solo, sedimento, água subterrânea, água superficial e ar).

De acordo com Guimarães (2003), a Avaliação de Risco está contida juntamente com o seu gerenciamento, no processo de análise de risco que se insere no processo de gestão ambiental. Logo, a avaliação de risco é uma ação preventiva, apesar de ser comumente utilizada como atividade corretiva.

A metodologia utilizada para a avaliação de risco da quantidade de fluoreto na água disponível nas fontes do Parque Salutaris em Paraíba do Sul – RJ, será a metodologia USEPA – Processo de evolução de risco, a qual é utilizada pelo órgão ambiental de São Paulo, CETESB. Segundo Gomes (2004), tal metodologia parte do princípio que o efeito adverso sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana provém de uma cadeia de eventos, iniciando-se na fonte, seguindo pela rota do contaminante e terminando no receptor (Figura 04).

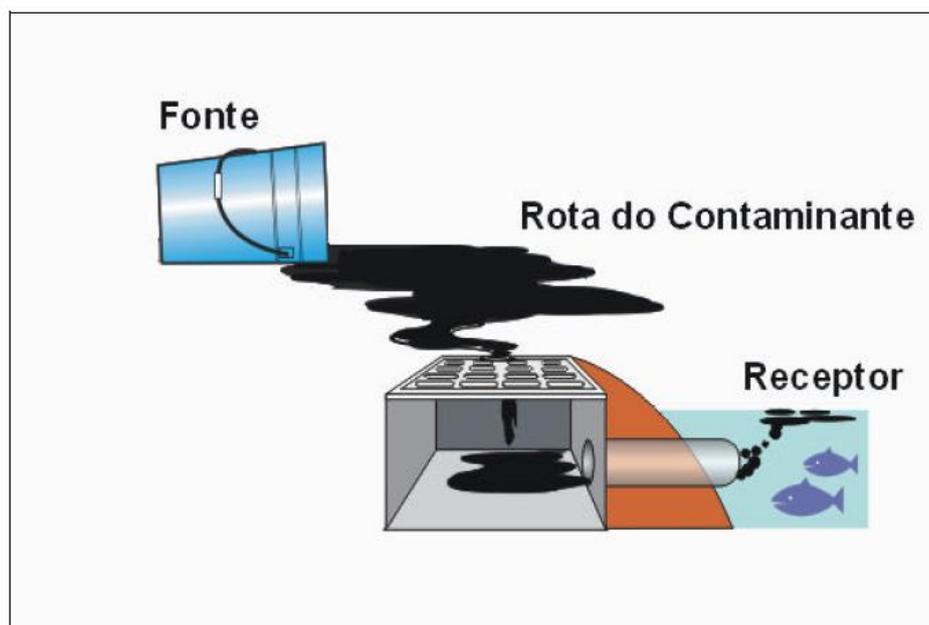


Figura 04 - Esquema ilustrativo de fonte, rota do contaminante e receptor. Fonte: Gomes (2004).

A evolução do risco envolve a identificação da concentração dos compostos químicos que oferecem risco no local estudado, a descoberta da origem deste contaminante, seu

percurso e a estimativa da concentração absorvida deste contaminante pelo organismo do receptor, associados à caracterização desta população e os possíveis malefícios à saúde da mesma. Para estipular tais elementos, a USEPA em 1989 utilizou dos seguintes elementos técnicos:

- Identificação do Perigo
- Avaliação da Exposição;
- Avaliação da Toxicidade e
- Caracterização do Risco.

### **2.1.1 Identificação do Perigo**

A identificação é realizada a partir de coletas e análises de dados no local para identificação das principais Substâncias Químicas de Interesse (SQI) e identificação dos possíveis meios de exposição, ou seja, uma caracterização detalhada do meio físico. De acordo com a (CETESB, 2013), nesta etapa são obtidos os seguintes dados:

- Substâncias identificadas em levantamento histórico;
- Período de atividade e estimativa do tempo durante o qual as fontes permaneceram ativas;
- Mecanismos de liberação das substâncias para o meio impactado;
- Os compartimentos do meio físico potencialmente impactados;
- O relato de indícios de contaminação observados na inspeção do local;
- A localização das fontes em planta;
- As ações de controle/eliminação das fontes de contaminantes.

### **2.1.2 Avaliação da Exposição**

Ainda segundo a (CETESB, 2013), o objetivo da avaliação de exposição é determinar o tipo, magnitude e frequência da exposição humana às SQI que estão presentes no meio

físico, associados a um dado evento de exposição atual e/ou futuro. O evento de exposição de um receptor a uma SQI pode se estender por um período de tempo (dias, meses, anos) ou ser um evento isolado, assim como pode ser direta, que ocorre quando o organismo está diretamente em contato com o agente contaminado / fonte primária de contaminação, ou indireta, que ocorre quando as SQI atingem o receptor através de outros agentes não ligados diretamente com o meio físico contaminado (CETESB, 2013).

O desenvolvimento da avaliação de exposição proporciona a definição dos cenários de exposição e a quantificação do ingresso, possibilitando a atualização do modelo conceitual no que se refere à exposição (CETESB, 2013).

### **2.1.3 Avaliação da Toxicidade**

A Avaliação de Toxicidade consiste na seleção dos dados toxicológicos relativos às SQI, para assim possibilitar a interpretação dos possíveis efeitos adversos à saúde humana associados a um evento de exposição. O levantamento de dados de dose-resposta (Toxicidade) é o processo de análise das informações toxicológicas (dose de referência e fator de carcinogenicidade) são identificados, sendo determinados aqueles que serão utilizados para estimar a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos em função da exposição humana a uma SQI. (CETESB, 2013)

Segundo a CETESB (2013), tais dados devem ser obtidos em bancos de dados toxicológicos validados cientificamente, pois servirão como fonte de informações sobre o perfil toxicológico da SQI como:

- Tipos de efeitos adversos à saúde;
- Fatores de carcinogenicidade;
- Doses de referencia.

Na identificação dos efeitos adversos à saúde, a SQI deve ser inicialmente caracterizada quanto aos seus efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos, assim como os principais efeitos deletérios ao organismo exposto a SQI. Para as substâncias carcinogênicas não há, teoricamente, um nível de exposição que seja isento de risco, enquanto que para as

substâncias não carcinogênicas há uma concentração abaixo da qual os efeitos adversos não são esperados, por isso tais efeitos devem ser considerados separadamente (CETESB, 2013)

#### **2.1.4 Caracterização do Risco**

Ainda segundo a CETESB, 2013, a Caracterização do Risco à saúde humana deve ser quantificada. A quantificação numérica do risco deve ser realizada individualmente para cada SQI considerando seus efeitos para cada caminho de exposição identificado no modelo conceitual da área de interesse do estudo. Depois de quantificado o risco individual de cada SQI para todos os caminhos de exposição, deve-se proceder o somatório dos riscos associados à exposição simultânea de todas SQI e caminhos de exposição. No caso de haver uma substância carcinogênica a caracterização de risco apresenta a probabilidade adicional do desenvolvimento de câncer no decorrer do tempo de vida a partir da exposição à SQI em questão. A caracterização de risco só pode ser considerada completa quando a quantificação do risco estiver acompanhada de interpretação e de análise das incertezas associadas.

## **2.2. CASOS DE CONTAMINAÇÃO NATURAL POR FLUOR NO BRASIL**

### **2.2.1 – Flúor na água subterrânea de Minas Gerais**

No Brasil, grande parte da água potável disponibilizada pelos órgãos públicos é enriquecida com o íon flúor com o intuito de prevenir a doença da cárie. Conforme já relatado, a adição de tal elemento na água potável se dá em baixas quantidades, em torno de 0,1 a 0,3 mg/L (BASTOS, 2001)..

A fluorose dentária origina-se da exposição do germe dentário, durante o seu processo de formação, a altas concentrações do íon flúor. Como consequência, têm-se defeitos de mineralização do esmalte, com severidade diretamente associada à quantidade ingerida.

Geralmente, o aspecto clínico é de manchas opacas no esmalte em dentes homólogos até regiões amareladas ou castanhas (Figura 05, Figura 06 e Figura 07) em casos de alterações mais graves (DENBESTEM, 1999; FERJESKOV, 1994).

Segundo Cangussu (2002), o índice de Dean é baseado em variações no aspecto estético do esmalte dos dentes, desde normal/questionável até a forma grave, abrangendo seis estágios de variações. É um índice bastante utilizado, embora seja incapaz de descrever com clareza gradações importantes das formas mais severas da doença.



Figura 5: Fluorose Dentária em estágio leve. (Fonte: <http://fluoridealert.org/issues/fluorosis/pictures/> ) Foto por: Center for Natural Dentistry (U.S.A.)



Figura 06: Fluorose maxilar esquerda Dentária nos incisivos central e lateral, caninos e pré-molares, em estágio moderado. (Fonte: TRILLER, 1998 in Diniz, 2006).



Figura 07: Fluorose Dentária em estágio grave. (Fonte: <http://fluoridealert.org/issues/fluorosis/pictures/>) Foto por: Dr. Iain A. Pretty, et al. (2012)

A doença tem apresentado prevalências e severidade maiores em idades mais jovens, o que tem alertado a comunidade científica para a necessidade de um acompanhamento contínuo e efetivo, para qual a detecção de uma possível tendência de aumento secular da fluorose dental. (HEINTZE et al., 1998; LEVY et al., 1995).

As altas prevalências de fluorose dentária geralmente ocorrem em fontes naturais com alto teor de flúor ou a partir da ingestão de múltiplas fontes desse íon e, historicamente há casos de fluorose de forma endêmica em todas as faixas etárias (CANGUSSU, 2002). A fluorose dental torna-se então um problema relevante em saúde pública, porque em suas formas moderada ou severa provoca alterações funcionais e estéticas que interferem na formação da personalidade, na inserção no mercado de trabalho, exige tratamento odontológico de alta complexidade em casos mais graves, tem etiologia conhecida e é factível ser prevenida. (CANGUSSU, 2002)

Segundo Leal (2004), a região sudeste possui grande variedade de armazenamento de água devido às características hidrogeológicas de seu substrato geológico. As rochas cristalinas e as formações inferiores da bacia sedimentar do Paraná constituem sistemas aquíferos pobres, que são intensamente aproveitados devido às condições de ocorrência e localização dos mesmos, sendo que a província hidrogeológica do Paraná ocupa cerca de 60% do território do estado de São Paulo e a quase totalidade da região do Triângulo Mineiro.

Segundo Diniz (2006) dos 383 poços perfurados e georeferenciados no Estado de Minas Gerais, apenas os que estão inseridos nos seguintes aquíferos possuem uma quantidade de flúor dissolvido em água maior do que a de 1,20 mg/L, ou seja apresentam risco à saúde:

- Sistema Aquífero Pelítico-carbonático (meio cárstico-fissurado);
- Sistema Aquífero Basáltico (meio fissurado);
- Sistema Aquífero Xistoso (meio fissurado);
- Sistema Aquífero Gnáissico-granítico (meio fissurado)
- Sistema Aquífero Carbonático (meio cárstico);
- Sistema Aquífero Pelítico (meio fissurado).

A toxicidade aguda do flúor está relacionada com a grande ingestão de quantidade de flúor de uma só vez, onde as consequências podem ser desde a irritação gástrica até a morte do indivíduo. Já a crônica, envolve a ingestão de pequenas quantidades diárias podendo afetar o esmalte dos dentes e tecidos mineralizados (BARATIERI *et al.*, 2001)

Ainda segundo Diniz (2006), a fluorose dentária é decorrente da ingestão do flúor de forma crônica em quantidades excessivas durante a formação dos dentes na faixa etária entre 0 e 5 anos de idade, enquanto a fluorose óssea ocorre principalmente nos casos onde a ingestão crônica do flúor ultrapassa a medida de 5 mg/L, afetando principalmente a população idosa, devido à fragilização dos ossos. A fratura do quadril em idosos é um caso grave que é facilitado pela fragilização dos ossos causada pela fluorose óssea.

### **2.2.2 – Flúor na água subterrânea do Paraná**

Na região do Vale do Ribeira, nas proximidades das cidades de Cerro Azul e Adrianópolis, cidades situadas no Estado do Paraná, onde existem grandes reservas de fluorita atualmente com a mina de Mato Preto em operação. Estes depósitos coincidem com áreas anômalas para flúor (ANDREAZZINI, 2005).

Teores de flúor superiores aos limites permitidos foram detectados nas drenagens próximas à mina de Mato Preto, onde as concentrações de flúor encontradas em água superficial variaram entre 0,07 até 2,54 mg/l, correspondendo aos valores mais elevados das amostras localizadas em cursos influenciados pelas mineralizações.(ANDREAZZINI, 2005)

O estudo de Andreazzini (2005) ainda afirma que na captação de água realizada pela empresa SANEPAR (Companhia de Saneamento Básico do Paraná) para posterior tratamento

e distribuição à população de Cerro Azul, que está localizada no arroio Três Barras, foram coletadas amostras que apresentaram valores em torno de 0,12 mg/L. Já os teores obtidos na água tratada para consumo na cidade de Cerro Azul foram de 0,84 e 1,02 mg/L. No povoado de Mato preto, o valor foi de 0,23 mg/L de flúor.

A autora conclui afirmando que em relação à qualidade das águas superficiais da região de Cerro Azul, seu estudo revela que há uma área de risco localizada próxima da jazida de Mato Preto, cujas águas não são adequadas para o consumo humano, devido às altas concentrações de fluoreto. Porém também foi constatado que os teores de flúor nas águas distribuídas para consumo, na cidade de Cerro Azul e no povoado de Mato Preto, estão adequadas para o consumo humano.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. AMOSTRAGEM DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E ANÁLISE DO FLÚOR**

##### **3.1.1. Amostragem**

As amostras foram coletadas mensalmente no período de maio a dezembro de 2013, sempre na segunda quinzena de cada mês. Tal metodologia foi escolhida para caracterizar as épocas de seca e chuva para ver se existem variações sazonais significativas nas concentrações de flúor dissolvido. As coletas foram feitas nas Fontes Maria Rita e Nilo Peçanha além dos dois poços homônimos que abastecem as referidas fontes. Todos os pontos estão localizados no interior do Parque Salutaris.

Ao todo foram 4 (quatro) pontos por dia de coleta. A decisão de coletar água nos poços que abastecem as fontes e nas fontes propriamente ditas foi tomada em virtude das águas bombeadas dos poços ficarem acumuladas em reservatórios. As águas minerais ficam acumuladas nesses reservatórios por dias e, a cada duas semanas os funcionários do parque drenam o material particulado decantado nos reservatórios através de “ladrões” que existem

nessas caixas d'água. Após conhecer essa sistemática através de entrevistas com funcionários do parque, ficou resolvido que a metodologia de amostragem englobaria a coleta nas fontes que consiste na água mineral acumulada nos reservatórios, disponível para o consumo propriamente dito pelos usuários do Parque e moradores da região, e água dos poços, verdadeira representante das condições de extração da água mineral. O intuito era estimar se o processo de filtragem e retirada do material particulado decantado nos reservatórios afetaria a concentração do flúor nas águas minerais.

As coletas realizadas no poço e na fonte Nilo Peçanha (água mineral alcalina) foram denominadas como “P-10 poço” para as amostras de poço (Figura 08) e “P-10 fonte” para as amostras retiradas da fonte (Figura 09). No poço e fonte Maria Rita (água mineral magnésiana) a nomenclatura dada foi “P-11 poço” (Figura 10) e “P-11 fonte” (Figura 11).



Figura 8: Localização do poço Nilo Peçanha - P-10 poço (Foto: Olga Gomes).

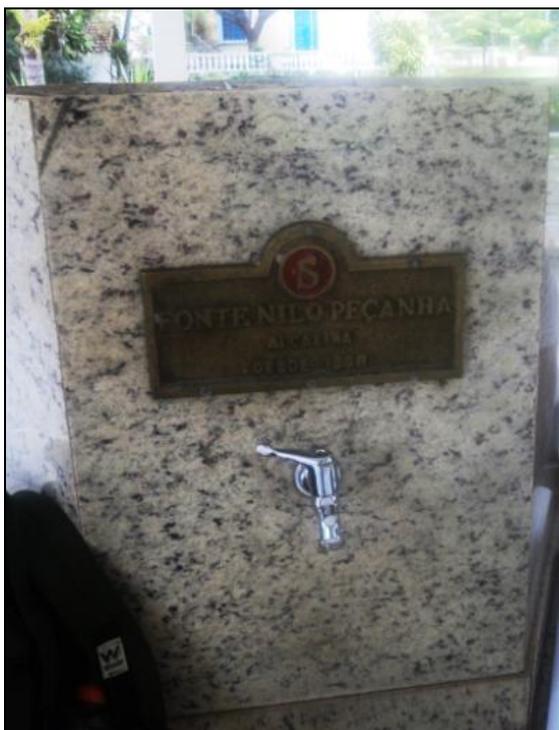


Figura 9: Fonte Nilo Peçanha - P-10 fonte (Foto: Olga Gomes).



Figura 10: Localização do poço Maria Rita - P-11 poço (Foto: Olga Gomes).



Figura 11: Fonte Maria Rita - P-11 fonte (Foto: Olga Gomes).

As amostras coletadas em frascos da marca eppendorf eram em seguida refrigeradas a aproximadamente 4°C e encaminhadas no mesmo dia das coletas para o laboratório.

### 3.1.2. Metodologia Analítica

No laboratório de hidrogeoquímica da UFF, as amostras eram filtradas em filtros GFC 45µm de prosidade. A determinação do anion  $F^-$  e demais cátions e anions foi realizada através de Cromatografia de troca iônica em, equipamento Metrohm - modelo 850 Professional IC acoplado a um amostrador automático Modelo 858 Professional Sampler Processor (Figura 12). Foram utilizadas colunas de troca iônica e detector de condutividade e como padrão para certificação das análises foi utilizado um padrão multielementar da Fluka ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ) elaborado com concentração de 6 mg/L utilizando água ultrapura, e analisado nas mesmas condições das amostras.



Figura 12: Íon cromatógrafo de troca iônica, equipamento Metrohm (Foto: Olga Gomes).

### 3.2. METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO DO RISCO

O software utilizado para a análise de risco neste estudo é o *RBCA Toolkit for Chemical Releases Versão 2.6*, e a descrição de suas funções baseou-se no manual do programa e na descrição de Guimarães (2003).

#### 3.2.1. RBCA Toolkit for Chemical Releases

Desenvolvido pela empresa americana Groundwork Services Inc – E.U.A., o *RBCA Toolkit for Chemical Releases* é um software comercial utilizado para modelagem e caracterização de riscos que segue a metodologia RBCA oferecendo resultados quantitativos e qualitativos e/ou níveis adequados para remediação de solos e aquíferos baseado em informações fornecidas pelo usuário.

De acordo com o manual de instruções do software em questão ele oferece resultados para:

- Avaliações de Risco Tiers 1 (com uma rota de exposição) e 2 (com duas rotas de exposição) da metodologia RBCA incluindo concentrações de contaminantes expostos, média diária de entrada do contaminante, níveis de risco e níveis aceitáveis de concentrações de contaminantes;
- Modelos de Destino e Transporte de contaminantes através de modelos analíticos para meios como ar, água e solo;
- Base de dados com mais de 150 compostos químicos perigosos à saúde humana e ao meio ambiente, integrados a dados toxicológicos e seus parâmetros físico-químicos. Há possibilidade de inserir, modificar ou apagar dados dos compostos;

A tela principal apresenta as opções de análise de risco onde podem ser escolhidos os níveis de detalhamento das avaliações (Tier 1 ou Tier 2), as opções de avaliação do risco para a saúde humana, e o diagrama de processo de evolução de risco, onde existem opções de entradas dos dados.

Cada título de entrada abre uma janela para entrada dos dados correspondentes para ARA. Os títulos de entrada são:

#### 1 – *Exposure Pathways* – Rotas de Exposição

- 2 – *Contituents of Concern* – Substâncias Químicas de Interesse (SQI)
- 3 – *Transport Models* – Modelos de Transporte
- 4 – *Soil Parameters* – Parâmetros para o Solo
- 5 – *GW Parameters* – Parâmetros para o Aquífero
- 6 – *Air Parameters* – Parâmetros para o Ar

O *RBCA Toolkit for Chemical Releases versão 2.6* permite o cálculo de um receptor on-site e 2 receptores off-site, com 9 vias de exposição. O software também possui um banco de dados de mais de 150 contaminantes, somando 28 parâmetros físico-químicos e toxicológicos desses contaminantes que podem ser alterados de acordo com as necessidades do usuário e das características das áreas contaminadas.

### 3.2.2. Quantificação do ingresso por ingestão de água subterrânea

A fórmula do ingresso da água com substâncias químicas de interesse (SQI) pelo receptor humano para a avaliação de risco segue a NBR 16.209 - *Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas*. O cálculo do ingresso (I) deve considerar os diferentes cenários de exposição definidos no Modelo Conceitual de Exposição (MCE) da área de interesse.

Um receptor pode ser exposto a uma SQI presente na água (subterrânea ou superficial) pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão da água para consumo;
- Ingestão involuntária da água durante trabalho, natação e/ou recreação;
- Contato dérmico com água.

A via de ingresso relativa à inalação de substâncias químicas volatizadas a partir da água subterrânea ou superficial é considerada eventos de contato indireto e utilizada na fórmula de inalação de SQIs. Os casos de vias de ingresso por ingestão de água (subterrânea ou superficial) são considerados eventos de contato direto.

A equação a seguir deve ser utilizada para o cálculo do *In* decorrente da ingestão de SQI presentes na água (NBR 16.209).

Equação 01: Cálculo do *In* decorrente de SQI presente na água, de acordo com a NBR 16.209

$$I_{n \text{ Ingestão}} = C_a \times \frac{IRw \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Onde:

*In* (ingestão) é o ingresso da SQI “n” por ingestão de água, em litros por quilograma por dia? (L/kg.d);

*IRw* é a taxa de ingestão diária de água, em litros por dia (L/d);

*EF* é a frequência da exposição, em anos (d/a);

*ED* é a duração da exposição em anos

*BW* é a massa corpórea, em quilogramas (kg);

$AT$  é o tempo médio para ocorrência de efeitos adversos (efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos), em anos (a);

$Ca$  é a Concentração da SQI na água em miligramas por litro (mg/L).

Quanto aos dados toxicológicos relativos às SQI, que representem os possíveis efeitos adversos à saúde humana, associados ao evento de exposição foram obtidos no banco de dados toxicológicos validados cientificamente que servem como fonte de informações sobre o perfil toxicológico da SQI, tais como tipos de efeitos adversos à saúde, fatores de carcinogenicidade e doses de referência.

### 3.2.3. Caracterização do Risco

Nessa etapa, o risco à saúde humana deve ser quantificado sendo realizado individualmente para cada SQI considerando seu efeito carcinogênico e não carcinogênico para cada exposição identificada no modelo conceitual de exposição da área (MCE) de interesse (NBR 16.209). O flúor não é considerado um contaminante carcinogênico sendo assim, o risco quantificado para o referido contaminante foi para efeitos não carcinogênicos. A quantificação do risco não carcinogênico para um determinado SQI e um dado cenário de exposição é calculada pela seguinte equação (NBR 16.209):

Equação 02: Quantificação de risco não carcinogênico para determinado SQI, de acordo com a NBR 16.209

$$QR_{in} = I_n / RfD_n$$

Onde:

$QR_{in}$  é o quociente de risco para a SQI n para o cenário i

$I_n$  é o ingresso para a SQI n – mg/kg.dia

$RfD_n$  é a dose de referência da SQI n – mg/kg.dia

O nível de aceitação do quociente de risco para avaliações de risco a saúde humana é igual a 1,0. Quocientes de risco acima de 1 (um) tipicamente necessitam de avaliações detalhadas ou maiores ações na área de estudos (GOMES, 2004).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ANÁLISE DO FLUORETO

As concentrações de fluoreto entre julho e dezembro/2013 estão apresentadas na tabela 01. As concentrações do íon fluoreto variaram de 0,42 mg/L, no mês de Setembro/2013 para a amostra de P-11 Fonte, a 1,43 mg/L para o mês de Dezembro/2013 para a amostra de P-11 Fonte.

Tabela 01: Concentração de fluoreto nas amostras de água mineral do Parque Salutaris.

<b>Período de amostragem</b>	<b>Identificação da amostra</b>	<b>Concentrações (mg/L)</b>
Julho/2013	P10 poço JUL	1,41
	P10 fonte JUL	1,42
	P11 fonte JUL	0,58
Agosto/2013	P10 poço AGO	1,44
	P10 fonte AGO	0,57
	P11 poço AGO	0,57
	P11 fonte AGO	0,57
Setembro/2013	P10 poço SET	0,97
	P10 fonte SET	0,57
	P11 poço SET	0,57
	P11 fonte SET	0,42
Outubro/2013	P10 poço OUT	1,34
	P10 fonte OUT	1,41
	P11 poço OUT	0,49
	P11 fonte OUT	0,51
Novembro/2013	P10 poço NOV	1,38
	P10 fonte NOV	0,51
	P11 poço NOV	0,51
	P11 fonte NOV	0,56
Dezembro/2013	P10 poço DEZ	0,53
	P10 fonte DEZ	0,58
	P11 poço DEZ	1,43
	P11 fonte DEZ	0,58

De acordo com o gráfico da Figura 13, as maiores concentrações flúor foram verificadas no P-10 (Poço Nilo Peçanha) nos meses de Julho e Agosto/2013, período de seca na região.

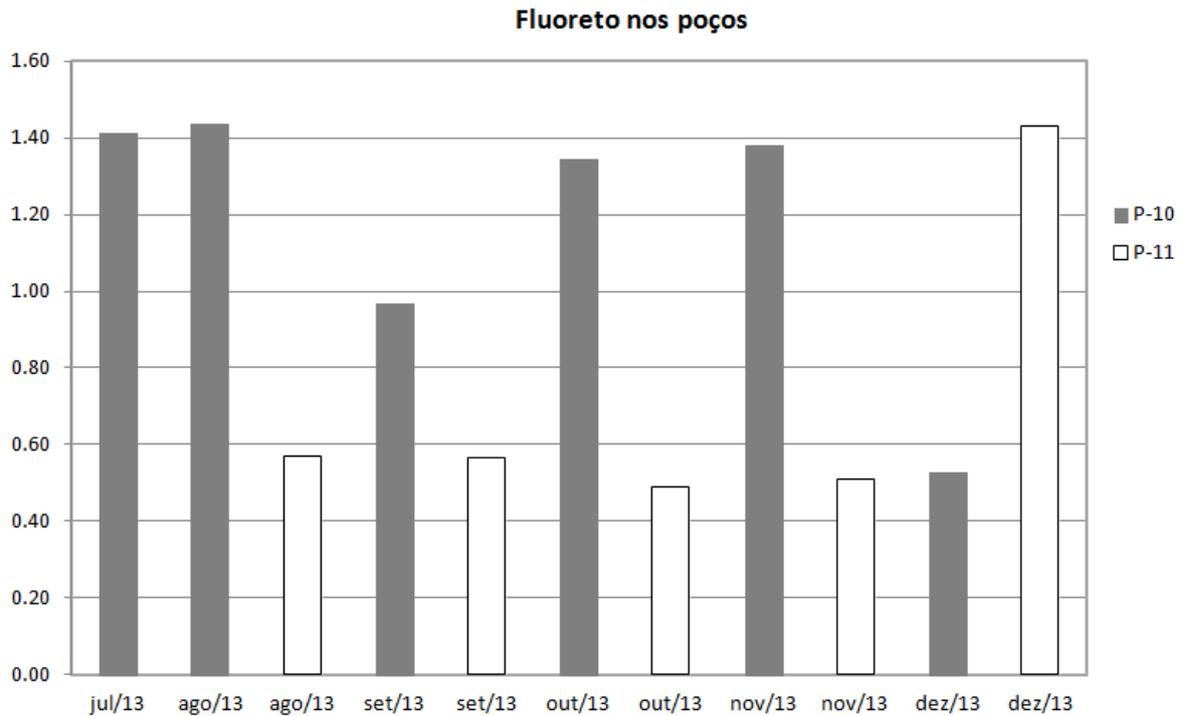


Figura 13: Concentrações de fluoreto no poço Nilo Peçanha (P-10) e poço Maria Rita (P-11).

A quarta coluna da tabela 02 apresenta a porcentagem de redução ou adição de fluoreto ocorrida nos sistemas de armazenamentos (reservatórios) que acumularam as águas distribuídas pelas fontes. Baseando-se nas análises, o sistema de armazenamento pode reduzir em até 60% a concentração de fluoreto (P-10 fonte – Agosto/2013) nas águas distribuídas no fontanário do Parque Salutaris. Entretanto, essa taxa de redução não é constante já que nos meses de Julho/2013, para o P-10 fonte, Agosto/2013 para o P-11 fonte e Outubro/2013 para o P-11 fonte não foram verificadas reduções nas concentrações das águas provenientes dos reservatórios e nos meses de Outubro/2013 para o P-10 fonte, Novembro/2013 para o P-11 fonte e dezembro/2013 para o P-10 fonte ocorreram pequenos aumentos, de até 10%, das concentrações de flúor na água armazenada. Tais discrepâncias podem estar relacionadas à falta de procedimento padrão para decantação e a retirada do material particulado nos reservatórios e/ou flutuações na concentração de material particulado na água subterrânea.

Tabela 02: Alteração das concentrações de fluoreto nos reservatórios das fontes do Parque Salutaris.

Período de Amostragem	Identificação da amostra	Concentrações (mg/L)	Alteração da concentração nos reservatórios
Julho/2013	P10 fonte JUL	1,42	0%
	P11 fonte JUL	0,58	-
Agosto/2013	P10 fonte AGO	0,57	Redução 60%
	P11 fonte AGO	0,57	0%
Setembro/2013	P10 fonte SET	0,57	Redução 41%
	P11 fonte SET	0,42	Redução 26%
Outubro/2013	P10 fonte OUT	1,41	Aumento 5%
	P11 fonte OUT	0,51	0%
Novembro/2013	P10 fonte NOV	0,51	Redução 43%
	P11 fonte NOV	0,56	Aumento 10%
Dezembro/2013	P10 fonte DEZ	0,58	Aumento 9%
	P11 fonte DEZ	0,58	Redução 59%

## 4.2. AVALIAÇÃO DE RISCO PARA FLUORETO

### 4.2.1. Modelo do Cenário de Exposição para a área de estudo

De acordo com o estudo realizado, o Modelo do Cenário de Exposição (MCE) compreende em um fluxograma que organiza o caminho da contaminação até o receptor principal. No caso do presente estudo, o MCE se definiu de maneira simples, sendo a fonte o aquífero fissural, o transporte dos elementos sendo realizado através da dissolução na água subterrânea e o fontanário disponibiliza essa água para consumo humano.

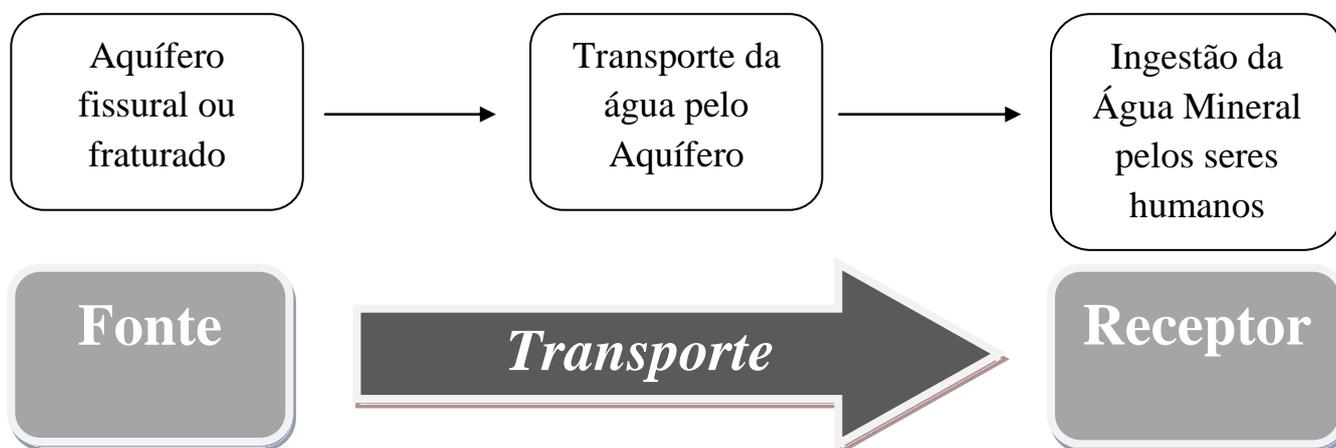


Figura 14: Modelo do Cenário de Exposição à água disponível no Parque Salutaris.

#### 4.2.2. Cálculo do ingresso por ingestão de água subterrânea no Parque Salutaris

Para o cálculo do ingresso por ingestão de água subterrânea na área de estudo, os parâmetros definidos estão de acordo com o procedimento da CETESB (2006): Ações Corretivas baseadas em risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos – procedimentos, sendo a taxa de ingestão diária de água (IR<sub>w</sub>) utilizada de 2 (L/dia) para adultos em cenários residencial (EPA, 1989a), de 1 (L/dia) de ingestão diária de água para adolescentes e 0,5 (L/dia) ingestão diária de água por crianças em cenários residenciais (EPA, 1989a).

A frequência da exposição também foi estimada de maneira conservadora, tendo sido considerado o número médio de dias úteis e feriados do calendário brasileiro. EF = 350 (dias/ano) consiste na frequência da exposição em área residencial.

A duração da exposição (ED) em anos considerada foi o tempo médio de vida do brasileiro de acordo com o IBGE (2010) que é de 74 anos. E a massa corpórea (BW) considerada foi 60 kg para adultos (CETESB, 2001), 35 kg para adolescentes (EPA, 1989a) e 15 kg para crianças (CETESB, 2001).

O AT é o tempo médio para ocorrência de efeitos adversos (efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos), em anos foi de 45 anos e o Ca que é a concentração da SQI na água em miligramas por litro (mg/L) foi baseada nas análises mensais de fluoreto para este estudo.

#### 4.2.3. Caracterização do Risco

Baseando-se no cálculo do risco definidos nas equações 01 e 02 e com o auxílio do software *RBCA Toolkit for Chemical Releases Versão 2.6*, os quocientes de risco para o flúor no cenário de consumo residencial de água no Parque Salutaris estão apresentados na tabela

03 considerando indivíduos adultos, adolescentes e crianças baseando-se no consumo das águas das fontes (cenário real) e dos poços (cenário hipotético).

Tabela 03: Quociente de Risco para consumo de água das e dos poços fontes do Parque Salutaris considerando como SQI flúor.

Identificação das Amostras	Quociente de Risco		
	Adulto	Adolescente	Criança
P10 fonte JUL	<b>1,2</b>	0,65	0,76
P11 fonte JUL	0,51	0,26	0,31
P10 fonte AGO	0,5	0,26	0,3
P11 fonte AGO	0,5	0,26	0,3
P10 fonte SET	0,5	0,26	0,3
P11 fonte SET	0,37	0,19	0,22
P10 fonte OUT	<b>1,2</b>	0,64	0,75
P11 fonte OUT	0,45	0,23	0,27
P10 fonte NOV	0,45	0,23	0,27
P11 fonte NOV	0,49	0,26	0,3
P10 fonte DEZ	0,51	0,26	0,31
P11 fonte DEZ	0,51	0,26	0,31
P10 poço JUL	<b>1,2</b>	0,64	0,75
P10 poço AGO	<b>1,3</b>	0,66	0,77
P11 poço AGO	0,5	0,26	0,3
P10 poço SET	0,85	0,44	0,52
P11 poço SET	0,5	0,26	0,3
P10 poço OUT	<b>1,2</b>	0,61	0,71
P11 poço OUT	0,43	0,22	0,26
P10 poço NOV	<b>1,2</b>	0,63	0,74
P11 poço NOV	0,45	0,23	0,27
P10 poço DEZ	0,46	0,24	0,28
P11 poço DEZ	<b>1,3</b>	0,65	0,76

Com base nos resultados obtidos pela análise de risco fornecida pelo software *RBCA Toolkit for Chemical Releases Versão 2.6*, é possível observar que os maiores riscos que a água do Parque Salutaris apresenta são para os adultos, em períodos onde os valores são maiores que 1, porém não apresenta risco para crianças ou adolescentes (valores abaixo de 1). Tal resultado se deve principalmente à quantidade de água que foi estipulada para o consumo humano diário para cada categoria de faixa etária sendo respectivamente para adulto, adolescente e crianças os valores de 2, 1 e 0,5 litros.

Foi verificado que as maiores taxas de risco apresentaram-se no P-10 poço, cenário hipotético já que não há consumo direto desse poço, onde a água não recebe nenhum tipo de tratamento, sendo que cinco amostras analisadas apresentaram risco para a saúde humana se fossem consumidas diretamente do poço Nilo Peçanha (Figura 15).

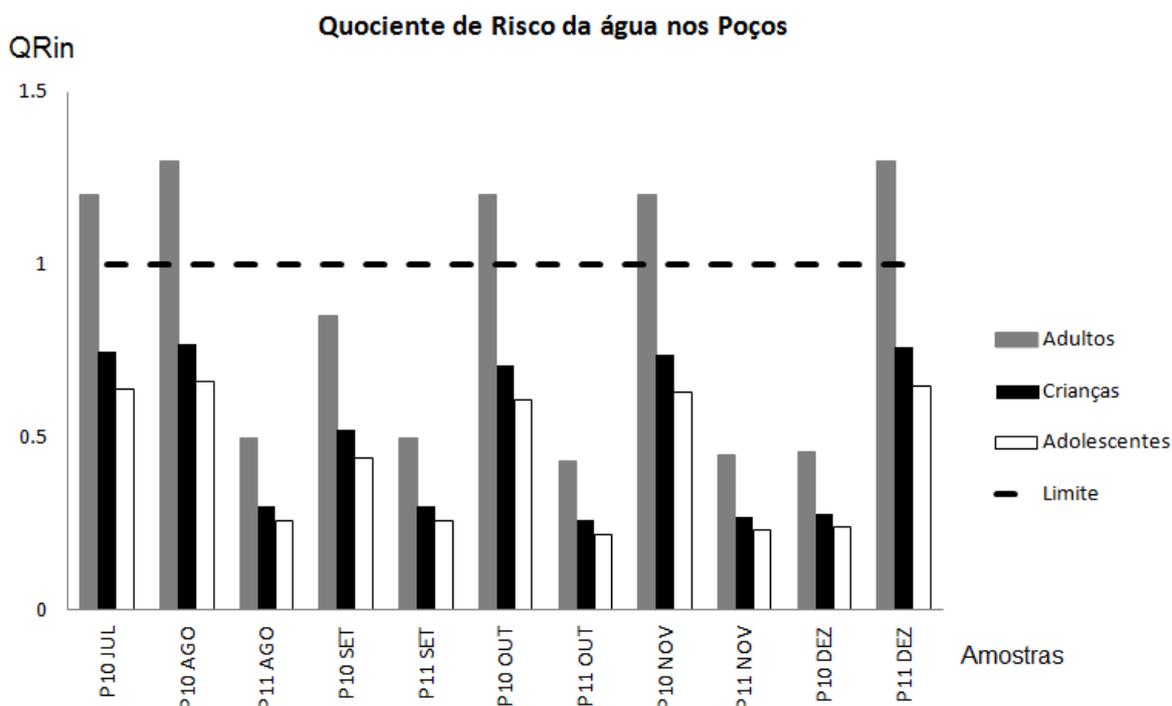


Figura 15: Quociente de Risco das águas dos poços para adultos, crianças e adolescentes.

Para o cenário real, apenas duas amostras retiradas da fonte Nilo Peçanha apresentaram algum risco à saúde humana e, a redução do risco em relação às análises de água extraídas diretamente do poço Nilo Peçanha se deve ao sistema de decantação estabelecido nas caixas d'água que existem no parque. A água que é retirada do poço passa pelo reservatório onde ocorre decantação antes de ser servida para consumo. O material

particulado depositado no fundo dos reservatórios é descartado a cada duas semanas de armazenamento nesse ambiente. Apesar de apresentar certa eficácia, tal atividade não apresenta nenhum tipo de procedimento padrão sendo feita de maneira aleatória, e que em alguns casos aumenta o risco de contaminação (Figura 16). A eficácia de tal procedimento como comprovada pela redução de algumas concentrações verificadas acima do padrão para algumas amostras analisadas do fontanário pode servir de sugestão como item de um modelo de gestão de uso sustentável das águas do Parque Salutaris.

### Quociente de Risco da Água das Fontes

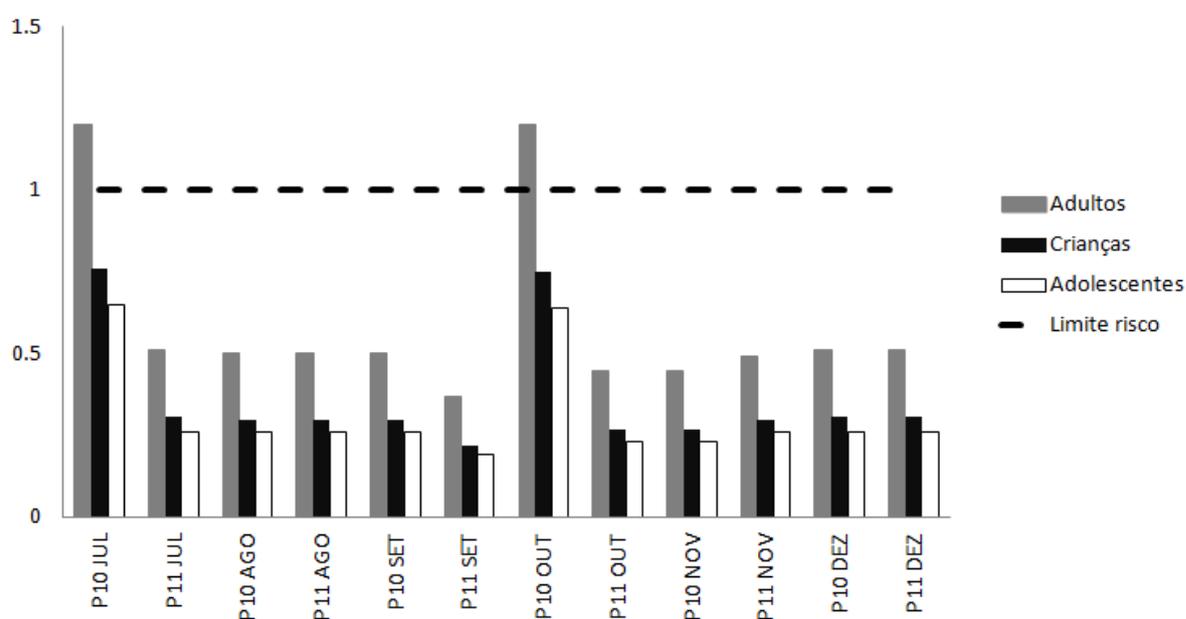


Figura 16: Quociente de Risco para Adultos, Crianças e Adolescentes das águas disponíveis para consumo no Parque Salutaris.

Baseando-se nas condições de consumo de água no parque, ou seja, no cenário de risco estabelecido e, considerando o receptor humano na idade adulta como o mais fragilizado para este cenário, o limite máximo de concentração de flúor tolerável na água consumida deve ser de até 1,1 mg/L, considerando ainda um risco individual por consumo de fluoreto.

## 5. CONCLUSÕES

A partir deste estudo foi possível concluir que a água disponível no Parque Salutaris, situado no município de Paraíba do Sul, pode apresentar, por alguns meses, limites acima do recomendado baseando-se no cálculo do risco para a saúde humana ( $> 1,1$  mg/L), considerando que o receptor mais fragilizado é o adulto consumidor de 2 litros/dia de água do parque.

As amostras retiradas do poço Nilo Peçanha (P-10) mostraram-se com os maiores riscos à saúde de humanos adultos, entretanto, trata-se de um cenário hipotético já que essa água não é consumida diretamente do poço passando previamente por um processo de decantação em reservatórios.

O sistema de decantação nos reservatórios se mostrou relevante já que diminuiu, em certas épocas, consideravelmente os teores de flúor nas águas disponibilizadas pelas fontes, mas, devido à falta de um procedimento padrão, algumas amostras na fonte mostraram-se também acima do limite ideal para consumo humano ( $< 1,1$  mg/L) como ocorreu nos meses de julho e outubro/2013.

Foi observado também que os teores mais altos de flúor foram encontrados no P-10 durante o período de seca, mas neste âmbito o estudo apresentou-se inconclusivo devido ao curto período de tempo disponível de análise do mesmo, ficando deficitário principalmente a amostragem e caracterização da concentração de flúor para períodos de chuva. Neste estudo foi considerado apenas o mês de Dezembro/2013 como referência para o período chuvoso na área da pesquisa que geralmente se estende entre os meses de Dezembro e Março.

Recomenda-se que essa pesquisa prossiga por pelo menos 1 ano hidrológico e que o monitoramento das concentrações de flúor no parque seja contínuo baseando-se num limite de tolerância de 1,1 mg/L de flúor disponível na água consumida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAZZINI, M. **Geoquímica do Flúor em Águas e Sedimentos Fluviais da Região de Cerro Azul, Estado do Paraná: Definição de Áreas de Risco para Consumo Humano**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 2005.

BASTOS, J.; BUZULAF, M.; LEVY, F.; RIBEIRO, T.; MAZZONE, F. - Concentração de flúor em água mineral engarrafada e de fontes naturais das cidades de Lindóia, Águas de Lindóia e Serra Negra, Brasil. **Passo Fundo**, v. 6, n. 1, p. 15-19, jan./jun, 2001.

BRUSCO, L.; BRUSCO, E.H.; RUSCHEL, H.; KRAMER, P. - Amelogênese imperfeita – cinco anos de acompanhamento. **RFO**, v. 13, n. 1, p. 60-64, janeiro/abril, 2008.

CANGUSSU, M.C.; NAVAI, P.; FERNANDEZ, R.; DJEHIZIAN, V. - A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 18(1):7-15, jan-fev, 2002.

CARVALHO, R.; MEDEIROS, U.; SANTOS, K.; PACHECO FILHO, A. - Influência de diferentes concentrações de flúor na água em indicadores epidemiológicos de saúde/doença bucal. **Ciência & Saúde Coletiva**, 16(8): p. 3509-3518, 2011.

CURY, J.; TABCHOURY, C., – Determinação da exposição apropriada a fluoreto no futuro para países de economia de mercado não estabilizada. **J Appl Oral Sci**; 11(2): p. 83-95, 2003.

DEMOS, L.; KAZDA, H.; CICUTTINI, F; SINCLAIR, M; FAIRLAY, C., - Water fluoridation, osteoporosis, fractures – recent developments. **Australian Dental Journal**; 46:(2) p. 80-87, 2001.

DENBESTEN, P. K., 1999. Biological mechanisms of dental fluorosis relevant to the use of fluoride supplements. **Community Dentistry and Oral Epidemiology**, 27:41-47.

DINIZ, L. **Flúor nas águas subterrâneas de Minas Gerais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.xxp.

DREVER, 1997 - DREVER, J. I. **The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments**, New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1997. 436 p.

FUNDAÇÃO CULTURAL DE PARAÍBA DO SUL, 2006/2008: Documentos históricos

FEJERSKOV, O.; BAELUM, V.; MANJI, F. & MOLLER, I.J., 1994. **Fluorose Dentária**. São Paulo: Editora Santos.

GOMES, O. **Análise crítica de metodologia de avaliação de risco ambiental em área de produção de petróleo no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.