



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DO RISCO GEOLÓGICO À EXPOSIÇÃO DE ELEMENTOS  
QUÍMICOS À SAÚDE AMBIENTAL, NA REGIÃO DE ARAÇUAÍ-ITINGA,  
MINAS GERAIS – BRASIL**

Cassio Roberto da Silva

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

Área de concentração:

Geologia Regional e Econômica

Orientadores:

Edson Farias Mello  
Cícera Neysi de Almeida

Rio de Janeiro  
Agosto 2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Cassio Roberto da.

Avaliação do risco geológico à exposição de elementos químicos à saúde ambiental, na região de Araçuaí-Itinga, Minas Gerais – Brasil / Cassio Roberto da Silva.- Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2011.

il.; 138 p.

Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2011.

Orientadores: Edson Farias Mello e Cícera Neysi de Almeida.

1. Riscos geológicos à saúde ambiental. 2. Geoquímica e saúde. 3. Exposição do alumínio no plasma. Tese de doutorado. I. Mello, Edson Farias e Almeida, Cícera Neysi de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geologia. III. Título.

CDD: 551.9

AVALIAÇÃO DO RISCO GEOLÓGICO À EXPOSIÇÃO DE ELEMENTOS  
QUÍMICOS À SAÚDE AMBIENTAL,  
NA REGIÃO DE ARAÇUAÍ-ITINGA, MINAS GERAIS – BRASIL

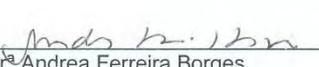
Cassio Roberto da Silva

Orientadores:  
Edson Farias Mello  
Cícera Neysi de Almeida

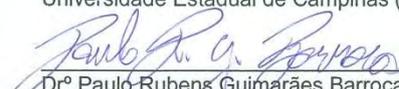
Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia,  
Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como  
parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências  
(Geologia).

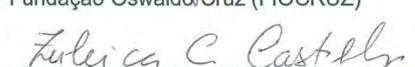
Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente: Profº Drº Gerson Cardoso da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFRJ (PPGL-UFRJ)

  
\_\_\_\_\_  
Profª Drª Andrea Ferreira Borges  
Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFRJ (PPGL-UFRJ)

  
\_\_\_\_\_  
Profº Drº Eduardo Mello De Capitani  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

  
\_\_\_\_\_  
Drº Paulo Rubens Guimarães Barrocas  
Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ)

  
\_\_\_\_\_  
Drª Zuleica Castilhos  
Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)

Rio de Janeiro  
Agosto 2011

## AGRADECIMENTOS

A Edson Mello e Neysi Almeida, pela orientação dedicada, franca, honesta e, principalmente, competente e generosa, com uma boa dose de paciência, além da amizade, ao longo de quatro anos de convivência.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), representada pelo Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial, José Ribeiro Mendes, pelo apoio para cursar o doutorado e durante o período de elaboração da presente tese.

A Daniel Vidal, da Embrapa Solos, pela execução das análises químicas de solos e alimentos, as quais foram de grande valia para esta tese.

À médica Maria Izabel D.M. de Moraes, da Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), da Universidade Iguazu e do Instituto Nacional do Câncer (INCA), e aos biólogos da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), André Luiz Souza e Antônia Lúcia dos Santos, pela parceria na coleta de amostras de sangue na população pesquisada no município de Araçuaí. Dessa coleta participaram, com significativa ajuda, a enfermeira Marildinha e Ana Paula Carvalho, funcionárias da Prefeitura de Araçuaí, nos contatos iniciais com a população estudada.

Ao farmacêutico Fernando Barbosa Júnior, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (USP), pelas análises do plasma da população pesquisada.

Aos parceiros da CPRM/SGB, Fernanda Cunha, Sabino Loguércio, Edgar Shinzato, Luzia Valente, Ídio Lopes Jr., pela leitura, revisão, elaboração de figuras e discussões do texto.

Aos amigos da Geologia Médica, Bernardino Figueiredo, Eduardo Capitani, Olle Selinus e José Centeno, por seu apoio, leitura e discussões dos artigos a serem publicados.

À professora Sueli Cardoso de Araújo, pela revisão linguística, sugestões e formatação do texto, contribuindo para aprimorar a comunicação dos assuntos abordados nesta tese.

O homem tem o direito fundamental à liberdade, à igualdade e ao desfrute de condições de vida adequada em um meio cuja qualidade lhe permite levar uma vida digna e gozar de bem-estar, tendo a solene obrigação de proteger e melhorar esse meio para as gerações presente e futura. [...] (Princípio 1º da Declaração de Estocolmo de 1972).

## RESUMO

### **AVALIAÇÃO DO RISCO GEOLÓGICO À EXPOSIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS À SAÚDE AMBIENTAL, NA REGIÃO DE ARAÇUAÍ-ITINGA, MINAS GERAIS – BRASIL**

Cassio Roberto da Silva

Orientadores: Edson Farias Mello  
Cícera Neysi de Almeida

Resumo da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

A pesquisa foi desenvolvida em um distrito mineral onde ocorrem vários pegmatitos litiníferos. Os resultados dos estudos geológicos e geoquímicos da área e biológicos em três grupos de riscos mostraram que, no local, ocorrem metassedimentos (Grupo Macaúbas e Formação Salinas) e granitos (Teixeirinha e Quati) aluminosos, constituídos, principalmente, por quartzo, feldspatos, muscovita, biotita, silimanita, andaluzita, cordierita e turmalina. Os resultados geoquímicos em 51 amostras de águas de drenagem e de abastecimento (sem tratamento), em aproximadamente 80% da área, apresentaram valores de alumínio entre 0,200 a 0,928 ppm, acima do recomendado pelo Ministério da Saúde (MS). Os teores das medianas de 27850 mg/kg de Al em solos e 437 mg/kg de Al em hortaliças também apresentaram valores elevados. Nas comunidades de Igrejinha e Fazenda Velha (município de Araçuaí), 133 pessoas foram submetidas à análise de plasma, verificando-se que 68% da população estão com valores de Al acima de 3 µg/L (valor considerado normal por ATSDR, 2008); 49% apresentam conter > 10 µg/L; 10%: > 60 µg/L; 5%: > 100 µg/L; 2%: > 200 µg/L. Também foi selecionado para análise de plasma um grupo de 16 pessoas que se submetem a tratamento de diálise, constatando-se que 94% dessa população estão acima de 3 µg/L de Al; 75%: > 10 µg/L; 44%: > 60 µg/L; 25%: > 100 µg/L; 19%: > 200 µg/L. Os resultados denotam que o alumínio absorvido pela população de Igrejinha e Fazenda Velha é de origem natural, tendo como rota de exposição rocha-solo-água-alimento. Estima-se que, na área de estudo, 3.200 pessoas estão expostas ao alumínio.

Palavras-chave: Riscos geológicos à saúde ambiental; geoquímica e saúde; exposição de alumínio no plasma.

Rio de Janeiro  
Agosto 2011

**ABSTRACT****GEOLOGICAL RISK ASSESSMENT OF EXPOSURE TO CHEMICAL ELEMENTS  
FOR ENVIRONMENTAL HEALTH IN THE ARAÇUAÍ-ITINGA,  
MINAS GERAIS – BRAZIL**

Cassio Roberto da Silva

Orientadores: Edson Farias Mello  
Cícera Neysi de Almeida

*Abstract* da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

This research was conducted in a mineral district, where there are several lithiniferos pegmatites. The geological and geochemical studies of the area and biological results in three risk groups as follows. Metasediments of Macaúbas Group and Salinas Formation occur in the area, as well as aluminous granites (Teixeirinha and Quati) mainly formed by quartz, feldspars, muscovite, biotite, sillimanite, andalusite, cordierite and tourmaline. The 51 drainage and untreated water supply samples, from approximately 80% of the area, were analyzed and results showed Al values from 0.200 to 0.928 ppm, exceeding the Health Ministry recommended levels. The medians of 27850 mg/kg Al in soils and 437 mg/kg Al in vegetables also had elevated. Igrejinha and Fazenda Velha communities (Araçuaí Municipality), where 133 people were subjected to plasma analyses, revealed 68% are with Al values above 03 µg /L, up to this value is considered normal by the ATSDR (2008), 49% of the people have > 10 µg/L, 10% of the population > 60 µg/L, 5% > 100 µg/L and 2% > 200 µg/L. And in a group of 16 people receiving dialysis, 94% of this population is above 03 µg/L of Al, 75% > 10 µg/L, 44% > 60 µg/L, 25% > 100 µg/L and 19% >200 µg/L. The results show that the Al absorbed by the Igrejinha and Fazenda Velha populations is of natural origin, with the exposure route: rock-soil-water-food. It is estimated that in the study area 3200 people are exposed to Al.

**Keywords:** Geological risks to environmental health; geochemical and health; aluminum exposure in plasma.

Rio de Janeiro  
Agosto 2011

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 –</b>	Localização da área de pesquisa: porção nordeste do estado de Minas Gerais, municípios de Araçuaí e Itinga	30
<b>Figura 2 –</b>	Mapa geológico da região de Araçuaí-Itinga e localização das comunidades rurais	32
<b>Figura 3 –</b>	Biotita-quartzo-xisto milonitizado	33
<b>Figura 4 –</b>	Biotita-quartzo-xisto milonitizado com porfiroblastos centimétricos de cordierita	34
<b>Figura 5 –</b>	Vista panorâmica, ao fundo, do granito Quati	35
<b>Figura 6 –</b>	Detalhe do granito Quati, com fenocristais zonados em matriz constituída por quartzo, feldspato e biotita	35
<b>Figura 7 –</b>	Blocos de pegmatito constituído por k-feldspato, quartzo, muscovita, albita, turmalina-negra	36
<b>Figura 8 –</b>	Detalhe do pegmatito apresentado na figura interior	37
<b>Figura 9 –</b>	A rocha de coloração escura é constituída por biotita-quartzo-andaluzita-xisto (milonito); a rocha de coloração clara é um pegmatito (Pedreira Tomazine)	37
<b>Figura 10 –</b>	Corpo de minério pegmatítico 1C1, de coloração clara, concordante com a encaixante biotita-quartzo-xisto de coloração escura, dentro da galeria	38
<b>Figura 11 –</b>	Amostra de espodumênio de coloração esverdeada; na cor clara, predomina o quartzo	38
<b>Figura 12 –</b>	Tabela periódica (elementos essenciais e tóxicos) e os possíveis efeitos biológicos de vários elementos químicos	44
<b>Figura 13 –</b>	Síntese das etapas a serem seguidas em estudo de geologia médica	45
<b>Figura 14a –</b>	Resultados das análises de água de abastecimento, espacializados em mapa por meio de curvas de isovalores, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	48
<b>Figura 14b –</b>	Resultados das análises de água de abastecimento, disponibilizados por meio de histograma, da área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	49
<b>Figura 14c –</b>	Resultados das análises de água de abastecimento, expressos por meio de boxplot, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	49
<b>Figura 14d –</b>	Índices de saturação dos minerais de alumínio presentes nas amostras de água de abastecimento da área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	52
<b>Figura 14e –</b>	Diagrama de fases das espécies de alumínio	54

<b>Figura 15a</b> –	Resultados das análises de solos, espacializados em mapa por meio de curvas de isovalores, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	55
<b>Figura 15b</b> –	Resultados das análises de solos, expressos por faixas de concentração, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	56
<b>Figura 15c</b> –	Resultados das análises de solos, expressos por boxplot, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	56
<b>Figura 16a</b> –	Resultados das análises de sedimentos, espacializados em mapa, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	58
<b>Figura 16b</b> –	Resultados das análises de sedimentos, expressos por faixas de concentração, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	59
<b>Figura 16c</b> –	Resultados das análises de sedimentos, expressos por boxplot, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	59
<b>Figura 17</b> –	Residência da comunidade do Pega (esq.) e horta onde foram colhidas amostras de solo e de alimentos (dir.)	61
<b>Figura 18</b> –	Regiões com o mesmo contexto geológico da área de pesquisa situada nos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	64
<b>Figura 19</b> –	Localização das comunidades Igrejinha (médio ribeirão Piauí) e Fazenda Velha (baixo ribeirão Piauí)	65
<b>Figura 20</b> –	Vista parcial das comunidades Igrejinha (esq.) e Fazenda Velha (dir.)	66
<b>Figura 21</b> –	População de Igrejinha aguardando entrevista e coleta de sangue	67
<b>Figura 22</b> –	Coleta de sangue em habitantes de Fazenda Velha, realizada em uma igreja da região	67
<b>Figura 23</b> –	Histograma dos resultados de alumínio em plasma por faixas de concentração <i>versus</i> número de amostras em Igrejinha, Fazenda Velha e grupo em tratamento de diálise	70

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b>	– Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostragens realizadas nos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	47
<b>Tabela 2</b>	– Resultados das análises de água de abastecimento, expressos por dados estatísticos, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	50
<b>Tabela 3</b>	– Valores de pH de 17 amostras de águas de abastecimento colhidas na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	53
<b>Tabela 4</b>	– Distribuição em porcentagem das principais espécies de alumínio por amostra obtidas pela modelagem realizada no <i>software</i> Visual MINTEC 3.0	53
<b>Tabela 5</b>	– Resultados das análises de solos, expressos por dados estatísticos, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	57
<b>Tabela 6</b>	– Média dos valores médios e máximos de alumínio em 70% das bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais	57
<b>Tabela 7</b>	– Resultados das análises de sedimentos, expressos por meio de tratamento estatístico, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG)	60
<b>Tabela 8</b>	– Resultados de amostras de alimentos e de solos da área de pesquisa e de fora da área de pesquisa	61
<b>Tabela 9</b>	– Níveis de concentração de alumínio em plasma ( $\mu\text{g/L}$ ) nas populações das comunidades de Igrejinha e Fazenda Velha (Araçuaí) e no grupo em tratamento de diálise	69
<b>Tabela 10</b>	– Dados estatísticos da incerteza relativa aos resultados analíticos das amostras de plasma das populações de Igrejinha e Fazenda Velha	71
<b>Tabela 11</b>	– Resultados das análises de alumínio em sedimento, solos, água e alimento vegetal da área de pesquisa e no plasma das populações das comunidades Igrejinha e Fazenda Velha	71
<b>Tabela 12</b>	– Resultados de análises de lítio em sedimentos, solos, água e alimento vegetal da área de pesquisa e no plasma das populações de Igrejinha e Fazenda Velha e no grupo em tratamento de diálise	73
<b>Tabela 13</b>	– Conteúdo de alumínio dos principais minerais que ocorrem nas rochas da área de pesquisa	75

**LISTA DE SIGLAS**

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CBL	Companhia Brasileira de Lítio
CAH	Clinical and Analytical Handbook
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFS	Centre for Food Safety
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EFSA	European Food Safety Authority
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
IG	Instituto de Geociências
IS	Índice de Saturação
MG	Minas Gerais
MS	Ministério da Saúde
PAI	Produto da Atividade Iônica
SP	São Paulo
UE	União Europeia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo
WHO	World Health Organization

**LISTA DE SÍMBOLOS**

Al	alumínio
As	arsênio
B	boro
Ca	cálcio
Cd	cádmio
Cl	cloro
Co	cobalto
Cr	cromo
Cu	cobre
F	flúor
Fe	ferro
H	hidrogênio
Hg	mercúrio
I	iodo
K	potássio
kg	kilograma
Li	lítio
Mg	magnésio
mg	miligrama
Mn	manganês
Mo	molibdênio
N	nitrogênio
Na	sódio
O	oxigênio
P	fósforo
Pb	chumbo
ppb	parte por bilhão
ppm	parte por milhão
S	enxofre
Sb	antimônio
Se	selênio

Si	silício
Sn	estanho
t	tonelada
Tl	tálio
U-Th	urânio-tório
V	vanádio
Zn	zinco
µg/L	micrograma por litro

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>		<b>iii</b>
<b>DEDICATÓRIA</b>		<b>iv</b>
<b>EPIGRAFE</b>		<b>v</b>
<b>RESUMO</b>		<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>		<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>		<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>		<b>x</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>		<b>xi</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>		<b>xii</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>ALUMÍNIO</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Propriedades do Alumínio</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Alumínio na Água</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Alumínio no Solo</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Alumínio em Alimentos</b>	<b>25</b>
<b>3.5</b>	<b>Alumínio e Saúde</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA, GEOLÓGICA E SOCIOECONÔMICA</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>46</b>
<b>6.1</b>	<b>Águas de Abastecimento e de Drenagem</b>	<b>46</b>
<b>6.2</b>	<b>Solos e Sedimentos de Corrente</b>	<b>55</b>
<b>6.3</b>	<b>Alimentos Vegetais</b>	<b>60</b>
<b>6.4</b>	<b>Avaliação de Exposição Humana</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>ESTRATÉGIA DE COMUNICAÇÃO DE RISCO</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>79</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE A</b> <b>Artigo Submetido à Revista Brasileira de Geociências</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE B</b> <b>Artigo Submetido ao Journal Environmental Geochemistry and Health</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO A</b> <b>Validação da Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Iguazu (CEP/UNIG)</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO B</b> <b>Comunicação de Resultados</b>	<b>138</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração tem sido considerada como uma atividade que provoca intensa degradação ambiental, assim como danos à saúde humana. Em geral, as opiniões são emitidas pela população vizinha a empreendimentos minerários e até mesmo pela imprensa, sem qualquer embasamento técnico-científico.

Os conceitos relativos ao tema “avaliação de riscos à saúde ambiental” foram discutidos por Faustman e Omenn (2001 apud Omenn, 2007) e Omenn e Faustman (2002 apud Omenn, 2007), os quais definem risco à saúde ambiental como “a caracterização científica sistemática dos potenciais efeitos adversos à saúde, decorrentes da exposição humana a agentes ou situações perigosas”.

No que se refere à definição de “saúde ambiental”, encontramos, em “Subsídios para Construção da Política Nacional de Saúde Ambiental” (BRASIL, 2007, p. 17):

O campo da saúde ambiental compreende a área da saúde pública, afeita ao conhecimento científico e à formulação de políticas públicas e às correspondentes intervenções (ações) relacionadas à interação entre a saúde humana e os fatores do meio ambiente natural e antrópico que a determinam, condicionam e influenciam, com vistas a melhorar a qualidade de vida do ser humano sob o ponto de vista da sustentabilidade.

Conforme entendimento acordado no I Seminário da Política Nacional de Saúde Ambiental, realizado em outubro de 2005, trata-se de um campo de práticas intersetoriais e transdisciplinares voltadas aos reflexos, na saúde humana, das relações ecogeossociais do homem com o ambiente, com vistas ao bem-estar, à qualidade de vida e à sustentabilidade, a fim de orientar políticas públicas formuladas com utilização do conhecimento disponível e com participação e controle social.

Assim, define-se “risco geológico à saúde ambiental” como a probabilidade de ocorrência de efeito adverso à saúde humana e ambiental, a partir da exposição de materiais e processos geológicos naturais ou antrópicos, como sedimento de corrente, solo, água, ar, gás e poluentes, em vista de seu conteúdo de elementos químicos, bem como vulcões, terremotos, deslizamentos e enchentes.

Exemplos de contaminação humana gerada por fatores ambientais e antrópicos são encontrados em vários países do mundo, como Argentina, Bangladesh e Chile (arsênio), China (selênio), Estados Unidos da América (iodo), dentre outros (Selinus, 2006). Destaca-se recente estudo efetuado por Figueiredo et al. (2010) na América do Sul sobre arsênio (As), cobre (Cu), flúor (F), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), selênio (Se), urânio-tório (U-Th) e geofagia.

No Brasil, registram-se pesquisas efetuadas por Carvalho et al. (1984), em Santo Amaro da Purificação (Bahia), para os elementos chumbo e cádmio; Matschullat et al. (2000), no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais), para arsênio; Paoliello (2002), Cunha (2003a) e Figueiredo (2005), no Vale do Ribeira (São Paulo/Paraná), para chumbo; Licht (2001) e Velasquez et al. (2006), respectivamente, nos municípios de Itambaracá (Paraná) e São Francisco (Minas Gerais), para flúor. Uma síntese de diversas pesquisas é apresentada por Silva et al. (2006).

A Geologia, nos últimos 10 anos, vem se destacando como importante instrumento de avaliação ambiental e de saúde pública, por meio de uma nova disciplina denominada Geologia Médica (Appleton et al., 1996; Cortecci, 2002; Dissanayake e Chandrajith, 2009; Finkelman et al., 2007; Licht, 2001; Selinus et al., 2005, 2010; Singh, 2004; Skinner e Berger, 2003), a qual pode ser descrita, em sentido amplo, como “o estudo das relações entre os fatores geológicos naturais e induzidos pelo homem e a saúde, visando ao bem-estar dos seres humanos e outros organismos vivos”.

Em sentido estrito, a Geologia Médica é uma “ciência” multidisciplinar que estuda as variações regionais na distribuição dos elementos químicos, principalmente os metálicos e metaloides, seu comportamento geológico-geoquímico, as contaminações naturais e antrópicas e os danos à saúde humana, animal e/ou vegetal por excesso ou deficiência.

A combinação dos conhecimentos oriundos das Ciências da Terra com aqueles provenientes da Medicina e das ciências da vida oferece a oportunidade de inúmeras aplicações e possibilidades para solução de questões concernentes à saúde. Essa integração de esforços pode melhorar a definição do problema, auxiliar nas estratégias de abordagem, definir e localizar, por exemplo, fontes de água potável, bem como desenvolver soluções econômicas baseadas em princípios geológicos que podem ajudar a minorar e, principalmente, prevenir sofrimento e doença (Silva, Figueiredo e Capitani, 2006).

A união proporcionada pela Geologia Médica entre geólogos e outros cientistas, como médicos, odontólogos, veterinários e biólogos, no esforço para resolver local e globalmente as questões de saúde, objetiva fortalecer e integrar pesquisas que possam reduzir as ameaças ambientais à saúde e ao bem-estar de humanos e animais (Silva, Figueiredo e Capitani, 2006).

Os seres vivos necessitam, para sua sobrevivência, de determinados elementos químicos, os quais são ingeridos, principalmente, através da água e dos alimentos. Para os humanos, são essenciais macronutrientes como cálcio (Ca), cloro (Cl), magnésio (Mg),

fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), oxigênio (O), hidrogênio (H), e de micronutrientes como cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), selênio (Se), vanádio (V), zinco (Zn), flúor (F), iodo (I), silício (Si). A carência e/ou o excesso desses elementos acarreta prejuízo à saúde. Os elementos alumínio (Al), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), tálio (Tl), chumbo (Pb), estanho (Sn), arsênio (As), antimônio (Sb) e radioativos são considerados tóxicos. Os demais carecem de estudos mais aprofundados.

As rochas, quando alteradas, liberam esses elementos, que são incorporados ao solo e levados às águas de subsuperfície ou transportados pela drenagem. O homem e os animais os ingerem via alimentos (as plantas assimilam os elementos disponíveis no solo), água e ar.

Dentre os trabalhos sobre avaliação de riscos em saúde ambiental, destacam-se: o manual orientativo para avaliação da saúde pública, da Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 1992); o artigo de Castilhos et al. (2003) que trata da avaliação de risco ambiental na recuperação de áreas degradadas na Região Carbonífera de Santa Catarina; o trabalho de Cunha (2004), que define etapas para estudos de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica, com base no estudo desenvolvido por Cunha (2003a) e na metodologia utilizada pela Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada às Áreas com Solo Contaminado do Ministério da Saúde (VIGISOLO/MS), a qual está fundamentada no método desenvolvido por ATSDR.

Na região do médio-baixo vale do ribeirão Piauí, afluente do rio Jequitinhonha, que abrange partes dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG), foram detectadas anomalias geoquímicas, onde se destacam o lítio, em sedimentos de corrente, e uma mina subterrânea de lítio encaixada em pegmatito litífero (Companhia Brasileira de Lítio (CBL)). Também ocorrem centenas de cavas antigas, relativas às remoções de solos e rochas na busca de gemas semipreciosas (Kahwage, 2000), que podem disponibilizar elementos químicos nocivos à saúde ambiental da região.

Tais informações despertaram o interesse para realização de uma pesquisa, objetivando verificar a disponibilidade de lítio no ambiente e a possibilidade de esse elemento estar causando algum tipo de dano à saúde da população residente e vizinha a essas mineralizações, devido ao seu papel estratégico e econômico e à sua importância na saúde de grande parte da população mundial.

Estudos apontam que a insuficiência desse elemento na dieta alimentar provoca distúrbios emocionais, como a depressão, podendo também estar associado a altas taxas de suicídios e homicídios. O lítio é amplamente utilizado na estabilização do humor das pessoas, principalmente no tratamento de distúrbio bipolar afetivo (psicose maníaco-depressiva).

No decorrer da investigação ora apresentada verificou-se que os teores de lítio (Li) nessa região (médias de 0,015 ppm nas águas, 78 ppm em solos e 33,7 ppm em sedimentos de corrente) não apresentam riscos à saúde humana (Opresko, 1995; Schauzer, 2002). Entretanto, valores anômalos de alumínio apontaram a necessidade de uma análise mais profunda sobre a possível influência desse elemento nas diversas interações ambientais locais.

Desse modo, as pesquisas foram direcionadas para o alumínio, verificando-se na literatura que o consumo em excesso desse metal pode provocar danos neurológicos e até a Doença de Alzheimer, segundo a maioria dos trabalhos pesquisados, além de efeitos músculo-esqueléticos, dor nas articulações e amolecimento dos ossos (ATSDR, 2006). Indivíduos que apresentam insuficiência renal podem armazenar grande quantidade de alumínio em vários órgãos do corpo, pois tal insuficiência provoca diminuição da excreção do alumínio pela urina, afetando, também, fígado, pulmões e ossos (osteoporose).

Além de conceitos e metodologias próprios de Geologia Médica, utilizaram-se nesta pesquisa instrumentos da Geologia, levantamentos geoquímicos (sedimentos, solos, águas e vegetais) e da Saúde, como exames biológicos (sangue) das populações residentes em parte da província mineral investigada.

## **2 OBJETIVOS**

Com esta pesquisa, objetivou-se, primordialmente, proceder à avaliação do risco geológico à exposição de elementos químicos à saúde ambiental em parte da província mineral denominada Distrito Lítio-Estanífero de Araçuaí-Itinga (MG), onde ocorrem, há muitos anos, atividades extrativas de diversos minerais por empresas de mineração e garimpagem.

Teve-se, ainda, como objetivos específicos, avaliar a disponibilidade de elementos químicos, principalmente alumínio e outros metais, em sedimentos de corrente, solos e águas de drenagem e abastecimento, bem como proceder a exames toxicológicos nas populações residentes nas áreas investigadas ou a elas vizinhas, suspeitas de se encontrarem sob risco geológico, seja natural ou relacionado às atividades minerárias e/ou garimpeiras.

### 3 ALUMÍNIO

O alumínio é um elemento químico considerado tóxico à maioria dos organismos (Plant et al., 2001), principalmente para o ser humano (ATSDR, 2008; CAH, 2006; Flaten, 2001; Flaten et al., 1996; Jeronymo e Fujimura, 1998; Martin et al., 1989; Suay e Ballester, 2002). Ocorre de forma natural nas águas, solos e alimentos, podendo ser inalado nas indústrias de abrasivos (Capitani, 1996) e provocar sérios danos ao pulmão. Também é possível a exposição por meio da ingestão de medicamentos, principalmente os antiácidos.

Estudos em regiões brasileiras apontaram valores elevados de Al em águas de origem natural, como, por exemplo, na porção oriental do estado do Pará e no estado do Ceará, assim como em águas subterrâneas na cidade de Ribeirão Preto (SP) (Devecchi et al., 2006; Frizzo, 2006; Macambira e Viglio, 2006). Devido à grande variedade de rochas aluminosas (geodiversidade) no Brasil, associada ao clima tropical (intensificando o intemperismo) e à baixa mobilidade desse elemento, provavelmente águas, solos e alimentos em grande parte do país estejam enriquecidos por alumínio.

#### 3.1 Propriedades do Alumínio

O alumínio é um elemento químico de símbolo **Al**, de número atômico **13** (13 prótons e 13 elétrons), com massa atômica **27 u**. Em temperatura ambiente é sólido, sendo o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre. Sua leveza, condutividade elétrica, resistência à corrosão e baixo ponto de fusão lhe conferem uma multiplicidade de aplicações, especialmente nas soluções de engenharia aeronáutica. Entretanto, mesmo com o baixo custo para a sua reciclagem – o que aumenta sua vida útil e a estabilidade de seu valor –, a elevada quantidade de energia necessária para a sua obtenção reduz sobremaneira o seu campo de aplicação, além das implicações ecológicas negativas no rejeito dos subprodutos do processo de reciclagem ou mesmo de produção do alumínio primário.

Sua densidade é aproximadamente um terço da do aço ou cobre. É muito maleável, muito dúctil, apto para a mecanização e fundição, além de excelente resistência à corrosão e durabilidade, devido à camada protetora de óxido. É o segundo metal mais maleável (o ouro é o primeiro) e o sexto mais dúctil. Por ser bom condutor de calor, é bastante utilizado em panelas de cozinha.

O alumínio ocorre em dezenas de minerais, dentre os quais se destacam bauxita (minério), alunita, andaluzita, berilo, biotita, cianita, cordierita, espodumênio, estauroлита, muscovita, feldspato e silimanita, e como hidróxido de Al em vários tipos de argila.

O alumínio e seus sais são utilizados no tratamento da água, como aditivo alimentar, na fabricação de latas, telhas, papel-alumínio, indústria farmacêutica etc. O alumínio atinge a atmosfera como particulado, derivado de poeiras dos solos, e por erosão, originado da combustão do carvão.

### 3.2 Alumínio na Água

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)<sup>1</sup>, na água o alumínio pode ocorrer em diferentes formas, sendo influenciado por pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. As concentrações de alumínio dissolvido em águas com pH neutro variam de 0,001 a 0,05 mg/L, mas aumentam para 0,5-1 mg/L em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica.

Em águas com extrema acidez, afetadas por descargas de mineração, as concentrações de alumínio dissolvido podem ser maiores que 90 mg/L. Na água potável, os níveis do metal variam de acordo com a fonte de água e com os coagulantes à base de alumínio que são usados no tratamento da água. Estudos norte-americanos mostraram que as concentrações de alumínio na água tratada com coagulante variaram de 0,01 a 1,3 mg/L, com uma concentração média de 0,16 mg/L. O alumínio deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação, e consequente anaerobiose, não for muito forte, o teor de alumínio diminui no corpo de água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado ao período de chuvas e, portanto, à alta turbidez. Outro aspecto da química do alumínio é sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas. Nessa forma, ele é extremamente tóxico à vegetação e pode ser escoado para os corpos d'água.

A principal via de exposição humana não ocupacional é pela ingestão de alimentos e água. Não há indicações de que o alumínio apresente toxicidade aguda por via oral, apesar de ampla ocorrência em alimentos, água potável e medicamentos. Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 maio 2010.

Segundo estudos divulgados por WHO (1997), através do consumo diário de 1,5 litros de água potável, contendo 100 µg de alumínio/litro, o corpo humano absorve cerca de 3% desse alumínio, quantidade relativamente menor que a absorvida por meio de alimentos e uso frequente de antiácidos.

A Portaria 518 do Ministério da Saúde estabelece o valor máximo permitido de alumínio de 0,200 mg/L como padrão de aceitação para água de consumo humano.

### 3.3 Alumínio no Solo<sup>2</sup>

Quando o solo é muito ácido, o alumínio que está preso nos minerais da argila dissolve-se no solo como partículas tóxicas e eletricamente carregadas (íons), tornando difícil o crescimento da maioria das plantas. A toxicidade do alumínio em solos ácidos limita a produção de grama e grãos em mais da metade das terras agricultáveis na África, Ásia e América do Sul.

O alumínio ( $Al^{+3}$ ) solúvel em excesso é tóxico às plantas. Uma quantidade pequena de  $Al^{+3}$  em solução no solo já é suficiente para causar danos às plantas. As gramíneas não conseguem tolerar mais do que 1,0 ppm de  $Al^{+3}$  em solução e, geralmente, sofrem problemas quando o nível é de 0,5 ppm. O problema mais comum é o atrofiamento do crescimento das raízes da planta. Com 0,5 ppm, o sistema radicular pode atrofiar em até mais de 50%, comparado ao solo sem alumínio solúvel presente.

Outros sintomas da toxicidade do  $Al^{+3}$  no solo são:

- Redução da disponibilidade do fósforo, pela formação de componentes Al-P.
- Redução da disponibilidade de enxofre, pela formação de componentes Al-S.
- Redução da disponibilidade de outros nutrientes cátions, pela interação competitiva.

Fisiologicamente, acredita-se que o  $Al^{+3}$  cause impacto no metabolismo de fosfatos/nucleotídeos, na estrutura e função das paredes das células, na membrana transportadora, entre outros.

O alumínio solúvel no solo é um sério problema em solos com pH abaixo de 5. Entre 5 e 5,5, o alumínio solúvel provavelmente causará problemas, mas estes não serão tão severos. Em geral, o  $Al^{+3}$  é mais severo em pH abaixo de 5,5 em solos com baixa saturação de base e com baixo nível ou deficiência de cálcio e magnésio.

<sup>2</sup> Disponível em: <[http://globalrelva.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=297:soil-aluminum&catid=108:soils&Itemid=117](http://globalrelva.org/index.php?option=com_content&view=article&id=297:soil-aluminum&catid=108:soils&Itemid=117)>. Acesso em: 10 maio 2010.

A disponibilidade de  $Al^{+3}$  no solo não é totalmente compreendida. Apesar disso, o aumento de pH do solo, a quantidade total de  $Al^{+3}$  em determinado tipo de solo, a quantidade e o tipo de argila associados à matéria orgânica no solo são fatores que diminuem a sua disponibilidade.

A calagem (adição de cálcio e magnésio) é a prática mais comumente recomendada para solos com alto nível de alumínio solúvel. Com o uso da calagem busca-se aumentar o pH do solo para que o alumínio solúvel não esteja presente. Em gramados estabelecidos, a calagem é feita apenas na superfície do solo e afeta poucos centímetros superiores. Se houver  $Al^{+3}$  solúvel a ser combatido mais profundamente no solo, uma opção é a aplicação de gesso ( $CaSO_4$ ). O gesso não é um agente de calagem e não pode neutralizar o ácido, mas o cálcio aplicado como gesso é um cátion competitivo ao  $Al^{+3}$ , que pode permitir a lixiviação do  $Al^{+3}$  para camadas mais profundas do solo, desde que água suficiente atravesse a zona radicular.

Segundo Smith (1995), dados toxicológicos da Agricultura e Medicina sugerem que a forma mais tóxica de Al é o metal livre ( $Al^{3+}$ ), o qual somente existe em solução ácida abaixo de pH 4. Acima desse pH, a toxicidade do Al é geralmente mediada pela presença de “ligantes”, como flureto ( $F^-$ ), sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), fosfato ( $HPO_4^-$   $CaAl_4$ ), hidróxido ( $OH^-$ ), sílica ( $SiO_2$ ) e carbono orgânico dissolvido (COD), nos quais formam complexos estáveis. Deficiências de Ca e P em solos tropicais podem aumentar a toxicidade de Al nas águas que percolam esses terrenos, sejam superficiais ou subterrâneas.

Os órgãos de Saúde e Meio Ambiente ainda não disponibilizaram valores de referência de alumínio em solos que possam ser nocivos à saúde ambiental.

### 3.4 Alumínio em Alimentos

Segundo WHO (1997), a exposição não ocupacional humana ao alumínio no meio ambiente se dá, principalmente, por meio da ingestão de alimento e água. Destes, o alimento é o principal contribuinte. A ingestão diária de alumínio a partir de alimentos e bebidas em adultos varia entre 2,5 e 13 mg, isto é, entre 90 e 95% da ingestão total. Em algumas circunstâncias, como exposição ocupacional e uso de antiácido, os níveis de exposição são muito maiores. Por exemplo: quantidades maiores que 500 mg de alumínio podem ser consumidas em dois comprimidos de antiácido de tamanho médio.

O Al está presente naturalmente na maioria dos alimentos em níveis menores que 5 mg/kg. Vegetais e saladas contêm cerca de 5 a 10 mg.kg<sup>-1</sup>, enquanto alguns condimentos desidratados e folhas de chá apresentam teores de dezenas ou centenas de ppm de alumínio (Dantas et al., 2007).

Entretanto, é nos aditivos alimentares que se encontram as maiores concentrações de Al. Na preparação industrial da soja como bebida foram encontrados valores elevados variando de 4-6 mg/L (CFS, 2009).

Aditivos alimentares contendo alumínio têm sido utilizados no processamento de alimentos há mais de um século, como agentes de endurecimento, estabilizadores, antifermentantes, corantes etc. Parte destes está autorizada a ser utilizada nos alimentos em muitos países, como Estados Unidos da América (EUA), União Europeia (UE), Austrália, Nova Zelândia, Japão, China Continental etc.

A seguir, alguns exemplos do uso de alumínio como aditivo em alimentos (CFS, 2009):

- Sulfato de alumínio e sódio e fosfato de alumínio e sódio: usados como agentes de crescimento, sendo ingredientes comuns em fermento em pó, que, por sua vez, é usado em produtos de padaria (pão, bolo etc.); seus níveis de uso podem variar de 21% a 26% nos fermentos em pó.
- Sulfato de alumínio e potássio: usado como agente de endurecimento durante o processamento de água-viva e picles.
- Fosfato de alumínio e sódio básico: utilizado como emulsificante do queijo fundido.
- Aluminossilicato de sódio: usado como agente antifermentante nas misturas de produtos de laticínios e bebidas.
- Alumínio em pó e sais de alumínio: utilizados como corantes na decoração e revestimentos de produtos e confeitaria.

- O alumínio presente no ar e nos produtos cosméticos e de higiene constitui fonte menor de exposição. Medicamentos contendo alumínio, como antiácidos, aglutinantes de fosfato e analgésicos podem levar à exposição a longo prazo. Para um indivíduo que ingere, regularmente, por longo prazo, medicamentos contendo alumínio, a exposição ao alumínio pode ser maior que a dos alimentos.

O Comitê da FAO/WHO (2006) concluiu que os compostos de alumínio utilizados em alimentos têm potencial para afetar o sistema reprodutivo e o desenvolvimento do sistema nervoso. A ingestão tolerável semanal provisória (Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI)) de Al é de 1 mg/kg de peso corporal. Ressalta-se que esse valor é suscetível de ser ultrapassado em grande medida por alguns grupos da população, especialmente crianças, que consomem regularmente alimentos que incluem alumínio nos aditivos. O Comitê observou que há uma exposição alimentar ao alumínio muito alta em bebês, quando estes têm por alimentação básica a soja e seus derivados.

Dantas et al. (2007), ao avaliarem a ocorrência de migração significativa de alumínio proveniente de utensílios domésticos, durante o preparo de alimentos, estudaram sete tipos de alimentos com preparos diferenciados e três tipos de panela (caçarola, de pressão e frigideira), nas versões sem e com revestimento (teflon). A análise do metal foi realizada em espectrômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado. Os resultados demonstraram transferência desprezível do Al para alguns alimentos, sendo que a maior transferência ocorreu no preparo de molho de tomate (baixo valor de pH) na panela sem revestimento. Um cardápio preparado com todos esses alimentos para as duas refeições diárias mostrou que a massa de Al (1,05 mg) incorporada pelo alimento corresponde a 2% do limite de ingestão diária de Al ( $1 \text{ mg/kg}^{-1}$  de peso corporal/dia), considerando-se um indivíduo de 60 kg. Assim, conclui-se que o uso de panelas de alumínio no preparo de alimentos praticamente não interfere na ingestão total do elemento para o ser humano.

A concentração natural de alumínio nos alimentos geralmente é baixa, da ordem de  $5 \text{ mg.kg}^{-1}$ , embora alguns aditivos contenham altas concentrações desse elemento, aumentando, portanto, o teor final no produto processado.

### 3.5 Alumínio e Saúde

Segundo Santos (2009), no organismo dos seres humanos os elementos-traço podem ser divididos em essenciais e não essenciais. Os primeiros são fundamentais para o desenvolvimento e a manutenção da vida, devido à sua participação em diversos processos bioquímicos. Sua deficiência ou ausência na dieta alimentar ocasiona patologias carenciais; por outro lado, o excesso desses elementos pode causar efeitos tóxicos ao organismo. Já os elementos-traço não essenciais são aqueles que não apresentam finalidade definida e causam efeitos tóxicos no organismo.

Os elementos não essenciais, como o alumínio, são aqueles que não participam do metabolismo humano e podem causar sérios danos à saúde. Os danos variam de acordo com modo, quantidade, grau de exposição, estado nutricional, metabolismo individual e capacidade de desintoxicação. Os mecanismos de toxicidade são múltiplos e incluem: inibição de enzimas e/ou cofatores, interferência na estrutura da função neuronal ou dos processos de condução nervosa, interferência na estrutura e função de proteínas e ácidos nucleicos e aumento da formação de radicais livres (Santos, 2009).

Objetivando localizar valores de referência de alumínio relativos a materiais naturais como sedimentos, solos, água e hortaliças, efetuou-se pesquisa em publicações de órgãos oficiais para a saúde humana. Entretanto, apenas foi encontrado valor de referência para água potável (menor que 0,200 mg/L). Para alimentos, os valores indicadores são variáveis. Entretanto, na Internet (por exemplo: <<http://www.medicinageriatrica.com.br>>), é informado que os valores normais de Al em vegetais situam-se entre 5-9,5 mg/kg, próximo ao limite de 10 mg/dia de Al estipulado por FAO/WHO (2006).

Além da falta de indicadores oficiais, a toxicidade do alumínio tem gerado muitas discussões ao longo dos últimos 50 anos. Entretanto, nas últimas décadas, o alumínio vem sendo considerado não essencial e tóxico, embora ainda haja carência de estudos aprofundados de seu real papel nos órgãos humanos.

Em 1997, a WHO descreve que há riscos de problemas neurológicos em animais devido à exposição ao alumínio. Entretanto, não foi demonstrado se há risco para a saúde humana à exposição não ocupacional ao alumínio. Afirma, ainda, que não há evidência de o alumínio ser o principal causador da Doença de Alzheimer (AD) e que não induz essa patologia *in vivo* em qualquer espécie, incluindo a humana. A hipótese de que a exposição a níveis elevados de

alumínio em água potável, em população idosa, em algumas regiões da Europa, possa agravar ou acelerar a Doença de Alzheimer, não tem ainda comprovação.

Segundo ATSDR (2008), cerca de 30% dos locais nos Estados Unidos da América, identificados como os mais graves em conteúdo de resíduos perigosos, contêm alumínio por vezes associado a compostos como oxigênio, silício, enxofre ou fósforo. A exposição a essas substâncias em altos níveis pode causar danos à saúde. O alumínio é um elemento abundante e amplamente distribuído, sendo encontrado na maioria das rochas, solo, água, ar e alimentos. Quando ocorre exposição ao alumínio, muitos fatores devem ser considerados para determinar o dano. Dentre estes, incluem-se a dose (quantidade), a duração (quanto tempo) e a forma de contato. Deve-se também considerar: idade, sexo, dieta alimentar, características familiares, estilo de vida e estado de saúde.

Embora alguns estudos (ATSDR, 2008) mostrem que níveis elevados de alumínio podem causar o desenvolvimento da Doença de Alzheimer, outros não encontraram evidências para confirmar tal fato. Assim, os órgãos oficiais de saúde pública fazem somente o alerta da possibilidade de ocorrência desse mal.

Apesar de o alumínio contido em produtos farmacêuticos ser ingerido por indivíduos saudáveis em doses recomendadas, alguns efeitos adversos foram observados após uso prolongado. Problemas neurológicos e ósseos causados por níveis elevados de alumínio no organismo têm sido observados em crianças com insuficiência renal. Naquelas que tomam medicamentos contendo alumínio foram detectados danos nos ossos (ATSDR, 2008).

Clinical and Analytical Handbook (CAH, 2006) descrevem que o alumínio primário, depois de ingerido, é transportado junto à transferrina no sangue e a sua medida no plasma fornece o único meio razoável de avaliar a carga total desse elemento no corpo. Estabelecem, para pacientes com insuficiência renal, os seguintes valores de Al no plasma:

- < 10 µg/L: para pessoas sem histórico de insuficiência renal;
- < 60 µg/L: apresenta baixo risco de toxicidade em pacientes com insuficiência renal;
- > 60 µg/L: constitui excessiva acumulação, apresentando risco de toxicidade em crianças;
- > 100 µg/L: é motivo de preocupação, apresentando alto risco em crianças;
- > 200 µg/L: alto risco de toxicidade em todos os pacientes.

Por outro lado, utilizaram-se também como referência nesta pesquisa os dados disponibilizados por ATSDR (2008), que assinalam que a quantidade normal de Al no plasma é de 1 a 3 µg/L no corpo humano.

No Brasil, poucos estudos foram realizados sobre a toxicologia do Al. Dentre eles, destacamos o de Jeronymo e Fujimura (1998), que apresentam a quantificação de alumínio em amostras de plasma de indivíduos normais e de pacientes com insuficiência renal crônica com e sem tratamento dialítico. Em todos os 26 indivíduos normais, a concentração sérica de alumínio estava abaixo de 10 µg/L. Do total de pacientes com insuficiência renal sem tratamento dialítico, 33% apresentavam alumínio sérico entre 11 e 17 µg/L. Entre os pacientes mantidos em diálise, somente dois (4%) apresentavam níveis abaixo de 10 µg/L; 21 (46%), entre 11 e 30 µg/L; 16 (35%), entre 31 e 60 µg/L; e 7 (15%), acima de 60 µg/L.

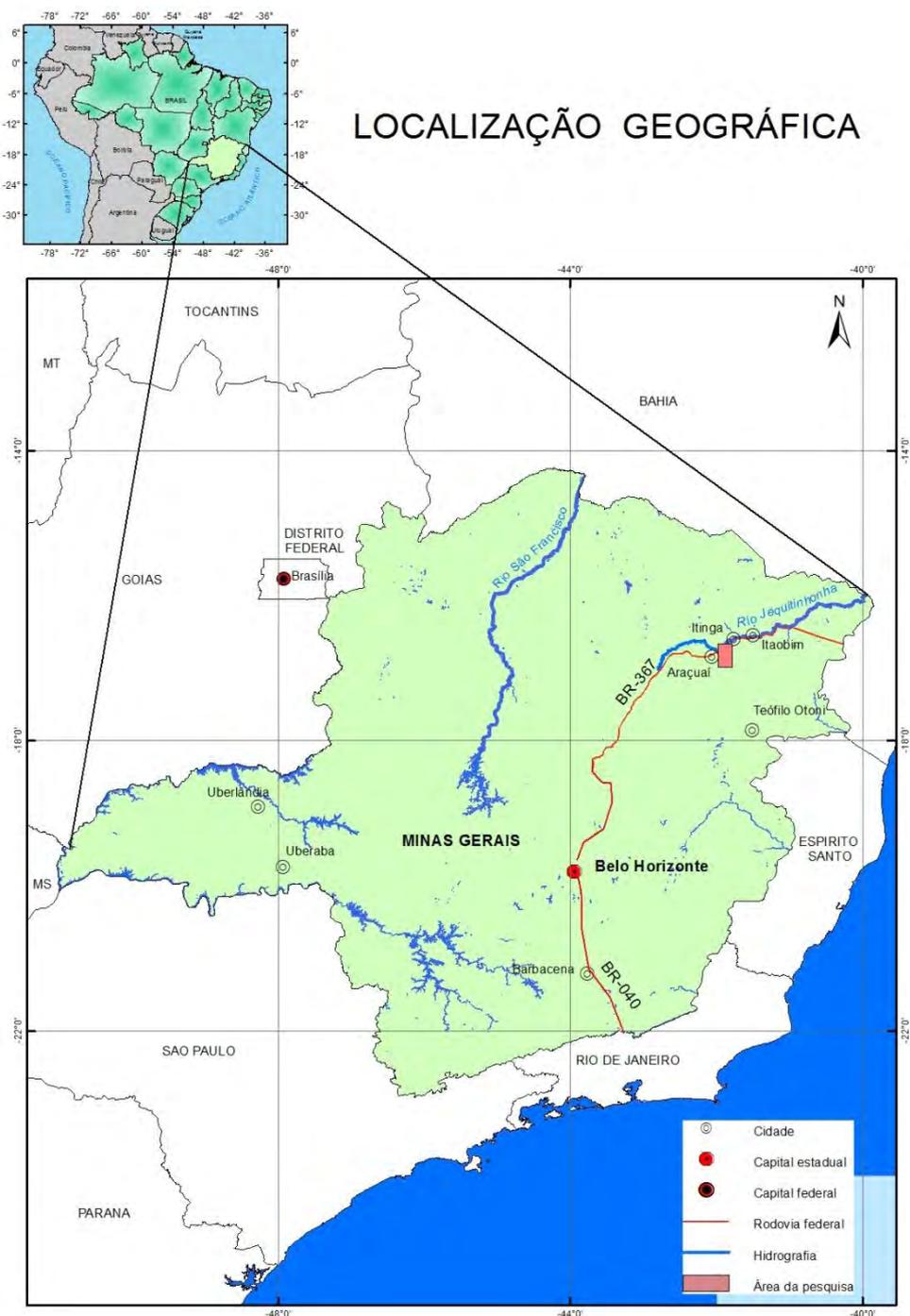
Segundo esses autores, os limites biológicos para população não exposta não estão bem estabelecidos, mas os valores de referência propostos por eles em sua pesquisa são: Al no plasma: < 10 µg/L; na urina: < 50 µg/g creatinina.

Ainda segundo Jeronymo e Fujimura (1998), a Resolução 86/C104/04, da Comissão Europeia, recomenda, para proteção de pacientes em tratamento de hemodiálise, os seguintes valores de referência de Al: em água potável: < 200 µg/L; na solução de diálise: < 10 µg/L; no plasma: os valores são seguros até 60 µg/L, indica acúmulo de Al entre 60-100 µg/L e não pode exceder a 200 µg/L.

Capitani (1996) apresenta extenso estudo clínico e epidemiológico de trabalhadores expostos a poeiras de abrasivos de tipo corindon (óxido de alumínio) de uma indústria de abrasivos no estado de São Paulo. Os resultados apontaram que o setor da empresa considerado de maior risco foi o de moagem e seleção (peneiramento), onde 69,4% dos casos foram diagnosticados como pneumoconiose por poeira mista de óxido de alumínio e sílica livre. Essa poeira acarreta perda da capacidade pulmonar e pode levar à morte, dependendo do tempo de inalação.

#### 4 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA, GEOLÓGICA E SOCIOECONÔMICA

A área investigada, com dimensões de 600 km<sup>2</sup>, abrange a bacia do médio-baixo ribeirão Piauí, afluente da margem direita do rio Jequitinhonha, e está localizada nos limites dos municípios de Araçuaí e Itinga, nordeste do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1).



**Figura 1** – Localização da área de pesquisa: porção nordeste do estado de Minas Gerais, municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

O município de Araçuaí localiza-se na porção nordeste de Minas Gerais, a 678 km de Belo Horizonte, 390 km de Governador Valadares, 197 km de Teófilo Otoni e 40 km de Itinga. Tem como cidades-limites: Virgem da Lapa, Coronel Murta, Itinga, Ponto dos Volantes, Padre Paraíso, Carai e Novo Cruzeiro. Apresenta uma área de 2.235 km<sup>2</sup>, ocupada por uma população de 36.478 habitantes, sendo 43% da área rural. O município de Itinga tem 13.981 habitantes, com 59% da população residindo na zona rural.

A região tem duas estações climáticas bem definidas – uma de seca intensa no inverno e outra chuvosa, no verão, do tipo semiárido –, com precipitações médias anuais entre 600 e 800 mm, chuvas concentradas entre novembro e janeiro, ultrapassando 100 mm/mês. No restante do ano, as precipitações não alcançam 60 mm/mês, com média abaixo de 10 mm/mês de julho a setembro. O índice de umidade do solo se situa entre -20 e -40, com forte deficiência hídrica por, no mínimo, oito meses ao ano. A temperatura média anual é de 24,4°C: média máxima de 31,1°C e mínima de 19,3°C.

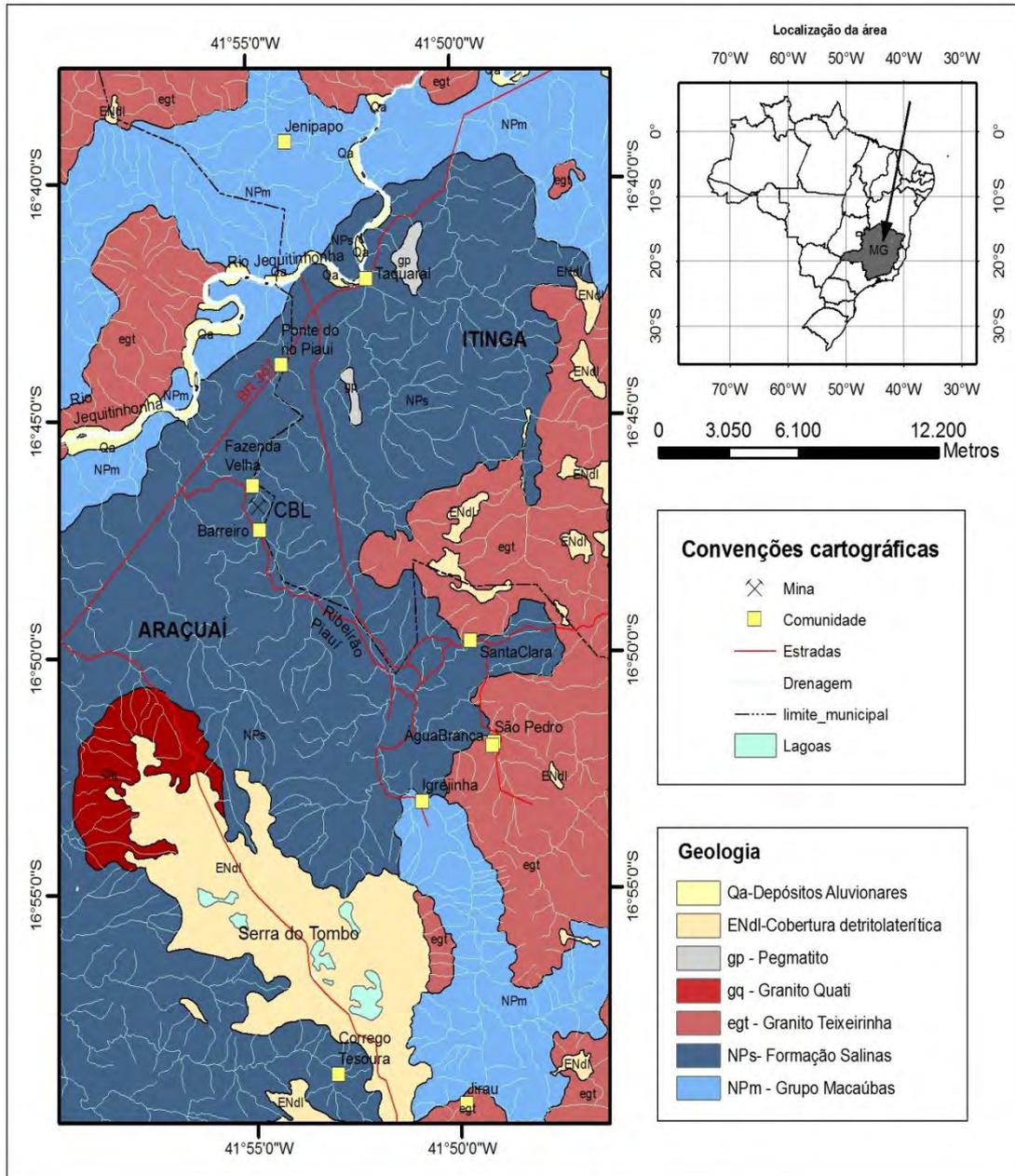
Somente a comunidade Taquaral, situada na margem direita da Rodovia BR-367, no município de Itinga, é abastecida por água tratada. As demais comunidades não são atendidas pelo poder público, ingerindo, em geral, as águas dos afluentes do rio Jequitinhonha.

Os solos são do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, provavelmente originados dos granitos, e Argissolo Vermelho, associados aos metassedimentos. Subordinadamente, ocorrem Cambissolos Flúvicos e Planossolos, relacionados às aluviões do rio Jequitinhonha, e Neossolos Litólicos, vinculados às rochas graníticas. Os Latossolos que ocorrem nas chapadas referem-se às coberturas detritolateríticas.

O relevo da área de estudo assemelha-se a um anfiteatro, com alongamento maior na direção N-S. Tal conformação é sustentada por granitos de superfícies aplainadas que atingem a cota de 850 m. Em geral, a parte baixa (vale) desse anfiteatro é constituída por rochas metassedimentares dispostas na cota em torno de 300 m. As drenagens nascem nas porções mais elevadas (granitos) e deságuam no ribeirão Piauí, que corta toda a área, de sul para norte, principalmente os metassedimentos, até o rio Jequitinhonha.

A área encontra-se inserida no Orógeno Araçuaí (Almeida, 1977; Pedrosa-Soares e Wiedemann, 2000; Pedrosa-Soares et al., 2001). Sua geologia é representada por metassedimentos neoproterozoicos do Grupo Macaúbas e Formação Salinas (Paes et al., 2009), cortados por granitoides brasileiros sin- a tardi-tectônicos.

Sobrepostas a esses metassedimentos e granitos ocorrem delgadas camadas de arenitos terciários, coberturas detritolateríticas do Tércio-Quaternário e aluviões recentes (Figura 2).



**Figura 2** – Mapa geológico da região de Araçuaí-Itinga e localização das comunidades rurais.

Fonte: Simplificado de Paes et al. (2009).

Segundo Paes et al. (2009), os componentes litológicos associados ao Grupo Macaúbas que ocorrem nas porções norte e sul da área estudada são mica-quartzo-xisto, de coloração cinza e granulação fina a média, e gnaisses com fino bandamento, compostos por k-feldspato, silimanita, plagioclásio e muscovita. Os minerais andaluzita, turmalina-negra e cordierita são comuns em mica-quartzo-xistos e gnaisses; São metamorfizados sob condições de fácies anfíbolito e, localizadamente, evoluem para migmatitos. Também são observadas intercalações de calcissilicáticas e quartzitos. A datação de U-Pb de zircão detrítico indica 950 Ma como idade de sedimentação dessa unidade em um estágio de rifte continental (Pedrosa-Soares et al., 2001).

Na área de estudo, a Formação Salinas é representada, segundo Paes et al. (2009), por biotita-quartzo-xisto de granulação fina e coloração escura, mosqueado, com frequentes minerais de andaluzita, cordierita, mica branca/muscovita e turmalina. A cordierita encontra-se fortemente estirada sob a forma sigmoidal (Figuras 3 e 4). Apresenta bandamento composicional de espessuras milimétricas a centimétricas, paralelo a uma xistosidade com orientação geral N 50° E/65° NW. O período de sedimentação dessa formação foi ao redor de 800 Ma, em estágio de margem continental passiva (Pedrosa-Soares et al., 2001).



**Figura 3** – *Biotita-quartzo-xisto milonitizado.*



**Figura 4** – *Biotita-quartzo-xisto com porfiroblastos centimétricos de cordierita.*

Segundo Pedrosa-Soares et al. (2001, 2009), a granitogênese do Orógeno Araçuaí desenvolveu-se em arco magmático entre 630-490 Ma, sendo composta por cinco supersuítas granitoides. Na área ocorre a supersuíte G4, representada por biotita-granitos associados a pegmatitos e contendo mineralizações de turmalina, espodumênio e petalita, do tipo S, peraluminosos, com idades de  $535 \pm 8$  Ma em Pb-Pb. São considerados pós-colisionais. Na área em estudo ocorrem dois corpos graníticos dessa suíte: granitos Teixeira e Quati.

Na porção leste da área ocorre a fácies monzogranítica ( $523 \pm 19$  Ma, U/Pb zircão) do Granito Teixeira, de coloração clara e granulação média. Essa fácies é composta por quartzo, k-feldspato e biotita e contém, como acessórios, apatita, turmalina e granada. As rochas dessa fácies são, em geral, isotrópicas, podendo apresentar tênue foliação nas bordas (Paes et al., 2009; Perillo, 1995); frequentemente, tais rochas se apresentam cortadas por veios pegmatíticos.

Sustentando a serra do Tombo, na porção sudoeste da área, ocorre o Granito Quati (Paes et al., 2009), de coloração cinza-claro, que apresenta textura porfírica marcada pela presença de fenocristais centimétricos de k-feldspato imersos em matriz de granulação média constituída por quartzo, feldspato e biotita. Apresenta incipiente foliação nas bordas (Figuras 5 e 6).



**Figura 5** – *Vista panorâmica, ao fundo, do granito Quati.*



**Figura 6** – *Detalhe do granito Quati, com fenocristais zonados em matriz constituída por quartzo, feldspato e biotita.*

No centro-norte da área ocorrem dois expressivos corpos denominados Pegmatitos do Córrego Taquaral, com dimensões de 2,5 x 0,07 km, alongados na direção N-S e constituídos por feldspato (microclina, albita), espodumênio, quartzo e muscovita. Berilo e turmalina-negra (afrisita) são comuns; mais raramente, observa-se biotita.

Sobrepostos aos granitos, principalmente nas bordas, ocorrem pequenos afloramentos da Formação Serra do Tombo, de idade cretácea, constituída de brechas de talude e rochas piroclásticas (tufos e lapíli-tufos) félsicas. Acima desta têm-se coberturas detritolateríticas constituídas por Latossolos arenoargilosos, parcialmente laterizados, formando uma superfície

de aplainamento relacionada ao Ciclo Sul-Americano (Paes et al., 2009). Finalmente, nas margens do rio Jequitinhonha e ribeirão Piauí, ocorrem aluviões recentes.

A área objeto desta pesquisa encontra-se inserida no Distrito Lítio-Estanífero de Araçuaí-Itinga, integrante da Província Pegmatítica Oriental (Paiva, 1946; Sá, 1977). Segundo Bizzi et al. (2003), esse distrito é caracterizado por pegmatitos zonados, encaixados em biotita-andaluzita-cianita-estaurolita-xistos da Formação Salinas, e em granitos pós-colisionais, do tipo S, alcalinos, de tendência potássica, originados por fusão crustal ao fim do Ciclo Brasileiro (555 Ma).

Dentre as várias ocorrências minerais da área de estudo destaca-se a Pedreira Tomazine, que se encontra em processo de lavra de pegmatito para rocha ornamental. Blocos com dimensões de 4,5 e 8 m<sup>3</sup> são transportados para o Porto de Vitória (Espírito Santo) e exportados para a Europa (Figuras 7 e 8). O pegmatito apresenta espessura de 4 m e extensão visível de 60 m (Figura 9), encaixado de forma concordante com o biotita-quartzo-xisto do Complexo Salinas, coloração escura e granulação fina, com *augens* com espessura milimétrica e extensão centimétrica de biotita, com foliação N 20° W/22° NE.



**Figura 7** – Blocos de pegmatito constituído por *k-feldspato*, *quartzo*, *muscovita*, *albita* e *turmalina-negra* (Pedreira Tomazine).



**Figura 8** – Detalhe do pegmatito apresentado na figura anterior.



**Figura 9** – A rocha de coloração escura é constituída por biotita-quartzo-andaluzita-xisto (milonito); a rocha de coloração clara é um pegmatito (Pedreira Tomazine).

Destaca-se, também, a mina de lítio Cachoeira, pertencente à Companhia Brasileira de Lítio (CBL), que congrega 300 funcionários, com produção de 6 mil t/ano de minério (pegmatito) com 22% de espodumênio, este contendo 1,2% de  $\text{Li}_2\text{O}$ . A CBL utiliza o sistema de flotação para beneficiar o minério. Em Divisa Alegre, encontra-se a planta química da CBL, que disponibiliza os produtos finais LiCa (cerâmica, vidro, farmácia) e LiOH (lubrificantes).

O corpo de minério denominado 1C1 foi visto em vários níveis topográficos dentro das galerias, o qual tem sido lavrado até a profundidade de 100 m. Mostrou-se, em geral, concordante e, por vezes, discordante da foliação da encaixante xistosa ao se alojar em sistema de clivagem de fratura NE e ângulos de mergulho sub-horizontais a subverticais (Romeiro, 1998; Romeiro e Pedrosa-Soares, 2005). O pegmatito apresenta-se de forma tabular e descontínua, sendo constituído, principalmente, por k-feldspato, quartzo, espodumênio e muscovita. O espodumênio apresenta coloração esverdeada e granulação grossa, atingindo, por vezes, dimensões métricas (Figuras 10 e 11).



**Figura 10** – Corpo de minério pegmatítico 1C1, de coloração clara, concordante com a encaixante biotita-quartzo-xisto de coloração escura, dentro da galeria.



**Figura 11** – Amostra de espodumênio de coloração esverdeada; na cor clara, predomina o quartzo.

Em recente estudo, Paes et al. (2009) descrevem que a região é amplamente conhecida devido a seus baixos indicadores sociais e características semelhantes às do sertão nordestino. Por outro lado, é detentora de exuberante beleza natural e riqueza cultural, com traços remanescentes das culturas indígena e negra. A agricultura e a agropecuária familiar ainda são importantes atividades na maioria dos municípios, acrescidas pela atividade ceramista artesanal, meio de sobrevivência ou forma adicional de suprir o orçamento doméstico durante os longos períodos de seca ou entressafra agrícola.

Atualmente, a mineração tem pouca contribuição, com extração de grafita, lítio e granito para rocha ornamental. Destaca-se, ainda, a lavra de materiais de construção, onde a argila é extraída para fabricação de cerâmica vermelha, servindo, também, de base ao artesanato.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo geológico-geoquímico visa a determinar a abundância e a dispersão dos elementos químicos que possam ser utilizados como indicadores de contaminação natural ou antrópica. Por outro lado, a presença abundante de minerais considerados tóxicos na natureza ou relacionados à poluição provocada pelo homem pode influenciar a saúde da população que a eles esteja exposta.

Associados aos levantamentos geoquímicos, em determinadas situações outros atributos da Geologia são fundamentais para determinar a origem de problemas, como tipo de rocha, sequência estratigráfica, estrutural etc., pois a contaminação pode estar associada a veios mineralizados (As, Pb, Cd etc.), a certas direções preferenciais de fraturas ou a água pode apresentar variações em seu conteúdo original por causa do rebaixamento do nível da água de aquíferos, passando a ter contato com rochas subjacentes, as quais podem conter elementos químicos nocivos antes não detectados.

As mineralizações, principalmente de metálicos, podem ocasionar graus diferenciados de contaminação ao meio ambiente, a depender não somente dos teores primários dos elementos, como também da interação das rochas com diversos fatores do meio físico, tais como: dinâmica do fluxo de água subterrânea, características dos sistemas hidrológicos, formas de relevo e sua história evolutiva, condições climáticas, dentre outras.

Sabendo-se que a contaminação natural pode ser potencializada durante a exploração de corpos mineralizados, impõe-se a execução de estudos geoquímicos, a fim de se identificar o comportamento de elementos e substâncias, de modo a prevenir e/ou controlar os seus prováveis efeitos prejudiciais ao ecossistema.

Nesse sentido, o levantamento geoquímico, baseado na análise quantitativa em sedimentos de corrente, águas e solos, possibilita determinar a carência e o enriquecimento dos elementos no meio ambiente, ressaltando as possíveis contaminações em áreas mineralizadas prejudiciais à saúde das comunidades mineiro-garimpeiras e circunvizinhas. As características hidroquímicas obtidas pela análise das águas superficiais e subterrâneas que circulam em determinados tipos de rochas e o estudo da potabilidade das águas para consumo humano completariam o quadro de beneficiamento social.

O entendimento do comportamento dos elementos maiores e elementos-traços no ambiente mineralizado é fundamental para ampliação do conhecimento e desenvolvimento técnico-científico nos estudos de Geologia Médica, contribuindo para o controle e prevenção

de impactos ambientais, definição de indicadores de problemas de saúde e doenças endêmicas (doenças pulmonares, neurológicas, alergias, bócio, cardiopatias, câncer etc.), bem como para determinação da expansão das áreas mineralizadas.

As informações obtidas no estudo de Geoquímica Ambiental podem ser estendidas, também, para animais que convivem no mesmo ambiente que a população local.

Na área de estudo, procedeu-se à amostragem geoquímica em sedimentos de corrente, solos, água de drenagem, água de abastecimento e alimentos.

As vias de contaminação humana são, em geral, água e alimentos, podendo se dar, também, pelo ar e contato dérmico. Assim, para determinar se elementos químicos nocivos estão geodisponíveis, é necessário amostrar e analisar a água e os alimentos que a população em estudo ingere diariamente, visando a diagnosticar a origem e o caminho dos elementos que provocam a doença.

As plantas (alimentos) absorvem tanto os minerais necessários quanto os nocivos à dieta humana. Esses minerais, ao serem liberados das rochas pelo intemperismo, podem ser incorporados em minerais neoformados, como óxido-hidróxido de ferro, alumínio e manganês; precipitados, como carbonatos; ou disponíveis em solução na água. Quando solubilizados no solo, podem ser percolados em subsuperfície ou transportados na superfície pela drenagem.

Os sedimentos podem guardar o registro dos elementos químicos de extensa área geográfica que ocorrem a montante do local amostrado, ou seja, toda a bacia de captação da drenagem amostrada. Os solos, em geral, quando não são transportados, tendem a ter em sua constituição os mesmos elementos químicos das rochas. As águas também apresentam o registro dos elementos químicos que ocorrem a montante da bacia; entretanto, é um registro temporal, que pode ser modificado com o passar de dias, meses ou anos.

As metodologias de amostragem geoquímica, armazenamento e análise seguiram os procedimentos convencionais, conforme descritos por Silva et al. (2010), as quais estão, em parte, baseadas no Manual Técnico PGAGEM\_Brasil (Lins, 2003), sendo este adequado aos padrões geoquímicos estabelecidos pelo Projeto IGCP-259 da UNESCO-IUGS e Working Group on Global Geochemical Baseline do IUGS-IAGC.

Na coleta de águas de drenagem e de abastecimento, para análises de cátions e ânions, foram utilizados dois tubos de vidro de centrífugas, com volume de 50 ml. Nas amostragens, foram utilizadas seringas descartáveis sem agulha, nas quais foi acoplado filtro com 45 µm de

porosidade, para retirar da água a ser analisada os sedimentos em suspensão (poluição, argilas em época de chuvas etc.). Nas amostras analisadas para cátions, foram adicionados  $\text{HNO}_3$  com concentração 1:1. As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor e bolsas térmicas com gel, para conservação em baixa temperatura (Cunha, 2003b).

A utilização de filtragem nas amostras de água apresenta concordância com a pesquisa desenvolvida por Smith et al. (1996) em Uganda, sobre a geoquímica de alumínio em ambientes tropicais e suas implicações para a saúde, onde se realizaram várias experiências para amostragem e análise de água por ICP-OES, acidificada, não acidificada, filtrada e não filtrada. A mais adequada foi a utilização de filtro com porosidade 40  $\mu\text{m}$  e acidificada.

Os procedimentos para a amostragem de sedimento de corrente e solos constituíram-se na amostragem de sedimentos realizada na zona de deposição de finos da calha da drenagem, efetuando-se coleta composta definida em uma faixa em torno de 100 m ao longo da drenagem, a montante do acesso. As amostras de solos foram coletadas nos primeiros 25 cm, nas faixas onde o solo era mais espesso.

Em agosto de 2005, a CPRM/SGB coletou e analisou na área investigada 35 amostras de sedimentos de corrente, 30 amostras de solos, 13 amostras de águas de drenagem e 14 amostras de águas de abastecimento humano. Os resultados desse trabalho foram apresentados por Lopes et al. (2006) e incorporados ao banco de dados da presente pesquisa.

Após a delimitação da área de pesquisa, considerando as amostragens executadas pela CPRM/SGB (Lopes et al., 2006), procedeu-se às amostragens de modo a que a densidade de coletas para sedimento, água de drenagem e solos se situasse em torno de uma amostra para cada 14  $\text{km}^2$  (ressalvando-se parte da região leste, de difícil acesso). Para as águas de consumo, grande parte dos pontos foi reamostrada e novas amostras foram coletadas para cobrir toda a área de trabalho.

Assim, foram coletadas 4 amostras de sedimentos de corrente, 18 amostras de solos, 2 amostras de água de drenagem, 37 amostras de água de abastecimento e 12 amostras de alimentos. Desta feita, o total de amostras coletadas na área e regiões próximas foi: 39 amostras de sedimento de corrente, 48 amostras de solos, 15 amostras de águas de drenagem, 51 amostras de águas de abastecimento e 12 amostras de alimentos das hortas cultivadas pelos ribeirinhos.

A análise das amostras de alimentos teve por objetivo verificar se os valores anômalos nocivos encontrados em águas, solos e sedimentos estão presentes também nos alimentos e, assim, investigar a rota de exposição rocha-solo-água-alimento consumidos pela população local.

Nas amostras de sedimentos de corrente e de solos foram analisados 36 elementos químicos por ICP-MS, com digestão por água-régia, no laboratório da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Solos), no Rio de Janeiro. Nas amostras de águas de drenagem e de abastecimento foram analisados 28 elementos por ICP-OES e 7 ânions (fluoreto, cloreto, nitrito, brometo, nitrato, fosfato e sulfato) por cromatografia de íons no Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN) da CPRM/SGB. Simultaneamente à coleta de água, efetuaram-se medidas dos parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido), segundo sugestões de Ferreira Pinto (2007).

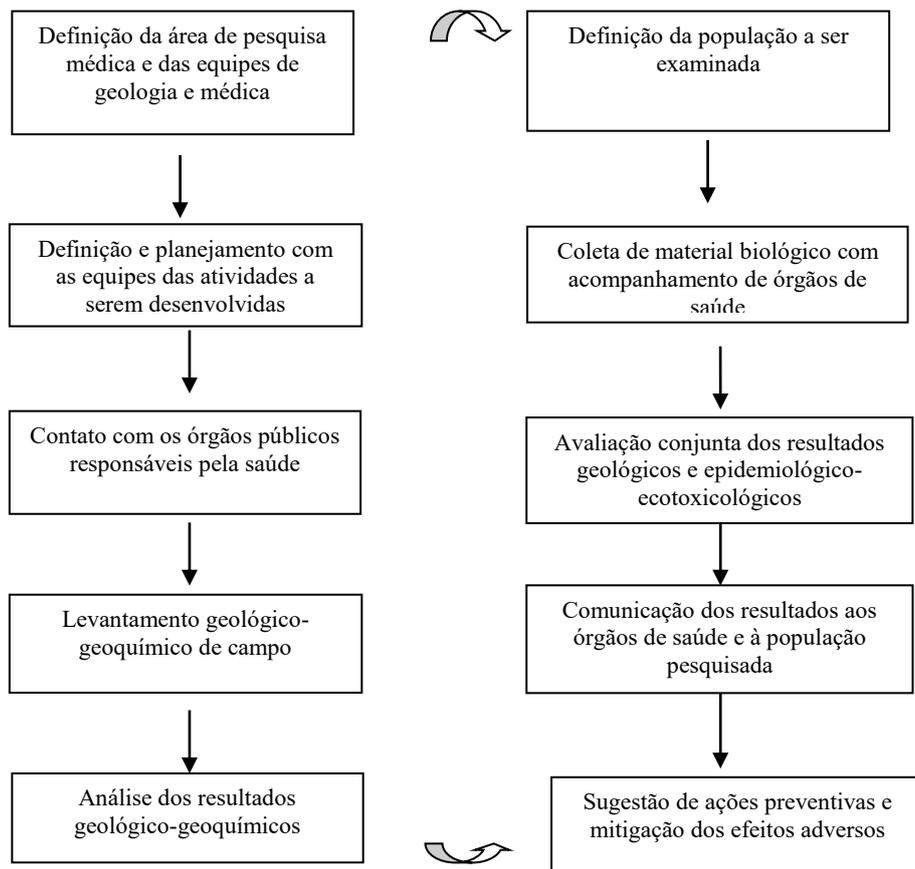
Nos alimentos (feijão, mostarda, cebolinha, couve, maxixe, manga, pimentão) foram analisados 36 elementos por ICP-MS com digestão por  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , efetuados no laboratório da EMBRAPA Solos – Rio de Janeiro.

A Epidemiologia é a ciência que estuda a ocorrência e a distribuição de doenças em uma dada população e os fatores responsáveis por esse agravo à saúde. Segundo Capitani (2006), a Epidemiologia tem por base estudar todos os fatores possíveis envolvidos na relação saúde-doença, tais como: genéticos, infecciosos, hábitos de vida (alimentação, tabagismo, alcoolismo), ocupacionais, gênero, idade, além dos relacionados ao meio ambiente (materiais geológicos naturais e antropogênicos).

Os estudos epidemiológicos têm por objetivo (Gordis 1996, apud Capitani 2006): (i) identificar a causa e os fatores de risco que provocaram a doença em investigação, visando a determinar a forma de transmissão ou via de exposição; (ii) determinar a extensão da doença dentro da população exposta; (iii) estudar a história natural da doença, se é aguda, subaguda, crônica, duração do problema, prognóstico quanto à cura, cronificação, sequelas e morte; (iv) conhecer a mudança da distribuição das doenças ao longo do tempo, como mudanças no padrão de mortalidade e na incidência da doença com relação a gênero, faixas etárias, expectativa de vida etc.; (v) avaliar medidas terapêuticas e preventivas; (vi) com os resultados dos estudos, fundamentar políticas públicas e decisões sobre regulação relacionadas a problemas de contaminações ambientais, por exemplo.



Nesta pesquisa procedeu-se tão somente a uma avaliação da exposição humana, segundo metodologia sugerida por Figueiredo (2006), Silva et al. (2010), dentre outros, constituindo-se basicamente na avaliação da população exposta ao alumínio, a partir da seleção de duas comunidades e de um grupo que se submete a hemodiálise. No total, foram coletadas 149 amostras de sangue (Figura 13).



**Figura 13** – Síntese das etapas a serem seguidas em estudo de geologia médica.

A amostragem foi efetuada após a desinfecção do local de punção venosa com etanol a 70%. Aproximadamente 5 ml de sangue foram coletados de cada pessoa. Foram utilizados tubos de coleta a vácuo (sem anticoagulante) para análise de traços de metais. As amostras foram mantidas sob refrigeração (-20°C) durante o transporte para o laboratório até a realização das análises.

Antes do transporte, as amostras foram centrifugadas no laboratório da prefeitura de Araçuaí, separando-se o plasma das hemácias. Essas amostras – 1,5 ml/amostra de plasma – foram submetidas à análise para alumínio e lítio por ICP-MS no Laboratório de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (USP), *campus* de Ribeirão Preto.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Águas de Abastecimento e de Drenagem

As análises físico-químicas efetuadas nos locais de amostragens em águas de abastecimento e de drenagem apresentaram, em geral, valores normais para pH entre 6 a 9,5 e condutividade menor que 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tanto nas amostragens realizadas pela CPRM/SGB (Lopes et al., 2006) quanto nas realizadas para esta pesquisa. Entretanto, para oxigênio dissolvido (OD), os resultados nas amostras de água coletadas no período seco apontaram que 40% são impróprias para o consumo humano, segundo a Portaria 518/MS/2004, apresentando valores menores que 5 mg/L. A temperatura das águas medidas, juntamente com os demais parâmetros, foi, em média, de 27,7°C.

A correlação entre os resultados de Lopes et al. (2006) (CM) e os desta pesquisa (CR) (Tabela 1) mostraram que o pH e o OD, em média, foram menores. Isso, provavelmente, deve-se ao período de coleta. As amostragens da CPRM/SGB (CM) foram realizadas em um período mais seco (julho), quando os córregos apresentavam menor volume de água e maior concentração dos elementos químicos (pH menos alcalino e OD baixo), enquanto as deste trabalho (CR) foram coletadas no final do período chuvoso e início do período seco (abril).

Das 51 amostras de águas de abastecimento (Ab), somente uma (comunidade de Taquaral) recebe tratamento. As demais estão distribuídas por aproximadamente 80% da área (Figura 14a), com teores de Al variando entre 0,200 mg/L – 0,928 mg/L, com um valor médio de 0,405 mg/L. Salienta-se que a Portaria 518/MS (2004) e CONAMA (2008) estabelecem 0,200 mg/L como valor-limite desse elemento nas águas potáveis.

Considerando todas as amostras, a média (*background*) estimada para alumínio foi de 0,276 mg/L e a mediana, 0,200 mg/L. Excepcionalmente, foram obtidos valores de 7,2 mg/L em Fazenda Velha e 25,3 mg/L no córrego Santa Clara (porção leste da área), não sendo utilizados no tratamento estatístico por serem considerados valores discrepantes (Figuras 14b e 14c; Tabela 2).

**Tabela 1** – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostragens realizadas nos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

Amostras		pH		OD		Condutividade		Temperatura (°C)	Localidade
CR	CM	CR	CM	CR	CM	CR	CM	CR	
Ab-1001	Ab-07	6,6	7,2	7,1	6,4	59	74	38,8	Fazenda Velha
Ab-1002	Ab-05	6,6	6,0	5,7	1,4	372	205	23,5	Laranjeira
Ab-1003	Ab-02	6,9	6,6	2,5	4,2	143	166	25,3	Laranjeira
Ab-1004	Ab-03	6,9	6,5	7,0	2,2	197	236	27,8	Laranjeira
Ab-1005	Ab-12	7,4		7,9	7,2	76	31	26,5	Jiraú
Ab-1006		6,5		7,5		45		26,4	Malhada Preta
Ab-1007	Ab-11	7,1	7,0	7,2	7,0	44	45	26,0	Fazenda Taiobã
Ab-1009		6,7		2,4		150		26,1	Alto da Serra do Tombo
Ab-1010	Ab-09	7,7	7,2	9,7	6,0	119	66	27,7	Igrejinha
Ab-1011		8,1		8,1		91		27,6	Igrejinha
Ab-1012	Ab-14	7,1	6,2	6,8	3,8	99	68	27,7	Córrego Batista
Ab-1013	Ab-109	7,5	7,2	7,6	3,2	3	75	28,2	Córrego São Pedro
Ab-1014	Ab-110	7,3	7,3	7,1	3,6	3	68	28,1	Córrego São Pedro
Ab-1015	Ab-08	7,1	5,1	5,7	2,7	70	28	27,4	Fazenda Brejo
Ab-1016		5,8		4,9		907		28,3	Fazenda Brejo
Ab-1017	Ab-01	6,5	7,2	7,2	4,2	779	74	27,5	Fazenda Monte Belo/Pedreira
Ab-1018	Ab-06	7,2	7,2	7,3	7,9	66	74	30,1	Barreiro
Ab-1019		6,8		7,8		71		27,5	Ponte Ribeirão Piauí
Ab-1020	Ab-04	6,9	7,5	7,8	5,1	45	39	27,7	Taquaral
Ab-1021		7,5		6,5		34		28,0	Jenipapo
Ab-1022		7,3		7,4		29		30,4	Rio Jequitinhonha
Ab-1023		7,3		7,4		55		30,3	Restaurante Tropicaliente (Itinga)
A-2001		6,5		7,7		164		26,2	Lagoão (Serra do Tombo)
A-2002	A-107	7,0	8,2	6,7	0,6	196	139	26,1	Córrego Santa Clara
	A-101		7,1		4,6		92		
	A-102		7,2		5,5		844		
	A-103		7,1		7,8		69		
	A-104		7,2		6,1		64		
	A-105		7,5		5,9		234		
	A-106		6,4		3,8		431		
	A-108		7,2		6,0		89		
	A-111		6,8		12,9		71		
	A-112		4,6		3,2		98		
	A-113		5,8		3,4		41		
	Ab-10		6,7		6,2		84		

**Notas**

As amostras CM (CPRM) foram coletadas em julho/2005 e as CR (desta pesquisa) em abril/2008.

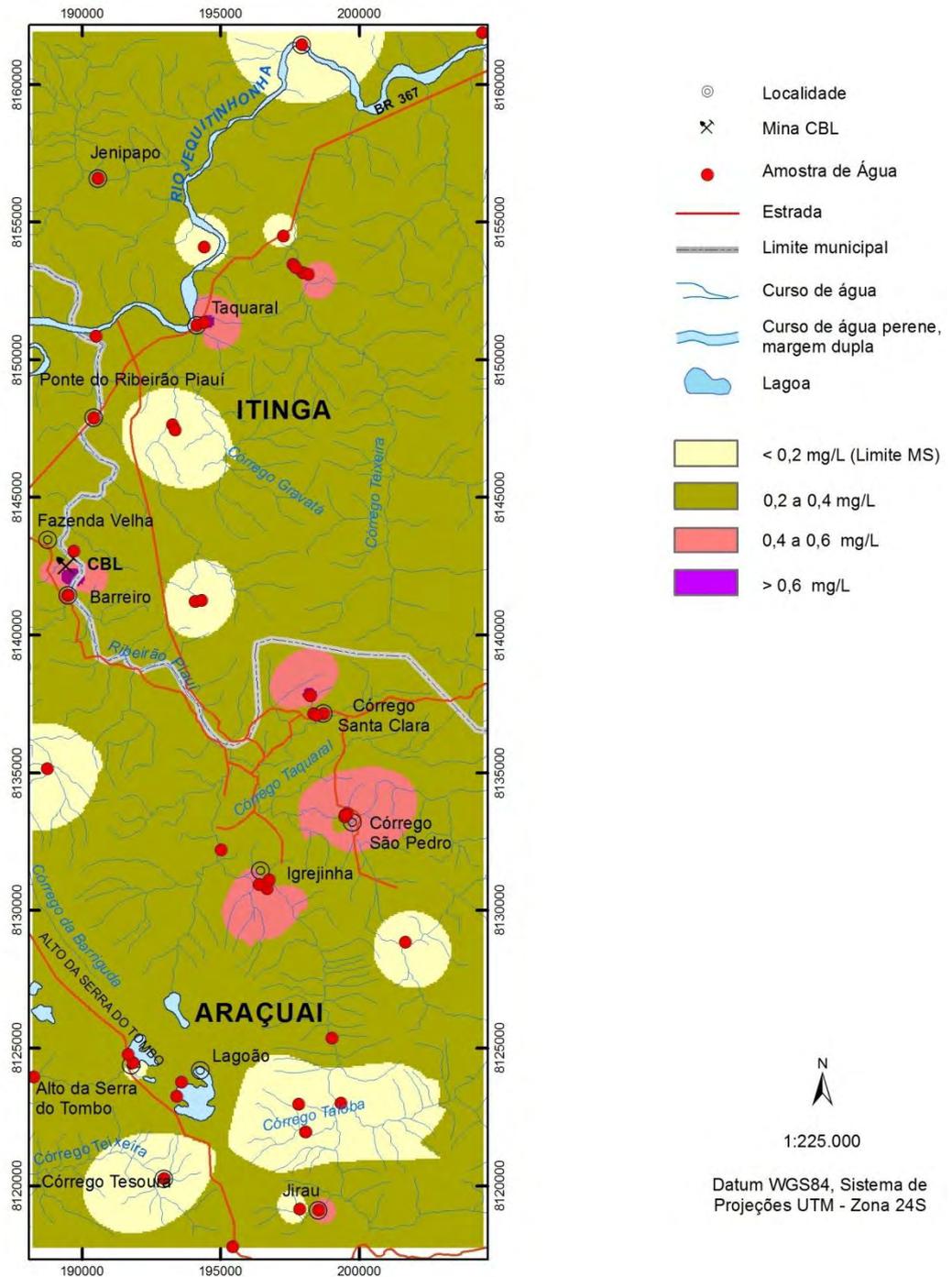
Resolução nº 357/2005 CONAMA/MMA para água potável: pH normal entre 6-9; OD normal acima de 5 mg/L; condutividade normal abaixo de 500 µS/cm.

Ab = Água de abastecimento; A = Água de drenagem.

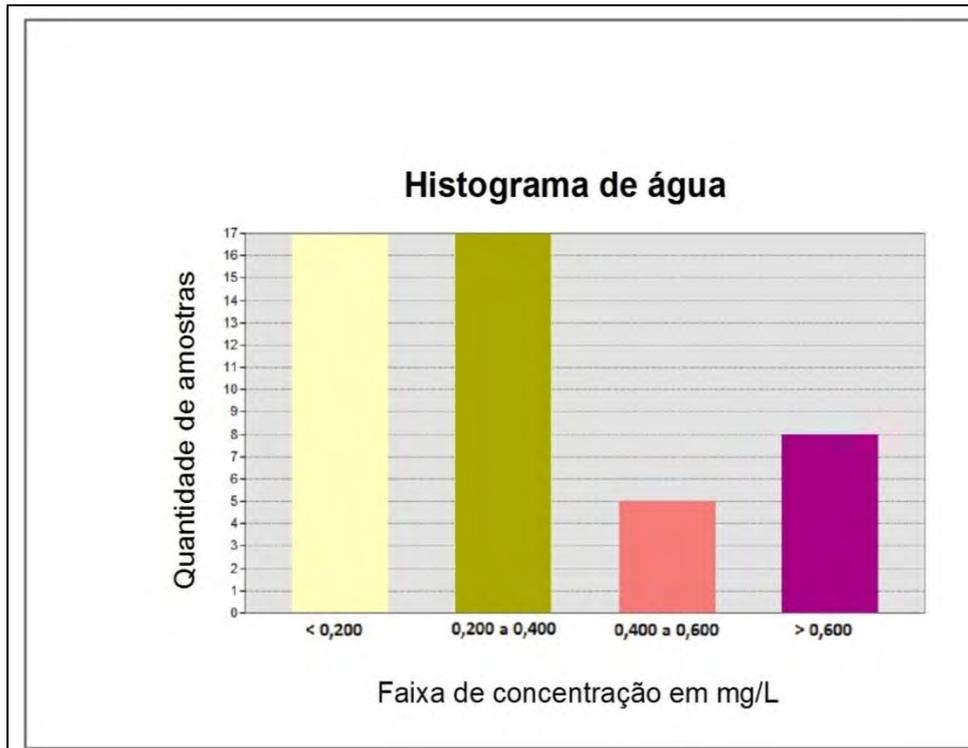
CR e CM na mesma linha referem-se a amostragens no mesmo local.

Temperatura somente medida nesta pesquisa.

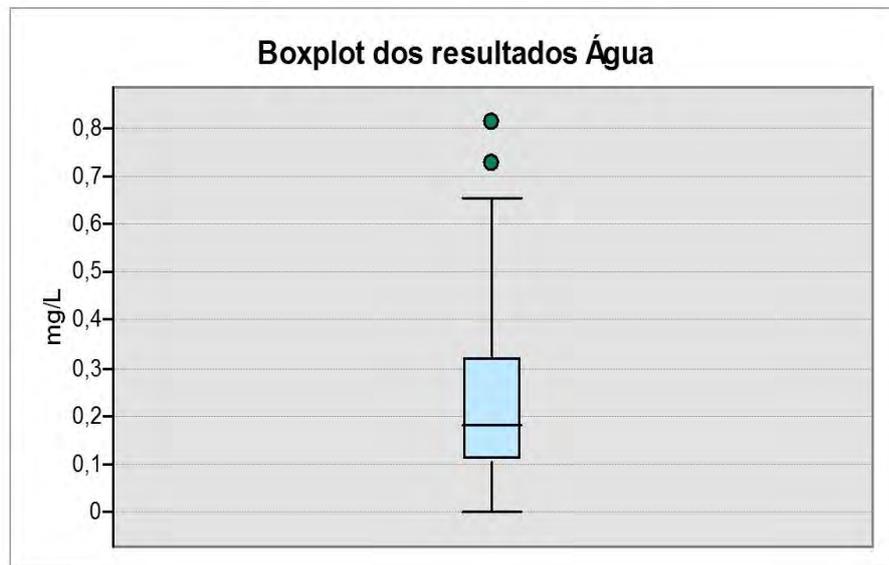
## PAISAGEM GEOQUÍMICA - DISPERSÃO DO ALUMÍNIO EM ÁGUA



**Figura 14a** – Resultados das análises de água de abastecimento, espacializados em mapa por meio de curvas de isovalores, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).



**Figura 14b** – Resultados das análises de água de abastecimento, disponibilizados por meio de histograma, da área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).



**Figura 14c** – Resultados das análises de água de abastecimento, expressos por meio de boxplot, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

**Tabela 2** – Resultados das análises de água de abastecimento, expressos por dados estatísticos, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

Média	0,2706
Mediana	0,2
Moda	0,1
Desvio padrão	0,219632
Variância da amostra	0,048238
Curtose	0,87989
Assimetria	1,301818
Intervalo	0,93
Mínimo	0
Máximo	0,93
Soma	13,53
Contagem	51

As populações das comunidades de Malhada Preta e Lagoão (alto da serra do Tombo), Jiraú, Igrejinha, córregos São Pedro, Água Branca, Batista e Santa Clara, Barreiro, Fazenda Velha, ponte do ribeirão Piauí (bacia do ribeirão Piauí), Laranjal e Jenipapo, situadas na área de pesquisa, estão expostas à ingestão de alumínio através das águas, que não recebem qualquer tipo de tratamento.

Os resultados de Al das amostragens efetuadas na campanha de abril de 2008, no rio Jequitinhonha, a montante do município de Itinga, e de água tratada de torneira, na cidade de Itinga, respectivamente a norte e nordeste da área de estudo, apresentaram valores de 0,100 e 0,200 mg/L de Al.

Da mesma forma, os resultados de Al das águas do rio Araçuaí apresentaram 0,174 mg/L no local de captação de abastecimento da cidade homônima; o resultado da água tratada (torneira) dessa localidade foi de 0,031 mg/L. Tais amostras, por estarem fora da área de pesquisa, não foram consideradas no tratamento estatístico.

Esses valores demonstram que as águas dos rios Jequitinhonha e Araçuaí apresentam valores de Al que não oferecem risco à saúde, bem como a água tratada que abastece a população da cidade de Araçuaí. Entretanto, a água que abastece a cidade de Itinga necessita de atenção por parte dos órgãos responsáveis pelo saneamento público.

O estudo de Devecchi et al. (2006) sobre os níveis de Al em águas de abastecimento público foi realizado nos municípios de Ribeirão Preto – onde as águas subterrâneas são tratadas por processos de fluoretação e cloração – e em Atibaia, onde as águas de origem superficial são tratadas por floculação, flotação, fluoretação e cloração, sendo que, na floculação, é utilizado sulfato de alumínio, que pode aumentar a concentração de Al na água. Ao contrário do esperado, os valores encontrados para o alumínio apontaram que 24% das amostras de Ribeirão Preto excederam os valores permitidos; porém, em Atibaia, os valores se mantiveram dentro dos parâmetros normais. Esses resultados mostram que o Al contido nas águas subterrâneas de Ribeirão Preto é de origem natural, ou seja, dos minerais das rochas subjacentes onde as águas são captadas.

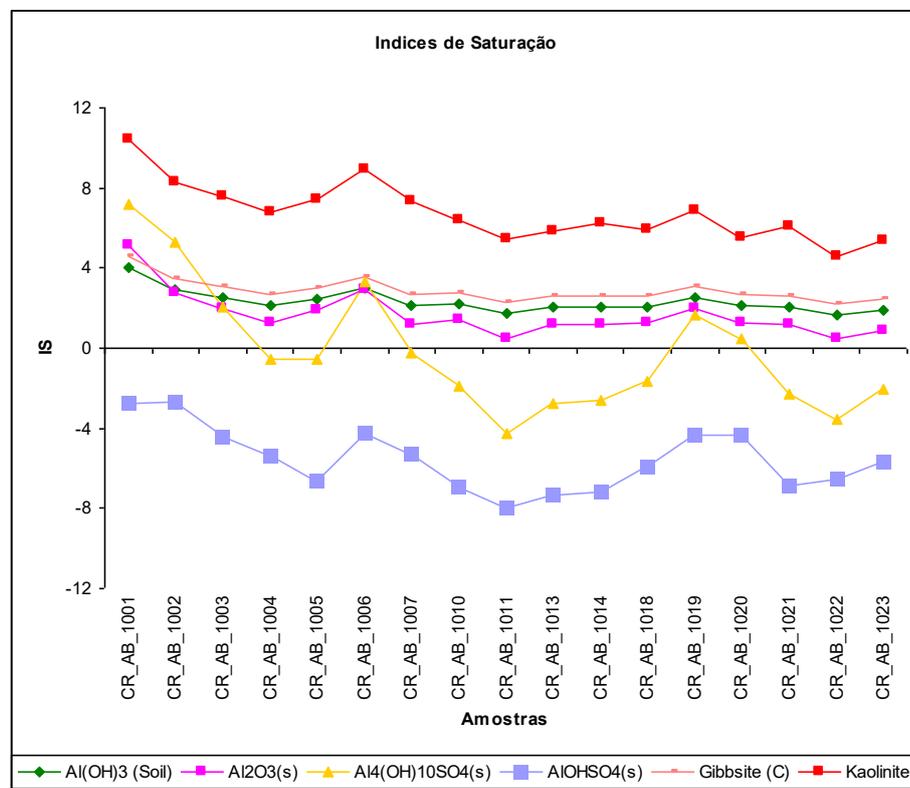
Para determinar as espécies de alumínio presentes na água da área de pesquisa, inicialmente é necessário investigar a formação dos minerais secundários de alumínio, caracterizar ionicamente a matriz água, bem como suas características físico-químicas e ambientais (pH e Eh). Para tanto, efetuou-se a modelagem hidrogeoquímica com o *software* Visual MINTEQ versão 3.0 (<http://www.lwr.se/english/oursoftware/vminteq>), utilizando 17 amostras de águas de abastecimento da área de pesquisa, para verificar os valores do índice de saturação (IS) do alumínio e apresentar em porcentagem as espécies de alumínio contidas em solução.

Para obtenção dos valores dos índices de saturação em cada ponto de amostragem, utilizaram-se parâmetros que envolvem as condições ambientais, tais como pH, Eh e temperatura. Além destes, foram utilizados os elementos maiores presentes nas amostras de água, como cálcio, magnésio, sódio, potássio, sulfato, cloreto, fosfato, ferro, sílica, bem como os elementos menores de alumínio, manganês, bário e zinco.

Para determinar o índice de saturação, efetua-se o cálculo da concentração molar, da atividade iônica e do coeficiente de atividade das espécies químicas na água. Em seguida, obtêm-se os valores dos índices de saturação da fase sólida de diversos minerais em equilíbrio com a solução aquosa nos pontos amostrados. O referido *software* apresenta, no final, o valor do produto da atividade iônica (PAI) dos componentes analisados dividido pela constante de equilíbrio termodinâmica (K) a uma temperatura (t). Para facilitar a leitura e interpretação dos resultados, o *software* apresenta os cálculos do índice de saturação em valores logarítmicos, ou seja:  $\log IS = \log PAI \div \log Kt$ .

Quando os valores de IS (Figura 14d) são positivos, existem condições de supersaturação das espécies químicas, havendo, com isso, a possibilidade de formação da fase sólida mineral a partir da solução aquosa através de uma reação química inversa (as espécies  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , gipsita e caolita em todas as amostras). Ao passo que, quando os valores de IS são negativos, a solução encontra-se insaturada, sem condições de formação da fase sólida mineral (a espécie  $\text{AlOHSO}_4$  em todas as amostras e a espécie  $\text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4$  na maioria das amostras).

Quando IS é igual a zero, a solução está em equilíbrio químico, ou seja, a velocidade da reação direta (fase sólida mineral  $\rightarrow$  solução) é igual à reação inversa (solução  $\rightarrow$  fase sólida mineral).



**Figura 14d** – Índices de saturação dos minerais de alumínio presentes nas amostras de água de abastecimento da área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

É importante ressaltar as incertezas inerentes ao cálculo do índice de saturação (IS), em função dos resultados muitas vezes duvidosos das análises químicas e do cálculo do valor da constante de equilíbrio do mineral em processo de dissolução. Recomenda-se, por motivo de segurança, que os valores de IS considerados estejam acima de  $0 \text{ (zero)} \pm 0,5$  (Deutsch, 1997).

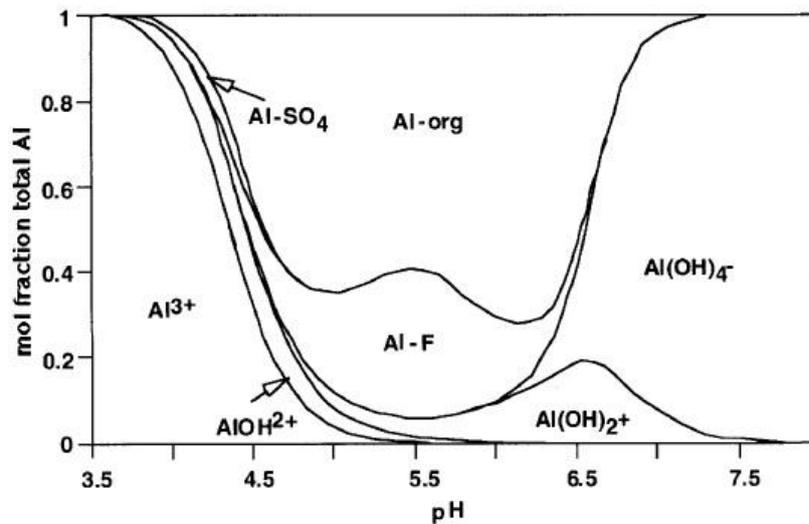
Os dados obtidos a partir dos valores analíticos, elementos maiores, elementos menores e valores de pH maiores que 6,5 (Tabela 3), inseridos no Visual MINTEQ, sugerem que as espécies predominantes em todas as amostras são  $\text{Al(OH)}_4^-$ ,  $\text{Al(OH)}_3$  e  $\text{Al(OH)}_2^{+2}$  (Tabela 4). Tal situação está de acordo com o diagrama de fases das espécies de Al descrito por Driscoll e Schecher (1990 apud Smith et al., 1996) (Figura 14e), onde as espécies predominantes em pH acima de 6,5 são  $\text{Al(OH)}_4^-$  e  $\text{Al(OH)}_2^{+2}$ .

**Tabela 3** – Valores de pH de 17 amostras de águas de abastecimento colhidas na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

Amostra	pH
CR_AB_1001	6,6
CR_AB_1002	6,6
CR_AB_1003	6,9
CR_AB_1004	6,9
CR_AB_1005	7,4
CR_AB_1006	6,5
CR_AB_1007	7
CR_AB_1010	7,7
CR_AB_1011	8,1
CR_AB_1013	7,5
CR_AB_1014	7,3
CR_AB_1018	7,2
CR_AB_1019	6,8
CR_AB_1020	6,9
CR_AB_1021	7,5
CR_AB_1022	7,3
CR_AB_1023	7,4

**Tabela 4** – Distribuição em porcentagem das principais espécies de alumínio por amostra obtidas pela modelagem realizada no software Visual MINTEQ 3.0.

Amostra	$\text{Al(OH)}_2^{2+}$	$\text{Al(OH)}_3$ (aq)	$\text{Al(OH)}_4^-$
CR_AB_1001	11,965	28,127	59,451
CR_AB_1002	19,09	26,008	52,628
CR_AB_1003	5,914	18,532	75,261
CR_AB_1004	4,919	18,308	76,639
CR_AB_1005	0,657	7,214	92,123
CR_AB_1006	21,44	29,57	47,289
CR_AB_1007	3,645	15,834	80,386
CR_AB_1010	0,156	3,676	96,167
CR_AB_1011	0,026	1,508	98,467
CR_AB_1013	0,368	5,761	93,869
CR_AB_1014	0,897	8,765	90,33
CR_AB_1018	1,184	10,554	88,244
CR_AB_1019	7,367	21,713	70,699
CR_AB_1020	4,94	18,596	76,355
CR_AB_1021	0,374	5,772	93,852
CR_AB_1022	0,749	8,679	90,567
CR_AB_1023	0,487	6,952	92,559



**Figura 14e** – Diagrama de fases das espécies de alumínio.

Fonte: Driscoll e Schecher (1990 apud Smith et al., 1996).

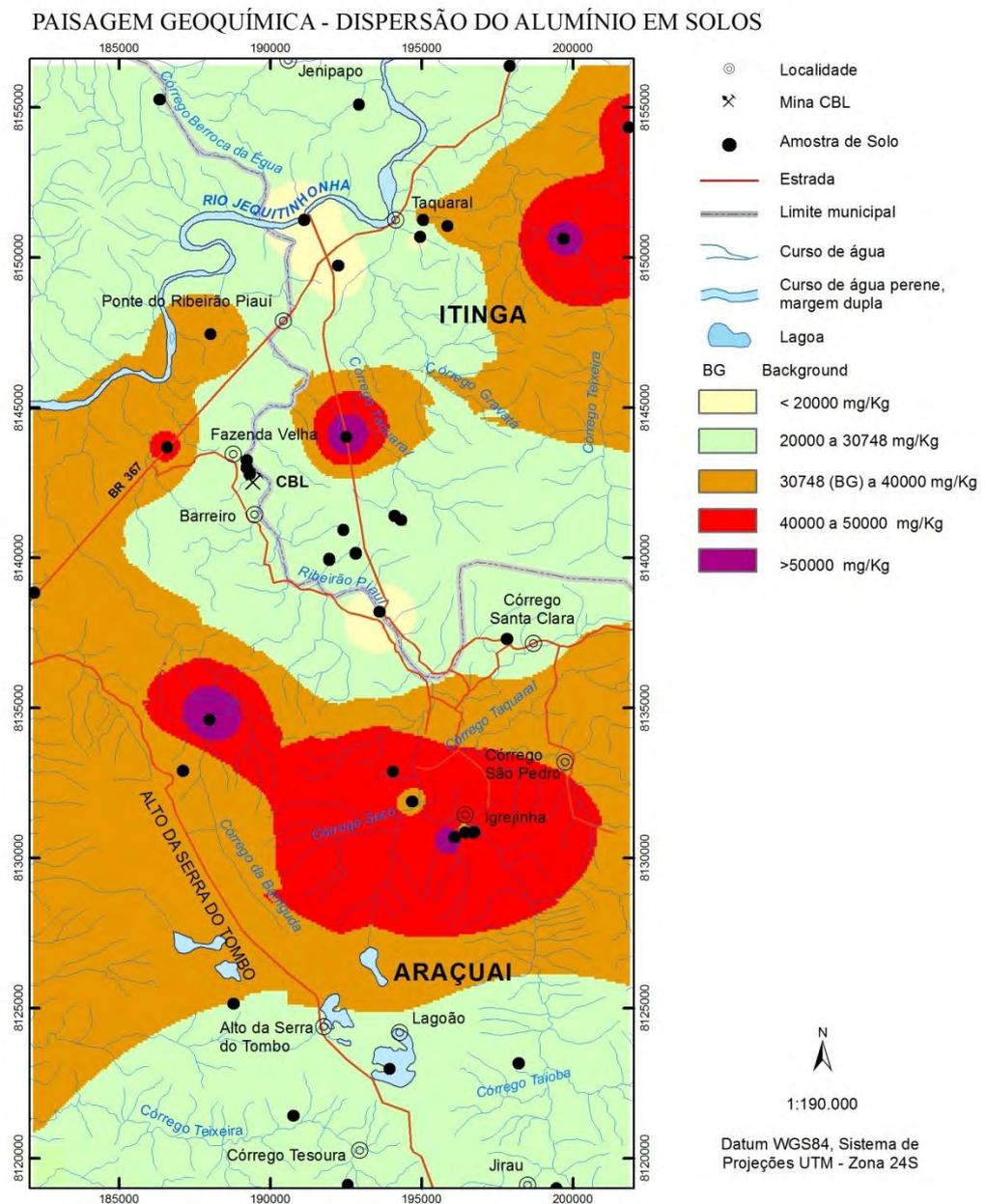
Além do alumínio, o elemento que chamou a atenção foi o fósforo. Segundo Lopes et al. (2006), das 27 amostras de água analisadas, 25 apresentaram valores acima de 25  $\mu\text{g/L}$ , o permitido pelo Ministério da Saúde (MS), variando de 26 a 1.856  $\mu\text{g/L}$ , tendo como média desse intervalo o valor de 230  $\mu\text{g/L}$ . Tais anomalias, considerando que a ambiência geológica não se mostra propícia à ocorrência de depósitos de fosfato e que as comunidades e moradores ribeirinhos têm o hábito de manter os chiqueiros (porcos) e currais (gado) às margens das drenagens, sugere-se que esse fosfato seja de origem antrópica (dejetos domésticos e de animais).

Os elementos ferro e manganês também apresentaram valores em água acima do permitido para a saúde (MS/2004 – 0,300 e 0,100 mg/L, respectivamente). Do total das 59 amostras analisadas, 24 apresentaram teores de ferro variando entre 0,300 a 8,539 mg/L, com média de 1,304 mg/L, enquanto 17 amostras apresentaram teores de manganês variando entre 0,100 mg/L a 1,4 mg/L, com média de 0,356 mg/L.

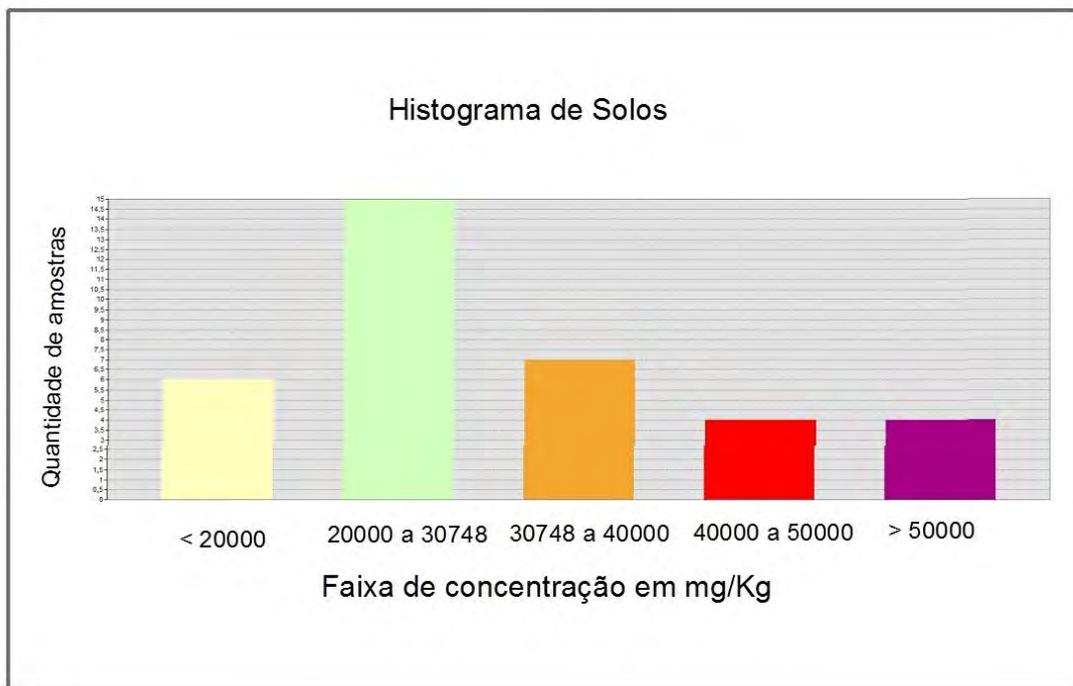
Os elementos arsênio (As), estanho (Sn), boro (B), chumbo (Pb), cloro (Cl), cobalto (Co), lítio (Li) e nitrogênio (N) apresentaram, localmente, valores em água acima do permitido, não necessitando, portanto, de maiores cuidados em relação à saúde ambiental.

## 6.2 Solos e Sedimentos de Corrente

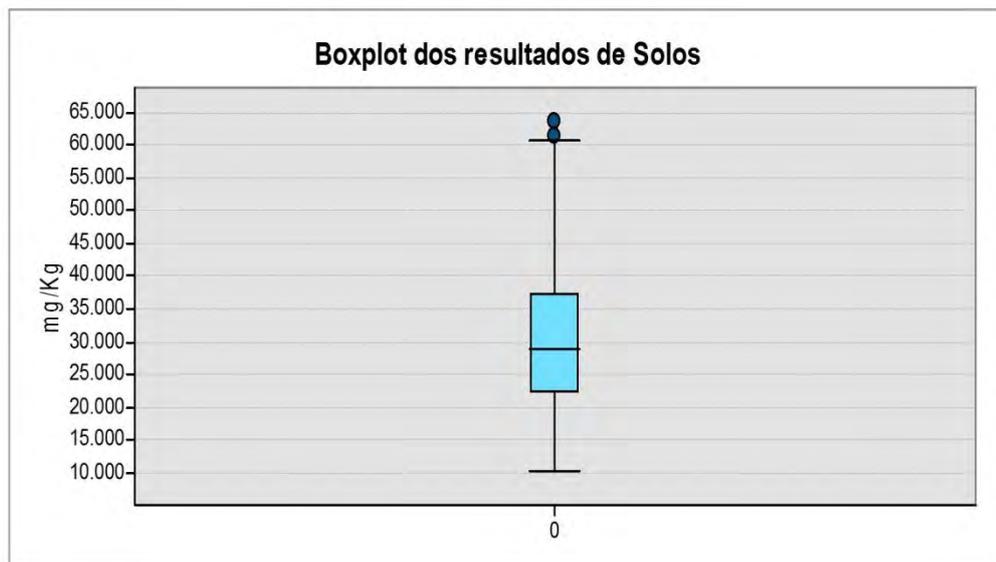
Os resultados das análises químicas dos solos apontaram que, do total de 46 amostras, a dispersão de Al abrange aproximadamente 60% da área, acima da média (*background*) de 30.748 mg/kg (Figura 15a), e mediana com 27.850 mg/kg, variando de 10.300 a 63.595 mg/kg (Figuras 15b e 15c; Tabela 5).



**Figura 15a** – Resultados das análises de solos, espacializados em mapa por meio de curvas de isovalores, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).



**Figura 15b** – Resultados das análises de solos, expressos por faixas de concentração, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).



**Figura 15c** – Resultados das análises de solos, expressos por boxplot, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

**Tabela 5** – Resultados das análises de solos, expressos por dados estatísticos, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

Média	30748
Mediana	27850
Moda	23600
Desvio padrão	12825
Variância da amostra	164499116
Curtose	0,49
Assimetria	0,86
Intervalo	53295
Mínimo	10300
Máximo	63595
Soma	1414451
Contagem	46

O valor de *background* de 30.748 mg/kg encontrado na área de pesquisa está muito acima da média (17.770 mg/kg) dos solos das oito bacias hidrográficas (rios das Velhas, Paracatu, Abaeté, Urucuia, Carinhanha, Jequitaiá, Verde Grande e São Francisco) do estado de Minas Gerais (Viglio, 2010) (Tabela 6).

**Tabela 6** – Média dos valores médios e máximos de alumínio em 70% das bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais.

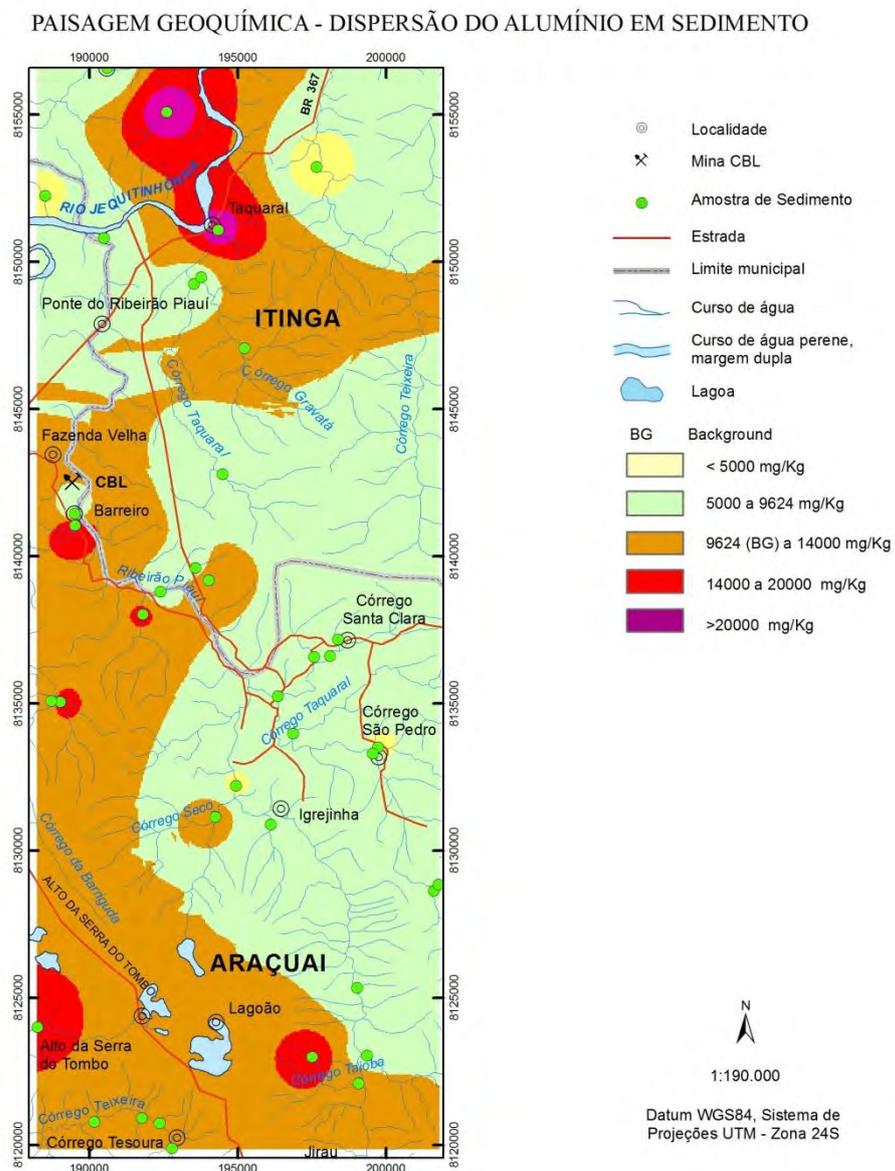
Valor	Sedimento (mg/kg)	Solos (mg/kg)
<b>Médio</b>	8.815	17.770
<b>Máximo</b>	44.528	89.137

Fonte: Viglio (2010).

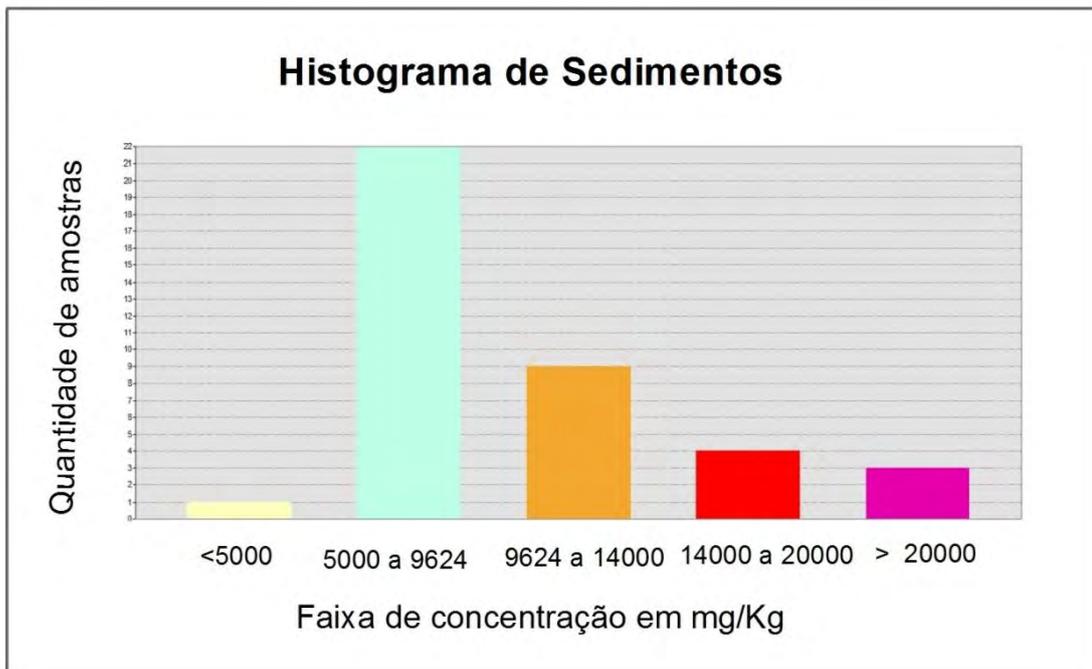
Por apresentarem valor médio de 84.744 mg/kg de Al, muito elevado em relação às demais, duas amostras dos solos sobrejacentes às coberturas detritolateríticas não foram consideradas no tratamento estatístico; entretanto, elas também podem disponibilizar significativas quantidades de Al ao meio ambiente.

Ruby (2009) descreve, em sua pesquisa sobre a qualidade ambiental de solos agrícolas da bacia do rio Jaguari (SP), que sedimentos residuais contêm, em média, cerca de 25.000 mg/kg de Al.

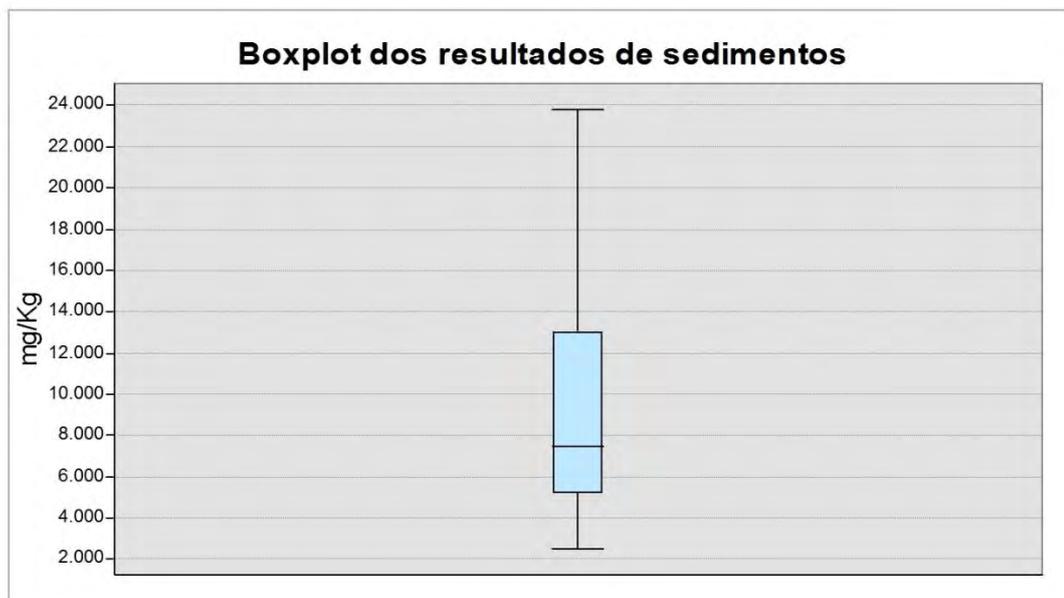
Os resultados das análises químicas de Al para as 39 amostras de sedimentos coletadas na área apontam que aproximadamente 50% da área (Figura 16a) apresentam valores médios de Al em torno de 9.624 mg/kg, mediana de 7.500 mg/kg e limites mínimo e máximo de 2.500 a 23.800 mg/kg (Figuras 16b e 16c; Tabela 7). Os valores da média e mediana estão bem próximos da média de 8.815 mg/kg, relativa a sete bacias hidrográficas (rios das Velhas, Paracatu, Abaeté, Urucuia, Carinhanha, Doce e São Francisco) do estado de Minas Gerais (Viglio, 2010).



**Figura 16a** – Resultados das análises de sedimentos, espacializados em mapa, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).



**Figura 16b** – Resultados das análises de sedimentos, expressos por faixas de concentração, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).



**Figura 16c** – Resultados das análises de sedimentos, expressos por boxplot, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

**Tabela 7** – Resultados das análises de sedimentos, expressos por meio de tratamento estatístico, na área de pesquisa em parte dos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

Média	9624
Mediana	7500
Moda	52
Desvio padrão	12825
Variância da amostra	5669
Curtose	32139517
Assimetria	0,62
Intervalo	1,09
Mínimo	2500
Máximo	23800
Soma	375339
Contagem	39

### 6.3 Alimentos Vegetais

A fim de verificar se o alumínio estava sendo incorporado na dieta dos moradores locais, analisaram-se quatro amostras de hortaliças, coletadas em abril de 2008, nas comunidades de Laranjal e Tesoura, respectivamente a norte-nordeste e sul da área de pesquisa. A essas amostras foram adicionadas oito amostras de hortaliças, coletadas em locais onde haviam sido detectados valores elevados de Al: duas amostras na localidade de Fazenda Velha e três em Igrejinha, situadas dentro da área estudada; três amostras na comunidade do Pega (município de Virgem da Lapa), distante cerca de 40 km da região de Itinga-Araçuaí, inserida, contudo, no mesmo contexto geológico.

Nesse mesmo local foram coletadas e analisadas duas amostras de água tratada e do rio Araçuaí, sendo que os resultados obtidos mostraram-se abaixo de 0,100 mg/L. Uma amostra de solo desse local apresentou valor acima do *background* da área de pesquisa e duas vezes acima do *background* das oito bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais (Figura 17).



**Figura 17** – Residência da comunidade do Pega (esq.) e horta onde foram colhidas amostras de solo e de alimentos (dir.).

Para as 12 amostras de alimentos vegetais foram analisadas folhas, frutos e grão. Obtiveram-se valores médios de 1.059 mg/kg de Al, mediana de 437 mg/kg e limites mínimo e máximo variando de 50 a 4.948 mg/kg (Tabela 8).

**Tabela 8** – Resultados de amostras de alimentos e de solos da área de pesquisa e de fora da área de pesquisa.

<b>Amostra</b>	<b>Alimento</b>	<b>Al (mg/kg)</b>	<b>Solos – Al (mg/kg)</b>	<b>Localidade</b>
CR-V-1001C	Maxixe (fruto)	1.522	34.881	Fazenda Velha
CR-V-1001D	Manga (fruta)	482	22.500	Fazenda Velha
CR-V-1010E	Cebolinha (folha)	1.534	26.678	Escola de Igrejinha
CR-V-1010F	Mostarda (folha)	1.834	45.940	Igrejinha
CR-V-1010G	Couve (folha)	249	48.790	Igrejinha
CR-V-1002	Mostarda (folha)	4.948	52.096	Laranjal
CR-V-1003A	Cebolinha (folha)	307	42.046	Laranjal
CR-V-1003B	Feijão (grão)	50	42.408	Laranjal
CR-V-1008	Couve (folha)	52	27.100	Tesoura
CR-V-1029A	Couve (folha)	389		Pega (Virgem da Lapa)
CR-V-1029B	Cebolinha (folha)	913	36.238	Pega (Virgem da Lapa)
CR-V-1029C	Pimentão (fruto)	437	-	Pega (Virgem da Lapa)

Esses resultados demonstram (ressalvando-se que são poucas as amostras) que os alimentos do tipo “folha” assimilam maior quantidade de alumínio. Dentre estes sobressaem a mostarda e a cebolinha. Em contrapartida, os que assimilam menor quantidade de alumínio são os do tipo “grão”.

Batista (2003) apresenta o comportamento geoquímico do Al entre rocha (xistos e grauvacas)-solo-sedimento-vegetal na área da mina de Neves Corvo em Portugal, situada na Faixa Piritosa Ibérica, importante província metalogenética de sulfetos maciços polimetálicos. Embora assinala que pequenas concentrações de alumínio contribuem para melhor crescimento das plantas, a toxicidade do alumínio nas plantas reflete-se, também, na inibição em assimilar outros nutrientes, como P, Ca, Mg, K e N.

Os resultados encontrados em Neves Corvo para os sedimentos foram, em média, de 62.403 mg/kg de Al, três vezes mais que o *background* do país (Portugal). Em solos, a média é de 62.418 mg/kg de Al, com os valores variando muito em função do pH. Nas folhas de estevas (arbusto dominante na região), os teores de Al obtidos foram de 1.274 mg/kg.

Os teores de Al em vegetais da área de Araçuaí-Itinga são semelhantes aos verificados em Neves Corvo (Portugal). Entretanto, os teores de Al em sedimentos e solos diferem bastante – respectivamente, os teores de Neves Corvo são cerca de sete e duas vezes maiores. Esses teores elevados estão, provavelmente, relacionados às encaixantes, xistos e grauvacas das mineralizações polimetálicas dessa região mineira de Portugal.

O Centre for Food Safety (CFS, 2009) realizou um estudo em alimentos com o objetivo de analisar os níveis do alumínio utilizado como aditivo em vários produtos e avaliar a exposição e os riscos à saúde da população de Hong Kong (China). Os resultados da análise de 256 amostras apontaram que altas concentrações de alumínio foram encontradas em pão/bolo cozidos no vapor (média: 100-320 mg/kg), alguns produtos de panificação, tais como *muffin* (média: 250 mg/kg), panqueca/*waffle* (média: 160 mg/kg), torta de coco (média: 120 mg/kg), bolo (média: 91 mg/kg) e água-viva/medusa (média: 1.200 mg/kg). Diante desse resultado, recomendou-se à indústria e ao comércio reduzir a utilização de alumínio no processamento de alimentos, assim como informar, na embalagem dos produtos, a quantidade desse elemento.

ATSDR (2008) fixou o limite de ingestão diário de 70 mg de Al para uma pessoa de 70 kg. O corpo humano retém 0,1 a 0,6% do volume consumido em alimentos e 0,07 a 0,39% da água potável. O restante é excretado pela urina (ATSDR, 2006).

Com base nas referências retromencionadas e considerando para a população das comunidades Igrejinha, Fazenda Velha, Laranjal e Pega a ingestão diária de 1,5 litros de água com o teor da mediana que ocorre na área de pesquisa, de 0,200 mg/L, estima-se que essas populações teriam ingerido, em média, 0,30 mg de Al (1,5 litros x 0,200 mg/L). Dessa quantidade ingerida, o corpo humano pode reter, diariamente, 0,021 (0,30 mg x 0,07%) a 0,117 (0,30 mg x 0,39%) mg de Al.

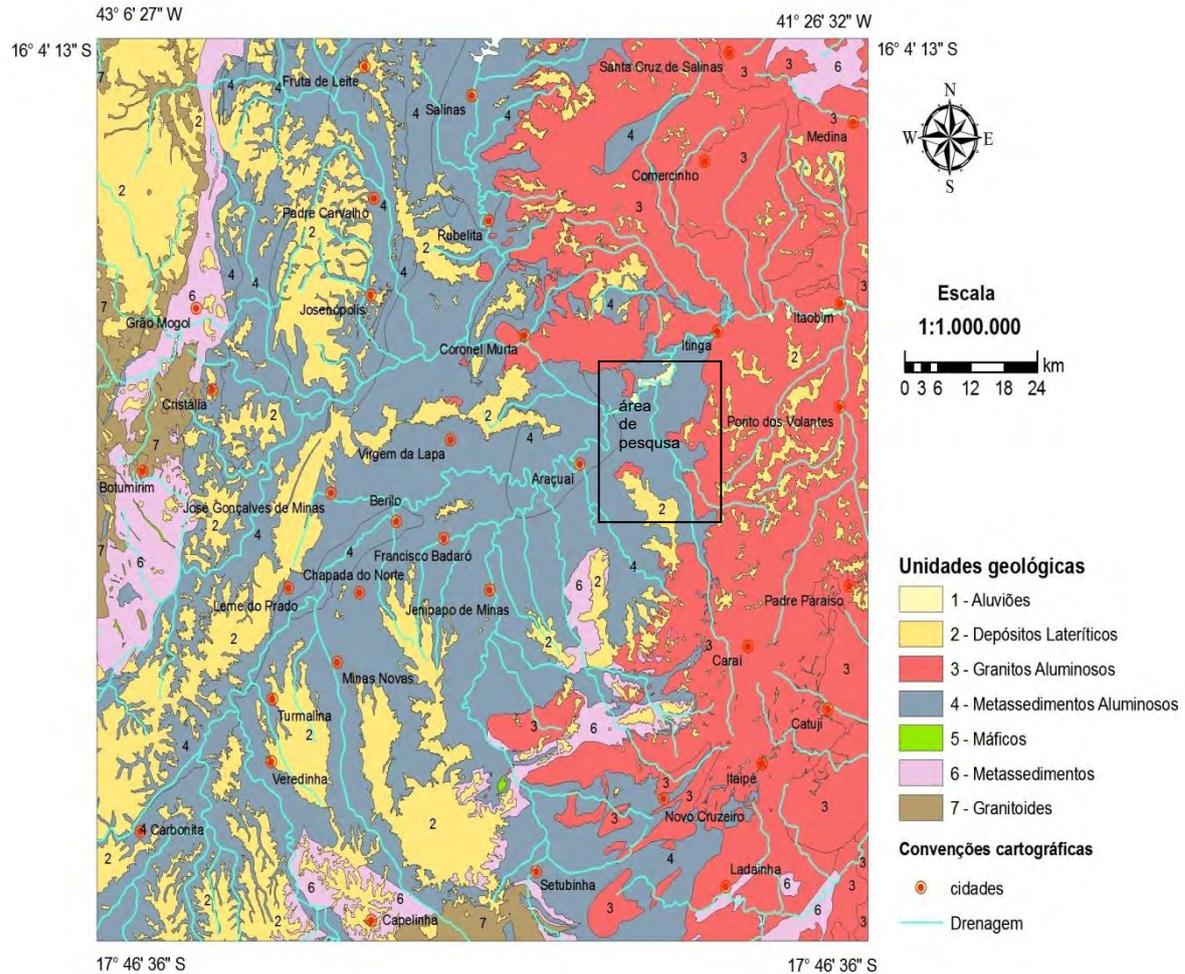
Considerando a ingestão diária (duas refeições) de 300 mg de alimentos vegetais e utilizando a mediana de 437 mg/kg, essas populações estariam ingerindo 131,10 mg de Al, 13 vezes maior que o limite de 10 mg/dia de Al para uma pessoa de 70 kg, estipulado por FAO/WHO (2006), reterendo, diariamente, no corpo, a quantidade de 13,11 a 78,66 mg de Al.

Em artigo publicado em julho de 2008, o European Food Safety Authority (EFSA), com base em dados científicos disponíveis, considerou que a exposição ao alumínio através de alimentos não favorece o risco de desenvolvimento da Doença de Alzheimer (CFS, 2009).

No que se refere ao lítio, os valores médios desse elemento em solos da área objeto desta pesquisa foram de 78,0 mg/kg e mediana de 72,6 mg/kg; nas plantas, a média encontrada foi de 2,30 mg/kg e mediana de 1,63 mg/kg, diferindo dos valores obtidos por Ammari et al. (2010) no vale do rio Jordão, onde, nos solos oriundos de rochas carbonáticas, esses valores variam de 1,06 a 2,68 mg/kg e, nas plantas, de 2 a 27 mg/kg. Esses autores assinalam que a concentração de Li no solo depende mais da evolução do solo (relevo, clima, água) que da rocha-mãe. O estudo também concluiu que o consumo de 250-300 g/dia de espinafre (1,15-1,38 mg de Li) constitui-se em importante fonte de nutrição na Jordânia, oferecendo aos consumidores o lítio diário necessário à saúde e demais benefícios sociais.

A ingestão de lítio acima de 10,41 mg/L pode provocar efeitos nocivos à saúde humana, segundo Amdisen (1980), enquanto Schauzer (2002) admite que o lítio é um elemento essencial, sugerindo a dose adequada de 1 mg/dia para uma pessoa de 70 kg. Schauzer (2002) assinala que a insuficiência desse elemento na dieta alimentar provoca distúrbios emocionais, como a depressão, podendo também estar associado a altas taxas de suicídios e homicídios. O lítio é amplamente utilizado na estabilização do humor das pessoas, principalmente no tratamento de distúrbio bipolar afetivo (psicose maníaco-depressiva).

Aproximadamente 3.200 pessoas que vivem nas margens dessas drenagens, em uma área de 600 km<sup>2</sup> situada nos municípios de Araçuaí e Itinga, possivelmente estão ingerindo água contendo Al acima do limite considerado nocivo ao ser humano (MS, 2004; CONAMA, 2008). Em vista da extensão do ambiente geológico (granitos e metassedimentos aluminosos) para regiões vizinhas (Figura 18), estima-se que, nessas localidades, desde Salinas, Virgem da Lapa, Jenipapo de Minas, Setubinha, Turmalina até Carbonita, a população rural – em torno de 50 mil pessoas – possa também estar exposta a esse elemento.



**Figura 18** – Regiões com o mesmo contexto geológico da área de pesquisa situada nos municípios de Araçuaí e Itinga (MG).

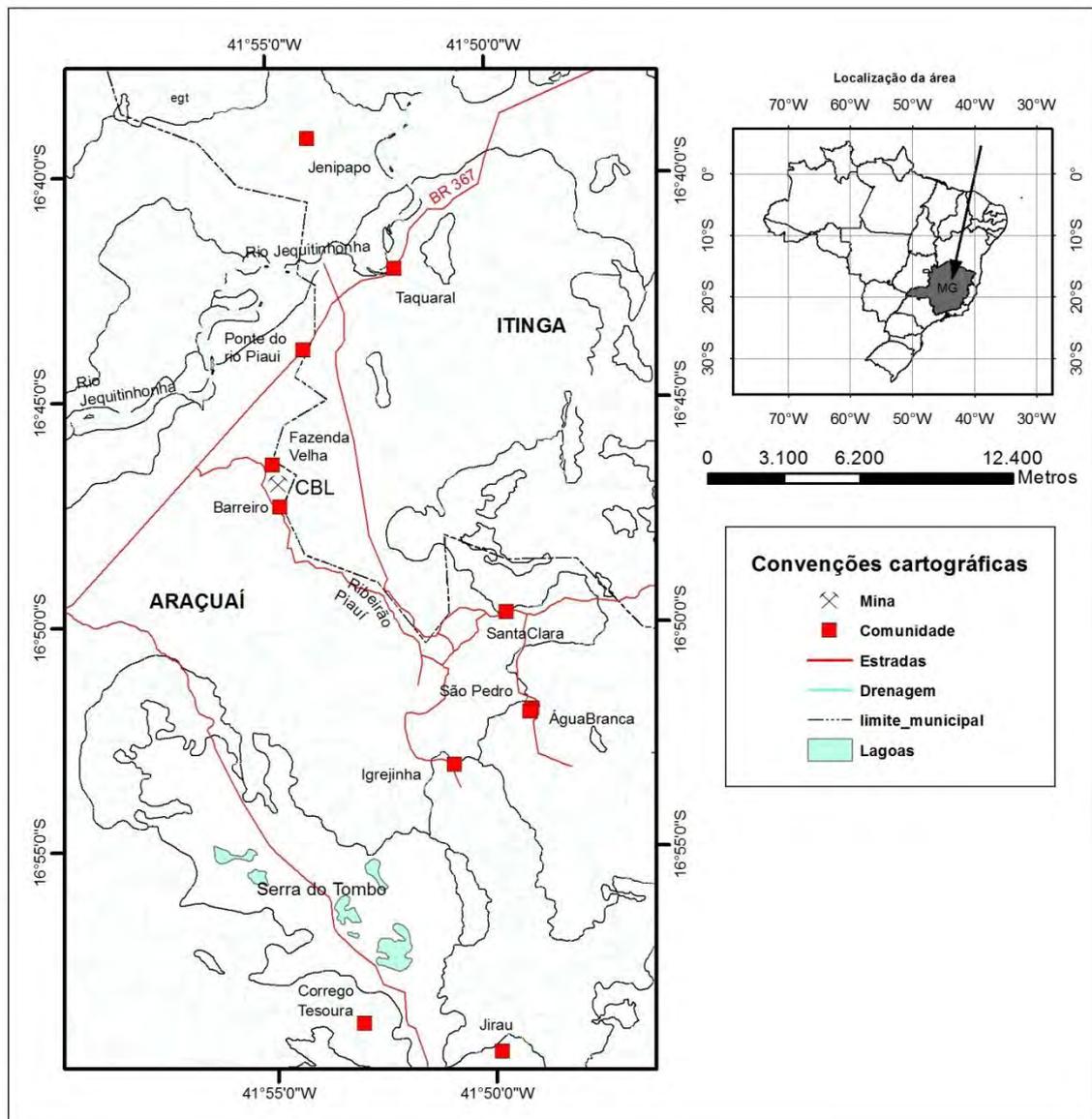
Fonte: Machado e Silva (2010).

## 6.4 Avaliação de Exposição Humana

Os estudos foram conduzidos por uma equipe multidisciplinar, composta por médicos, biólogos e geólogos, que estabeleceu a metodologia de coleta. O material biológico selecionado para a coleta foi o plasma, em função de se constituir no melhor indicador para alumínio.

Objetivando estudar e avaliar a exposição dessa população ao Al, inicialmente foi elaborado um projeto para avaliação dos níveis de alumínio na população exposta, conforme Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, o qual foi submetido e aprovado em 13 de agosto de 2009 à Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Iguazu (CEP/UNIG) (Anexo A).

Em seguida, foram selecionadas duas comunidades do município de Araçuaí – Igrejinha e Fazenda Velha – (Figuras 19 e 20), por terem apresentado em água de abastecimento teores de Al acima do permitido pelo Ministério da Saúde, e um grupo de pessoas submetidas a tratamento de diálise, as quais realizam três sessões semanais na cidade de Teófilo Otoni, distante 197 km de Araçuaí. Esse grupo foi escolhido devido à exposição ao Al antrópico (solução contendo Al utilizada na diálise) e sua relação com as duas populações (Igrejinha e Fazenda Velha) expostas ao ambiente natural.



**Figura 19** – Localização das comunidades Igrejinha (médio ribeirão Piauí) e Fazenda Velha (baixo ribeirão Piauí).



**Figura 20** – Vista parcial das comunidades Igrejinha (esq.) e Fazenda Velha (dir).

Utilizando a metodologia de pesquisa em Geologia Médica sugerida por Silva et al. (2010), antecedendo à etapa de coleta foram efetuadas reuniões com a Secretaria de Saúde do município de Araçuaí, a qual disponibilizou apoio pessoal, logístico e de infraestrutura, principalmente no primeiro contato com as populações a serem pesquisadas.

Ainda nessa fase foram efetuadas entrevistas junto às secretarias de Saúde de Araçuaí e Itinga, as quais apontaram que as doenças mais comuns na região são: insuficiência renal, hipertensão arterial, anemia, doenças relacionadas ao sistema nervoso, aparelho circulatório e diarreia.

A comunidade Igrejinha situa-se na margem esquerda do ribeirão Piauí, distando 23 km a sudeste de Araçuaí, com uma população aproximada de 380 pessoas (residentes no povoado e arredores). Procedeu-se à coleta de 99 amostras de sangue da população.

A localidade de Fazenda Velha localiza-se também na margem esquerda do ribeirão Piauí, 11 km a leste de Araçuaí, com população aproximada de 240 pessoas. Para análise de plasma foram coletadas 34 amostras de sangue da população local (Figuras 21 e 22).



**Figura 21** – *População de Igrejinha aguardando entrevista e coleta de sangue.*



**Figura 22** – *Coleta de sangue em habitantes de Fazenda Velha, realizada em uma igreja da região.*

Os resultados obtidos na comunidade Igrejinha (Tabela 9) mostram que, das 99 pessoas submetidas à análise de plasma (o Al varia de menos 1 a 337,86 µg/L e a mediana apresenta 10,98 µg/L de Al), 73% apresentam valores de Al acima de 3 µg/L (limite superior ao considerado normal por ATSDR, 2008); 55% apresentam valores de Al acima de 10 µg/L (limite de tolerância biológica para população não exposta, segundo Jeronymo e Fujimura, 1998), coincidindo com o estabelecido por CAH (2006) para pessoas sem histórico de insuficiência renal; 10% apresentam valores de Al acima de 60 µg/L; 4% apresentam valores de Al acima de 100 µg/L; 2% apresentam valores de Al acima de 200 µg/L (alto risco de toxicidade para populações de qualquer faixa etária e para grupos em tratamento de diálise, segundo Resolução 86/C104/04 da Comissão Europeia e CAH, 2006).

Destaca-se que, em Igrejinha, em 30 crianças com idade de 0 a 10 anos, os resultados das análises no plasma apresentaram valores de Al que variam de menos 1 µg/L a 337,86 µg/L e mediana de 14 µg/L. Mostraram, também, que 73% das crianças se encontram com valores de Al acima de 3 µg/L, 67% com valores de Al acima de 10 µg/L (riscos de toxicidade, segundo CAH, 2006), 17% com valores de Al acima de 60 µg/L, 10% com valores de Al acima de 100 µg/L (a partir desse valor, apresenta alto risco de toxicidade em crianças, segundo CAH, 2006) e 7% com valores de Al acima de 200 µg/L.

Em Fazenda Velha, os resultados das 34 amostras analisadas indicam (o Al varia de menos 1 a 170,92 µg/L e a mediana apresenta 4,66 µg/L de Al) que 56% das pessoas estão com valores de Al acima de 3 µg/L, 32% com valores de Al acima de 10 µg/L, 9% com valores de Al acima de 60 µg/L e 9% com valores de Al acima de 100 µg/L (Tabela 9).

Na avaliação conjunta das comunidades de Igrejinha e Fazenda Velha, relativa às 133 pessoas submetidas à análise de plasma, verificou-se a mediana de 9,12 µg/L de Al e que 68% da população estão com valores de Al acima de 3 µg/L (valor considerado normal por ATSDR, 2008); 49% apresentam valores de Al acima de 10 µg/L; 10% apresentam valores de Al acima de 60 µg/L; 5% apresentam valores de Al acima de 100 µg/L e 2% apresentam valores de Al acima de 200 µg/L.

Para os pacientes residentes na cidade de Araçuaí que participam do programa de tratamento em hemodiálise em Teófilo Otoni, os resultados das análises de plasma mostram, em µg/L de Al, que, do total de 16 amostragens (mediana de 49,10 µg/L, variando de menos 1 a 1309,11 µg/L), 94% estão com valores de Al acima de 3 µg/L, 75% com valores de Al acima de 10 µg/L (apresenta baixo risco de toxicidade), 44% com valores de Al acima de 60

$\mu\text{g/L}$  (indica risco de toxicidade a partir desse valor, segundo Resolução 86/C104/04), 25% com valores de Al acima de 100  $\mu\text{g/L}$  e 19% com valores de Al acima de 200  $\mu\text{g/L}$  (Tabela 9).

**Tabela 9** – Níveis de concentração de alumínio em plasma ( $\mu\text{g/L}$ ) nas populações das comunidades de Igrejinha e Fazenda Velha (Araçuaí) e no grupo em tratamento de diálise.

Local	Faixa Etária	Nº	Mediana	Mínimo	Máximo	N (%) Acima 3.00* $\mu\text{g/L}$	N (%) Acima 10.00** $\mu\text{g/L}$	N (%) Acima 60.00** $\mu\text{g/L}$	N (%) Acima 100.00* $\mu\text{g/L}$	N (%) Acima 200.00* $\mu\text{g/L}$
Igrejinha	0-10	30	14.14	<1	337.86	73	67	17	10	7
	11-60	61	9.12	<1	167.85	70	49	7	2	0
	Acima 60	8	9.35	<1	61.57	88	50	13	0	0
<b>Subtotal</b>		99	10.98	<1	337.86	73	55	10	4	2
Fazenda Velha	11-60	26	3.98	<1	170.92	54	35	8	8	0
	Acima 60	8	5.21	1,04	161.92	63	25	13	13	0
<b>Subtotal</b>		34	4.66	<1	170.92	56	32	9	9	0
<b>Subtotal Comunidades</b>		133	9.12	<1	337.86	68	49	10	5	2
Grupo de Diálise	11-60	14	62.05	<1	1309.1	93	79	50	29	21
	Acima 60	2	24.36	7.85	40.88	100	50	0	0	0
<b>Subtotal</b>		16	49.10	<1	1309.11	94	75	44	25	19
<b>Total Geral</b>		149	10.87	<1	1309.11	71	52	13	7	3

\* 3,00  $\mu\text{g/L}$ : até esse valor, é considerada normal a quantidade de Al no plasma, segundo ATSDR (2008).

\*\* segundo CAH (2006):

< 10  $\mu\text{g/L}$ : para pessoas sem histórico de insuficiência renal;

< 60  $\mu\text{g/L}$ : apresenta baixo risco de toxicidade em pacientes com insuficiência renal;

> 60  $\mu\text{g/L}$ : acumulação excessiva; risco de toxicidade em crianças;

> 100  $\mu\text{g/L}$ : alto risco de toxicidade em crianças;

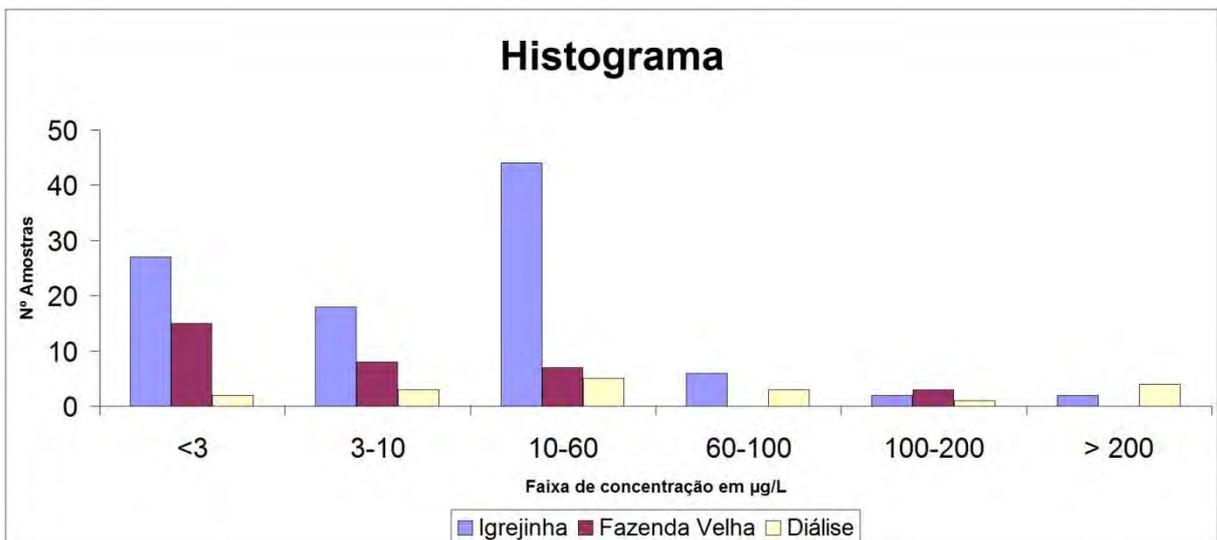
> 200  $\mu\text{g/L}$ : alto risco de toxicidade em qualquer faixa etária.

Em relação à população dialítica estudada por Jeronymo e Fujimura (1998), o grupo de diálíticos residentes em Araçuaí encontra-se em estado mais crítico de toxicidade: enquanto a referida população apresenta 15% de indivíduos com valores de Al acima de 60  $\mu\text{g/L}$ , o grupo de diálíticos de Araçuaí apresenta três vezes (44%) mais alumínio no plasma.

Segundo Oliveira et al. (2005), os resultados de pesquisa realizada junto a pacientes com insuficiência renal crônica, submetidos a tratamento dialítico na Casa de Saúde de Santa Maria (RS), com a finalidade de verificar se há influência da água e de alimentos ingeridos pelos pacientes nos níveis de alumínio sérico, apontaram que as amostras de água apresentaram níveis de alumínio entre 0,003 e 0,439 mg/L. Entre os alimentos, os maiores níveis foram encontrados no arroz (92 mg/kg), na alface (48 mg/kg) e no leite (1,7 mg/L). Sucos artificiais e refrigerantes também apresentaram níveis elevados de alumínio – entre 0,06 e 0,257 mg/L. A pesquisa concluiu que não foi observada relação entre os níveis de alumínio sérico e de alumínio presentes na água ingerida pelos pacientes; porém, foi constatada relação entre alguns alimentos ingeridos e o nível de alumínio encontrado no soro dos pacientes.

O teor de alumínio no plasma do grupo em tratamento de diálise não deve ser comparado ao das duas populações avaliadas nesta pesquisa. Enquanto o grupo de diálises de Araçuaí está exposto ao alumínio pelos fluidos da hemodiálise, além do Al disponibilizado pela ingestão de água e de alimentos, as populações de Igrejinha e Fazenda Velha estão expostas ao alumínio naturalmente, pela ingestão de água e alimentos.

Verifica-se, pelos resultados das análises de plasma, pela concentração de Al *versus* número de amostras (Figura 23), que a concentração maior, acima do normal, encontra-se nas faixas de 3 a 10  $\mu\text{g/L}$  e 10 a 60  $\mu\text{g/L}$ .



**Figura 23** – Histograma dos resultados de alumínio em plasma por faixas de concentração versus número de amostras, em Igrejinha, Fazenda Velha e grupo em tratamento de diálise.

Para verificar a incerteza dos resultados, efetuou-se tratamento estatístico (Tabela 10) nos dados analíticos de 133 amostras de plasma relativas às populações das comunidades de Igrejinha e Fazenda Velha, o qual apontou: valor mínimo: 0,29  $\mu\text{g/L}$ ; valor máximo: 337,86  $\mu\text{g/L}$ ; média: 33  $\mu\text{g/L}$ ; mediana: 9,12  $\mu\text{g/L}$ ; incerteza dos resultados das análises nas referidas amostras: 13% para mais ou para menos.

**Tabela 10** – *Dados estatísticos da incerteza relativa aos resultados analíticos das amostras de plasma das populações de Igrejinha e Fazenda Velha.*

Média	33
Erro padrão	5
Mediana	9,12
Incerteza (%)	13
Desvio-padrão	49,2
Variância da amostra	2424,25
Curtose	17,19
Assimetria	3,71
Intervalo	337,6
Mínimo	0,29
Máximo	337,86
Soma	3363,94
Contagem	133

O resumo dos resultados das análises de sedimento, solos, água, alimento vegetal da área de pesquisa e no plasma das populações das comunidades rurais de Igrejinha e Fazenda Velha localizadas no município de Araçuaí (MG) é apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11** – *Resultados das análises de alumínio em sedimento, solos, água e alimento vegetal da área de pesquisa e no plasma das populações das comunidades Igrejinha e Fazenda Velha.*

<b>Tipo de Amostra</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>
Sedimentos	2500	23800	7500 mg/kg
Solos	10300	63595	27850 mg/kg
Água	0	0,930	0,200 µg/L
Alimento vegetal	50	4948	437 mg/kg
Plasma	< 1	337,86	9,12 µg/L

Segundo o balanço descrito no subitem 6.3, relativo à ingestão (dose) de Al pelas populações expostas através da ingestão de água de abastecimento e, principalmente, de alimentos vegetais, o valor na faixa de 13.110 µg (13,11 mg) a 78.660 µg (78,66 mg) de Al que pode ser retido pelo corpo humano justifica os valores de Al encontrados no plasma, mediana de 10,87 µg/L e valores elevados de até 337,86 µg/L (resposta) nas comunidades de Igrejinha e Fazenda Velha. O grupo em tratamento de diálise apresenta valores de Al no plasma quatro vezes mais elevado que os habitantes das comunidades retromencionadas, possivelmente relacionados à absorção através dos fluidos da hemodiálise e como consequência da insuficiência renal.

As espécies de Al em água obtidas nesta pesquisa (Araçuaí-Itinga), através do *software* Visual MINTEQ, foram  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e  $\text{Al}(\text{OH})_2^{+2}$ . Tal situação é similar à descrita por Smith et al. (1996) em Mukono (Uganda), onde os valores de pH estão acima de 5 e as espécies dominantes de Al são os complexos de hidroxilas com matéria orgânica e complexos de flúor (resultados de especiação utilizando o PHREEQVE code).

Provavelmente, a exposição da população estudada seja, principalmente, através de alimento, com menor contribuição da água, face ao pH da água ser, em geral, acima de 6,5, e onde o  $\text{Al}^{+3}$ , considerado o mais nocivo, encontra-se não solúvel. As espécies de Al predominantes na água com pH acima de 5, segundo o diagrama de fases (Driscoll e Shecher, 1990 apud Smith et al., 1996), são soluções químicas constituídas por complexos de Al-F, hidróxidos e matéria orgânica.

Quanto ao lítio, também analisado no plasma das populações de Igrejinha e Fazenda Velha e no grupo em tratamento de diálise, assim como em sedimentos, solos, águas e vegetais (hortaliças), apresenta o seguinte resultado: a mediana encontrada é inferior a 7-10 µg/L, valor considerado normal no plasma humano (Ward et al., 1994); apenas 6% das populações analisadas apresentaram valores no plasma acima de 7 µg/L (Tabela 12).

**Tabela 12** – Resultados de análises de lítio em sedimentos, solos, água e alimento vegetal da área de pesquisa e no plasma das populações de Igrejinha e Fazenda Velha e no grupo em tratamento de diálise.

<b>Tipo de Amostra</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>
Sedimentos	10,70	84,44	33,7 mg/kg
Solos	17,20	281,40	72,6 mg/kg
Água	0,70	4293,40	0,80 µg/L
Alimento vegetal	0,26	6,68	1,63 mg/kg
Plasma	0,06	101,97	1,06 µg/L

Segundo ATSDR (2006), a ingestão excessiva de Al pode causar efeitos músculo-esqueléticos, dor nas articulações e amolecimento dos ossos. A exposição de gestantes ao Al pode prejudicar tanto o sistema nervoso dos fetos como os lactantes, pois as crianças continuam expostas ao alumínio através do leite materno. Indivíduos com comprometimento da função renal diminuem a excreção urinária e, conseqüentemente, aumentam a absorção de Al no corpo, inclusive, ficando expostos ao risco de demência relacionado a esse elemento químico.

A síndrome “demência de diálise”, descrita por Alfrey et al. (1972) em grupos de pacientes em tratamento hemodialítico, caracteriza-se por uma dificuldade na fala que evolui até a completa incapacidade para falar, ao coma e, muitas vezes, à morte.

Martyn et al. (1989) apresentaram um levantamento das taxas de acometimento de Doença de Alzheimer em pessoas com idade inferior a 70 anos em 88 distritos da Inglaterra e País de Gales, demonstrando que o risco dessa doença foi uma vez e meia (1,5) maior em bairros onde a concentração de alumínio em água de abastecimento, ao longo dos últimos 10 anos, apresentou média acima de 0,11 mg/L que em bairros onde as concentrações foram inferiores a 0,01 mg/L. Esses resultados apontam forte correlação da quantidade de alumínio em água *versus* Doença de Alzheimer.

Flaten et al. (1996) relatam que ampla gama de efeitos tóxicos do alumínio tem sido demonstrada em plantas e animais aquáticos, experimentação em animais por diversas vias de exposição, bem como sob diferentes condições clínicas em humanos. A toxicidade do alumínio é um grande problema na agricultura, afetando cerca de 40% dos solos aráveis no mundo. Nos seres humanos com insuficiência renal crônica em tratamento dialítico, o Al causa encefalopatia, osteomalacia e anemia.

Há, também, relatos de tais efeitos em determinados grupos de doentes sem insuficiência renal. Efeitos sutis, cognitivos e psicomotores, assim como anormalidades em eletroencefalogramas foram detectados em níveis plasmáticos de Al abaixo de 50 µg/L. Crianças são particularmente sensíveis à acumulação e toxicidade do Al, contribuindo para redução da função renal.

Destacam, ainda, que maiores esforços devem ser direcionados para definição de efeitos potencialmente prejudiciais em seres humanos. Para esse fim, a investigação pluridisciplinar colaborativa é incentivada, envolvendo cientistas de diferentes especialidades. A ênfase deve ser dada ao aumento da compreensão da química do Al em sistemas biológicos e na determinação dos mecanismos celulares e moleculares da toxidez de Al.

Posteriormente, Flaten (2001) assinala que o alumínio é um poderoso elemento químico neurotóxico e que há evidências de que esse elemento pode desempenhar significativo papel na etiologia e patogênese da Doença de Alzheimer; mas, se a ligação é causal, ainda está aberta ao debate.

Flaten (2001) também informa que 9 entre 13 estudos epidemiológicos publicados nos últimos anos sobre Al na água potável *versus* Doença de Alzheimer mostraram, estatisticamente, significativas relações positivas. Constata, ainda, que a ingestão de água potável com altas concentrações de Al apenas contribui com uma pequena fração do total da ingestão diária, principalmente em relação aos consumidores regulares de antiácidos. Por outro lado, estudos epidemiológicos relacionados à exposição a antiácido *versus* Doença de Alzheimer têm se mostrado negativos.

Suay e Ballester (2002) procederam a uma revisão dos estudos epidemiológicos publicados relacionados à ingestão de água potável, a qual revelou que as populações expostas a concentrações superiores a 0,1 mg/L de Al apresentaram fator de risco duas vezes maior para desenvolver a Doença de Alzheimer. Assinalam que outras formas de exposição ao Al (alimentos, medicamentos e ocupacional) têm recebido pouca atenção, necessitando, em vista do efeito tóxico do Al sobre a saúde humana, de estudos mais aprofundados e monitoramento constante.

Depreende-se que os estudos disponíveis sobre a toxicidade do alumínio nos seres humanos estão relacionados, principalmente, a indivíduos que apresentam insuficiência renal, inclusive com valores de referência para orientação de diagnóstico clínico (ATSDR, 2008; CAH, 2006; Jeronymo e Fujimura, 1998; Resolução 86/C104/04 da Comissão Europeia).

Verifica-se, também, que a exposição ao Al mais investigada está relacionada à ingestão de água potável por populações sem insuficiência renal (Martyn et al. 1989; Suay e Ballester, 2002).

À luz dos dados disponíveis, sugere-se para indivíduos normais o valor de 1-3 µg/L de Al no plasma (ATSDR, 2008), sendo que o limite de tolerância biológica humana é de 10 µg/L no plasma. Ressalta-se que, a partir desse valor, aumenta o risco de toxicidade para populações normais de qualquer faixa etária, principalmente crianças. Para pacientes em tratamento de hemodiálise, face à insuficiência renal, valores acima de 60 µg/L de Al no plasma oferecem risco de toxicidade (CAH, 2006; Jeronymo e Fujimura, 1998).

Na área de estudo, o processo de exposição ao Al inicia-se pelas rochas aflorantes (metassedimentos, granitos e cobertura laterítica), ricas em minerais aluminosos (Tabela 13). Após os processos de intemperização e de pedogênese, tais minerais disponibilizam no solo cerca de 52,92% de Al oriundos, principalmente, dos óxidos de alumínio, juntamente com outros elementos químicos também presentes nos minerais/rochas. Estes, em parte, após serem solubilizados, podem ser absorvidos pelos vegetais e/ou seguir para as águas subterrâneas e superficiais.

**Tabela 13** – Conteúdo de alumínio dos principais minerais que ocorrem nas rochas da área de pesquisa.

Minerais	Fórmula Química	Percentual de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Percentual de Al (%)
Andaluzita	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	62,92	33,30
Estaurolita	(Fe,Mg) <sub>2</sub> Al <sub>9</sub> O <sub>6</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sup>4</sup> (O,OH) <sub>2</sub>	54,00	28,57
Silimanita	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	62,92	33,30
Espodumênio	LiAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	27,00	14,28
Muscovita	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	38,36	20,30
Biotita	K(Mg,Fe <sup>++</sup> ) <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	11,76	6,22
Feldspato	K,Na,Ca(SiAl) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	18,40	9,73
Berilo	Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	18,97	10,03

Semelhantes processos (rocha-solo-alimento) ocorrem em Neves Corvo (Portugal), na Faixa Piritosa Ibérica, para o alumínio (Batista, 2003), como também no vale do rio Jordão, para o lítio (Ammari et al., 2010).

Em virtude de elevada concentração de alumínio encontrada em solos, alimentos vegetais, águas de abastecimento (sem tratamento) e no plasma dos indivíduos amostrados nesta pesquisa, sugere-se a rota rocha-solo-água-alimento-indivíduos de exposição ao alumínio na população rural de Araçuaí-Itinga, principalmente da bacia hidrográfica do ribeirão Piauí.

## 7 ESTRATÉGIA DE COMUNICAÇÃO DE RISCO

Após conhecimento do problema que afeta determinada população, a ética profissional nos impõe comunicar os resultados a essa população de forma realista. É recomendável que, primeiramente, os resultados sejam informados aos responsáveis pela saúde pública local, por vezes também do meio ambiente, lideranças sociais e políticas, e, com eles, sejam debatidas as formas de enfrentamento do problema. Em seguida, deve-se promover uma reunião com a população sob risco, com a participação dos responsáveis retromencionados, para comunicar os resultados e debater propostas de mitigação e monitoramento.

Segundo Di Giulio e Figueiredo (2005), o objetivo maior da comunicação de risco à saúde humana é fornecer informação sobre a probabilidade de exposição a determinado fator e a natureza e extensão de suas consequências. Esses autores relatam, de forma inédita na área de Geologia Médica, as dificuldades – tanto dos responsáveis pela pesquisa quanto dos jornalistas que cobriram o caso – para comunicação dos riscos à exposição ao chumbo que a população de Vila Mota está exposta, em vista da proximidade dos rejeitos da metalurgia da mina de Panelas, no município de Adrianópolis (PR).

Essa comunicação é complexa, pois o grau de incerteza varia de acordo com a quantidade de dados disponíveis da pesquisa, face às inúmeras variáveis que envolvem a avaliação do ser vivo – muitas vezes, a população pode estar exposta a determinada substância nociva e não apresentar problemas de saúde. Por exemplo, algumas comunidades ribeirinhas dos rios Madeira (AM) e Tapajós (PA), significativamente expostas a mercúrio por meio do elevado consumo de peixe, não apresentam, em especial, sinais ou sintomas da Doença de Minamata. Pesquisadores sugerem que isso seja devido à atuação do selênio, encontrado em castanhas e outras fontes naturais que formam a dieta alimentar dessas comunidades (Choil et al. 2008; Fonseca et al. 2007, 2008; Lemire et al. 2011).

Para alcançar a eficácia pretendida, é fundamental que se defina a mensagem a ser comunicada, assim como os objetivos da comunicação e o público-alvo. Ressalta-se que a percepção do risco pode ser significativamente prejudicada se não houver suficiente compreensão dos potenciais efeitos sobre a saúde. Portanto, as informações devem ser transmitidas com segurança, clareza e objetividade, pois, apesar da excelência científica de um trabalho, pode-se ganhar descrédito popular se a comunicação for deficiente ou incompleta, levando à perda também da credibilidade da ciência como instrumento a ser utilizado para o bem-estar das pessoas.

Seguindo tal metodologia, os resultados desta pesquisa foram apresentados, em 1 de fevereiro de 2011, aos representantes da Gerência de Vigilância Ambiental/Superintendência de Epidemiologia da Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais, Fundação Estadual do Meio Ambiente (MG), Fundação Ezequiel Dias do Estado de Minas Gerais e CPRM/SGB (Anexo B).

Dando continuidade ao trabalho, a próxima etapa se constitui, juntamente com a Secretaria de Estado de Saúde do Estado de Minas Gerais, na comunicação dos referidos resultados aos órgãos responsáveis pela saúde dos municípios de Araçuaí e Itinga e à população exposta, bem como acompanhar as medidas mitigadoras que forem adotadas para a região.

## 8 CONCLUSÃO

Os dados geológicos e geoquímicos apontam que mais de 80% da área estudada apresentam valores de Al, em água, superiores ao recomendado pelos órgãos de saúde e ambiental (MS, ATSDR, WHO, CONAMA). Os solos também disponibilizam altas quantidades de Al, que estão sendo absorvidas pelas hortaliças, que, por sua vez, apresentam valores elevados de Al.

Os resultados geoquímicos demonstram que os metais que ocorrem na área são de origem natural, ou seja, do próprio ambiente. Por outro lado, não foram encontradas evidências em águas, solos e alimentos de que problemas de saúde dos moradores da bacia do ribeirão Piauí possam ser causados por descartes e rejeitos das mineradoras e garimpos atuantes na região.

O estudo aponta que a rota do alumínio é rocha-solo-água (sem tratamento)-alimentos locais, sendo que esses dois últimos são ingeridos pela população rural que reside às margens dos ribeirões, principalmente os moradores da bacia hidrográfica do ribeirão Piauí.

Estima-se que aproximadamente 3.200 pessoas que vivem às margens dessas drenagens, em uma área de 600 km<sup>2</sup> situada nos municípios de Araçuaí e Itinga, estão ingerindo água e alimentos contendo Al acima do limite considerado nocivo ao ser humano (MS, 2004; CONAMA, 2008; FAO/WHO, 2006).

Nas comunidades Igrejinha e Fazenda velha, os resultados mostraram que 68% da população estão expostos ao Al (acima de 3 µg/L); 49% apresentam valores de Al acima de 10 µg/L; 10% apresentam valores de Al acima de 60 µg/L; 5% apresentam valores de Al acima de 100 µg/L; 2% apresentam valores de Al acima de 200 µg/L. Segundo CAH (2006), esses valores de referência, à exceção do primeiro, referem-se a pacientes com insuficiência renal; para estes, valores de Al a partir de 60 µg/L no plasma oferecem riscos de toxicidade.

Especial atenção deve ser dada às crianças, as quais apresentam maior risco à exposição natural ao alumínio, e aos pacientes dialíticos, por estarem também com elevada exposição.

Os estudos em Medicina constatarem, cada vez mais, doenças relacionadas a exposições ao meio ambiente, sejam pela indústria (principalmente ocupacional) ou natural, via ingestão de água, alimentos, poeira, contato dermal etc., havendo necessidade de trabalhos interdisciplinares, constituídos por equipes multidisciplinares (médicos, geólogos, geógrafos, agrônomos, dentistas, veterinários, biólogos, farmacêuticos etc.).

Esta pesquisa corrobora a Geologia Médica como valioso instrumento de prevenção e segurança que deve ser utilizado por empresas de mineração no desenvolvimento de seus empreendimentos, visando ao bem-estar da população. Sugere-se que tais empresas procedam a uma avaliação da quantidade natural dos elementos químicos que possam ser nocivos à saúde ambiental existentes no local e na vizinhança do empreendimento. As análises de sedimentos, solos, águas e plantas devem ser realizadas antes da implantação do empreendimento, durante a execução das atividades minerárias (monitoramento anual) e após o seu encerramento.

O presente estudo possibilitou a elaboração de dois artigos: “Proposta para Avaliação de Riscos Geológicos à Saúde Ambiental em Áreas de Mineração” (Apêndice A) e “Medical Geology Applied to the Exposure of Aluminum in the Araçuaí-Itinga Pegmatite District, Minas Gerais, Brazil” (Apêndice B), os quais foram, respectivamente, submetidos à “Revista Brasileira de Geociências”, em julho de 2010, e ao “Journal Environmental Geochemistry and Health”, em junho de 2011, encontrando-se ambos em fase de revisão.

Para remediar a situação encontrada, relativa ao elevado teor de alumínio disponível naturalmente a que está exposta a população rural que ingere águas sem tratamento, recomendam-se:

- Estudos clínicos e epidemiológicos nas populações de Igrejinha, Fazenda Velha e no grupo em tratamento de hemodiálise, para verificar se o alumínio ingerido está intoxicando-as e causando mal à saúde.
- Aprofundamento de estudos do comportamento do alumínio no corpo humano, bem como na definição precisa de valores de referência em indicadores biológicos.
- Sugerir (ou fornecer) à população exposta a utilização de filtros com carvão ativado, que eliminam boa parte do alumínio.
- Sugerir à população exposta variar a dieta alimentar, adquirindo alimentos de outras regiões.
- Aplicar insumos nos solos, como calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), para melhor desenvolvimento da agricultura e para neutralizar, em parte, a disponibilização do alumínio no solo e na água das drenagens.
- Estudos de Geologia Médica, em vista da extensão do ambiente geológico (granitos e metassedimentos aluminosos) para outras regiões, nos municípios adjacentes de Salinas, Virgem da Lapa, Jenipapo de Minas, Setubinha, Turmalina até Carbonita. Estima-se que essa região tenha uma população rural em torno de 50 mil pessoas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFREY, A.C.; MISHELL, J.M.; BURKS, J.; CONTIGUGLIA, S.R.; RUDOLPH, H.; LEVIN, E.; HOLMES, J.H. Syndrome of dyspraxia and multifocal seizures associated with chronic hemodialysis. **Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs.**, n. 18, p. 257-26, 1972.
- ALMEIDA, F.F.M. O cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-64, 1977.
- AMMARI, T.G.; AL-ZU'BI, Y.; ABU-BAKER, S.; DABABNEH, B.; GNEMAT, W.; TAHBOUB, A. The occurrence of lithium in the environment of the Jordan valley and its transfer into the food chain. **Environmental Geochemistry and Health** [publicado online em 26 set. 2010].
- AMDISEN, A. Serum concentration and clinical supervision in monitoring of lithium treatment. **Ther Drug Monit**, n. 2, p. 73-83, 1980.
- APPLETON, J.D.; FUGE, R.; MCCALL, G.J.H. (Eds.). Environmental geochemistry and health with special reference to developing countries. **Geological Society of London**, Special Publication, n. 113, p. 153-61, 1996.
- ATSDR. **Public health assessment guidance manual**. Boca Raton: Publishers, 1992. 220 p.
- ATSDR. **Toxicological profile for aluminum** (draft for public comment). U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia, 2006.
- ATSDR. **Toxicological profile for aluminum**. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia, 2008.
- BATISTA, M.J.A.F. **Comportamento de elementos químicos no sistema rocha-solo-sedimento-planta na área mineira de Neves Corvo: implicações ambientais**. Tese (Doutorado) – Universidade de Aveiro, Portugal, 2003. Disponível em: <[http://e-geo.ineti.pt/edicoes\\_online/teses/mjb/mjb.htm](http://e-geo.ineti.pt/edicoes_online/teses/mjb/mjb.htm)>. Acesso em: 29 nov. 2010.
- BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; BAARS, F.J.; DELGADO, I.M.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; GERSON, M.M.M.; SANTOS, J.O.S. (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. 673 p. [Texto, mapas & SIG].
- BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Subsídios para construção da política nacional de saúde ambiental**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2007. 56 p.: il. (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em: <[http://conselho.saude.gov.br/biblioteca/livros/subsi\\_miolo.pdf](http://conselho.saude.gov.br/biblioteca/livros/subsi_miolo.pdf)>. Acesso em: 03 de maio 2011.
- CAH. **Aluminium**. Birmingham, Guildford, Leeds, London (Kings, MTU), Southampton, Glasgow, 2006.
- CARVALHO, F.M.; BARRETO, M.L.; SILVANY-NETO, A.M.; WALDRON, H.A.; TAVARES, T.M. Multiple causes of anaemia amongst children living near a lead smelter in Brazil. **Sci. Total Environ.**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 71-84, Apr. 1984.

CAPITANI, E.M. de. **Alterações respiratórias em trabalhadores expostos a poeiras de abrasivos de tipo corindo**. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

CAPITANI, E.M. de. Epidemiologia e a geologia médica. In: Silva, C.R.; Figueiredo, B.R.; De Capitani, E.M.; Cunha, F.G. **Geologia médica no Brasil**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. Cap. 3, p. 15-20.

CASTILHOS, Z.C.; SOARES, P.S.M.; TRINDADE, R.B.E.; BARBOSA, J.P.; HUYSSTEEN, E.V. **Avaliação de risco ambiental na recuperação de áreas degradadas**. Estudo de caso: região carbonífera catarinense. CT 2003-073-00. Contribuição técnica elaborada para o Seminário Brasil-Canadá de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas, 2003, v. 1, p. 197-217, Florianópolis, SC.

CFS. Aluminium in food. **Risk Assessment Studies**, Report n. 35, may 2009. Chemical Hazard Evaluation. Centre for Food Safety. Food and Environmental Hygiene Department. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.

CHOIL, A.L.; CORDIER, S.; WEIHE, P.; GRANDJEAN, P. Negative confounding in the evaluation of toxicity: the case of methylmercury in fish and seafood. **Crit. Rev. Toxicol.**, 38(10): 877-893, 2008.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. **Resolução n. 196/96**: diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. 1996. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/bioetica/res19696.htm>>. Acesso em: 24 nov. 2011.

CORTECCI, G. **Geologia e salute**. Bologna: Università degli Studi di Bologna, 2002.

CUNHA, F.G. **Contaminação humana e ambiental por chumbo no vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná, Brasil**. 2003. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003a.

CUNHA, F.G. **Manual simplificado sobre os procedimentos de coleta de água superficial e de consumo doméstico**. Rio de Janeiro: CPRM, 2003b. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

CUNHA, F.G. **Estudos de geoquímica ambiental e geologia médica em áreas com contaminação por atividades de mineração e de processos industriais associados**. Rio de Janeiro: CPRM, 2004. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 30 maio 2010.

DANTAS, S.T.; SARON, E.S.; DANTAS, F.B.H.; YAMASHITA, D.M.; KIYATAKA; P.H.M. Determinação da dissolução de alumínio durante cozimento de alimentos em panelas de alumínio. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 2, abr./jun. 2007.

DEUTSCH, W.J. **Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination**. Florida. Lewis Publishers, 1997. 221 p.

DEVECCHI, G.C.R.; FERREIRA, P.C.; ABREU, K.A.; TREVILATO, T.M.B.; MUÑOZ, S.I.S. Níveis de alumínio e zinco em água coletada em dois municípios que possuem diferentes fontes de captação e tratamento no estado de São Paulo. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 619-27, out./dez. 2006.

DI GIULIO, G.M.; FIGUEIREDO, B.R. Comunicação nas áreas de meio ambiente e saúde pública: o caso do vale do Ribeira. In: FIGUEIREDO, B.R. et al. **Estudos geoquímicos e ecotoxicológicos do vale do Ribeira – SP/PR**. Campinas: FAPESP/UNICAMP/CPRM, 2005.

DISSANAYAKE, C.B.; CHANDRAJITH, R. **Introduction to medical geology: focus on tropical environments**. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 297 p. (Erlangen Earth Conference Series).

FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants. **WHO Technical Report Series**, Roma, n. 940, 2006. Sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.

FERREIRA PINTO, M.C. (Org.). **Manual medição *in loco*: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual\\_medicoes\\_T\\_%20pH\\_OD.pdf](http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf)>. Acesso em: 30 maio 2010.

FIGUEIREDO, B.R. A contaminação ambiental e humana por chumbo no vale do Ribeira (SP-PR). **ComCiência**, Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.comciencia.br>>. Acesso em: 25 fev. 2010.

FIGUEIREDO, B.R. (Coord.). **Paisagens geoquímicas e ambientais do vale do Ribeira**. São Paulo: FAPESP/UNICAMP/CPRM, 2006.

FIGUEIREDO, B.R. et al. Medical geology studies in South America. In: SELINUS, O.; FINKELMAN, R.B.; CENTENO, J.A. (Eds.). **Medical geology: a regional synthesis**. London: Springer Dordrecht Heidelberg, 2010. p. 79-106. 392 p.

FINKELMAN, R.B.; SELINUS, O.; CENTENO, J.A. Medical geology in developing countries. Part 1. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 29, n. 2, april 2007. Special Issue.

FLATEN, T.P. Aluminum as a risk factor in Alzheimer's disease, with an emphasis on drinking water. **Brain Research Bulletin**, v. 55, n. 2, p. 187-96, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science>>. Acesso em: 14 maio 2011.

FLATEN, T.P.; ALFREY, A.C.; BIRCHALL, J.D.; SAVORY, J.; YOKEL, R.A. Status and future concerns of clinical and environmental aluminum toxicology. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, n. 48, p. 527-42, 1996.

FONSECA, M.F.; TORRES, J.P.M.; MALM, O. Interferentes ecológicos na avaliação cognitiva de crianças ribeirinhas expostas a metilmercúrio: o peso do subdesenvolvimento. **Oecol. Bras.**, 11(2): 277-296, 2007.

FONSECA, M.F.; DOREA, J.G.; BASTOS, W.R.; MARQUES, R.C.; TORRES, J.P.M.; MALM, O. Poor psychometric scores of children living in isolated riverine and agrarian communities and fish-methylmercury exposure. **Neurotoxicology**, 29: 1008-1015, 2008.

FRIZZO, S.J. **Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2006. 64 f. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 2 abr. 2010.

GUILHERME, M.C.G. **Carbonato de lítio: utilização da espectrofotometria de absorção atômica em bioequivalência e perfil de uso na pediatria.** 2007. 118 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

JERONYMO, S.A.; FUJIMURA, H.Y. Dosagem de alumínio no soro de indivíduos sadios e em pacientes com insuficiência renal crônica mantidos ou não em tratamento dialítico. **J. Bras. Nefrol.**, v. 20, n. 2, p. 144-50, 1998.

KAHWAGE, M.A. **Minerais gemológicos da região de Araçuaí-Itinga (MG): modo de ocorrência, características e métodos de beneficiamento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

LEMIRE, M.; FILLION, M.; FRENETTE B.; PASSOS, C.J.; GUIMARÃES, J.R.; BARBOSA, F. Jr. O selênio de fontes alimentares e funções motoras na Amazônia brasileira. **Neurotoxicology**, 32(6): 944-53, 2011.

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. 236 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

LINS, C.A.C. **Manual técnico PGAGEM\_Brasil.** Rio de Janeiro: CPRM, 2003. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/programa.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2010.

LOPES, I. Jr.; SILVA, C.R.; MARQUES, C. Contaminações naturais de elementos metálicos nas águas da bacia hidrográfica do ribeirão Piauí, município de Itinga, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006.

MACAMBIRA, E.M.B.; VIGLIO, E.P. Caracterização geoquímica das águas de sistema de abastecimento público da Amazônia oriental. In: SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; DE CAPITANI, E.M.; CUNHA, F.G. (Eds.). **Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente.** Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 220 p. Cap. 26, p. 174-82.

MACHADO, M.; SILVA, S.F. **Mapa geodiversidade do estado de Minas Gerais, Brasil.** Belo Horizonte: CPRM, 2010. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/geodiversidade>>.

MARTYN, C.N.; BARKER, D.J.; OSMOND, C.; HARRIS, E.C.; EDWARDSON, J.A.; LACEY, R.F. Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. **Lancet**, 1(8629): 59-62, 1989.

MATSCHULLAT, J.; BORBA, R.P.; DESCHAMPS, E.; FIGUEIREDO, B.F.; GABRIO, T.; SCHWENK, M. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. **Applied Geochemistry**, n. 15, p. 181-90, 2000.

MENEGASSE, L.N.; OLIVEIRA, F.R.; MOURÃO, M.A.A. et al. Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. **Revista Americana de Hidrogeologia**, n. 3, p. 49-58, 2003.

OLIVEIRA, S.M.R.; BERTAGNOLLI, D.; BOHRER, D.; NASCIMENTO, P.C.; POMBLUM, S.C.G.; ARANTES, L.C.; BARROS, E.J.G. Nível sérico de alumínio: influência da água e de alimentos ingeridos por pacientes com insuficiência renal crônica mantidos em hemodiálise. **J. Bras. Nefrol.**, v. XXVII, n. 3, 2005.

OMENN, G.S. The risk assessment risk management paradigm. In: ROBSON, M.G.; TOSCANO, W. (Eds.). **Risk assessment for environmental health**. Forword by Berwick USA. Cap. 2, p. 11-31, 2007. 628 p.

OPRESKO, D.M. **Toxicity summary for lithium**. Prepared for Oak Ridge Reservation Environmental Restoration Program, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1995. Disponível em: <<http://risk.lsd.ornl.gov/tox/profiles/lith>>.

PAES, V.J.C.; RAPOSO, F.O.; PINTO, C.P.; OLIVEIRA, F.A.R. **Folha Itaobim**: escala 1:100.000. Belo Horizonte: CPRM, 2009. Mapa e relatório. Projeto Jequitinhonha. Programa Geologia do Brasil.

PAIVA, G. Províncias pegmatíticas do Brasil. **Boletim**, Rio de Janeiro, n. 78, p. 13-21, 1946. DNPM/DFPM.

PAOLIELLO, M.M.B. **Exposição humana ao chumbo e cádmio em áreas de mineração, Vale do Ribeira, Brasil**. 2002. 173 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

PEDROSA-SOARES, A.C.; WIEDEMANN, C.M. Evolution of the Araçuaí belt and its connection to the Araçuaí-Ribeira belt, eastern Brazil. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.). **Tectonic evolution of South America**, 31<sup>st</sup> IGC, 2000. p. 265-85.

PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; WIEDEMANN, C.M.; PINTO, C.P. The Araçuaí-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, n. 110, p. 307-23, 2001.

PEDROSA-SOARES, A.C.; CHAVES, M.; SCHOLZ R. **Eastern brazilian pegmatite province**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITIC PEGMATITES, 4., 2009. Field Trip Guide. PEG2009. 28 p.

PERILLO, A. **Mapa geológico**: folha Almenara, escala 1:250.000. Belo Horizonte: CPRM, 1995. Programa Levantamento Geológico Básico.

PLANT, J.A.; ANNEELLS, R.N.; HASLAM, H.W.; STEENFELT, A.; VARET, J. Sustainability of the earth's surface environment: a european geoscience perspective. **British Geological Survey Research Report**, 2001.

ROMEIRO, J.C.P. **Controle da mineralização de lítio em pegmatitos da mina da Cachoeira, Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

ROMEIRO, J.C.P.; PEDROSA-SOARES, A.C. Controle do minério de espodumênio em pegmatitos da mina da Cachoeira, Araçuaí, MG. **Geonomos**, v. 13, n. 1/2, p. 75-81, 2005.

RUBY, E.C. **Qualidade ambiental de solos agrícolas da bacia do rio Jaguari**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SÁ, J.H.S. **Pegmatitos litiníferos da região de Itinga-Araçuaí, Minas Gerais**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

SANTOS, M.V. **Estudo da interação entre alumínio e os constituintes de formuladores de eritropoetina empregando HPLC e AAS**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

SCHAUZER, G.N. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 14-21, 2002.

SELINUS, O. Geologia médica. In: SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M. de; CUNHA, F.G. (Eds.). **Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 220 p. Cap. 1, p. 1-5.

SELINUS, O.; ALLOWAY, B.; CENTENO, J.A.; FINKELMAN, R.B.; FUGE, R.; LINDH, U.; SMEDLEY, P. (Eds.) **Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health**. Burlington-MA, USA: Elsevier Academic Press, 2005.

SELINUS, O.; FINKELMAN, R.B.; CENTENO, J.A. (Eds.). **Medical geology: a regional synthesis**. London, New York: Springer Dordrecht Heidelberg, 2010. 392 p.

SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M. de; CUNHA, F.G. (Eds.). **Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 220 p.

SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M. de. Geologia médica no Brasil. In: SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M. de; CUNHA, F.G. (Eds.). **Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 220 p. Cap. 2, p. 6-14.

SILVA, C.R.; MELLO, E.F.; ALMEIDA, C.N. **Proposta para avaliação de riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 23 p. [artigo submetido e aceito pela Revista Brasileira de Geociências em 8 jul. 2010].

SINGH, S. **Theoretical basis for medical geology**. Sarawak: University Malaysia, 2004.

SKINNER, H.C.W.; BERGER, A.R. (Eds.). **Geology and health: closing the gap**. Oxford: Oxford University Press, 2003. Chapter 20, p. 129-34.

SMITH, B. Geochemistry and toxicity of naturally occurring aluminum: summary report. **BGS Technical Report**, 1995. 18 p.

SMITH, B.; BREWARD, N.; CRAWFORD, M.B.; GALIMAKA, D.; MUSHIRI, S.M.; REEDER, S. The environmental geochemistry of aluminium in tropical terrains and its implications to health. **Geological Society**, London, n. 113, p. 141-52, 1996. Special Publications.

SUAY, L.L.; BALLESTER, D.F. Review of studies on exposure to aluminum and Alzheimer's disease. **Rev. Esp. Salut Publ.**, v. 76, n. 6, p. 645-58, 2002.

VELÁSQUEZ, L.N.M.; FANTINEL, L.M.; FERREIRA, E.F.; CASTILLO, L.S.; UHLEIN, A.; VARGAS, A.M.D.; ARANHA, P.R.A. Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil. In: SILVA, C.R.;

FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M. de; CUNHA, F.G. (Eds.). **Geologia médica no Brasil**: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 220 p. Cap. 17, p. 110-17.

VIGLIO, E.P. **O alumínio nas bacias dos rios São Francisco e Doce no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2010. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/geologia\\_medica](http://www.cprm.gov.br/geologia_medica)>.

WARD, M.E.; MUSA, M.N.; BAILEY, L. Clinical pharmacokinetics of lithium. **Journal Clin. Pharmacol.**, n. 34, p. 280-85, 1994.

WHO. **Environmental Health Criteria 194**. Aluminum, International Programme on Chemical, ONU, 1997. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm>>.

WHO. **Temas de saúde**: saúde ambiental. 2007. Disponível em: <[http://www.who.int/topics/environmental\\_health/es/index.html](http://www.who.int/topics/environmental_health/es/index.html)>. Acesso em: 03 de maio 2011.

## APÊNDICE A – Artigo Submetido à Revista Brasileira de Geociências

### PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS À SAÚDE AMBIENTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO

**Cassio Roberto da Silva** – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) – Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: cassio.silva@cprm.gov.br

**Edson Farias Mello** – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: mello@geologia.ufrj.br

**Cícera Neysi de Almeida** – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: neysi@geologia.ufrj.br

#### Resumo

Com a proposta ora apresentada, tendo por base trabalhos relacionados a geologia e saúde, objetiva-se consolidar uma rotina de trabalho – sem pretensão de esgotar o assunto – para avaliação de riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração. A partir da definição de uma área ou de um problema de saúde, procede-se ao planejamento das atividades de escritório e campo – constituídas por estudos geológicos e geoquímicos – e definidos os materiais a serem amostrados (água, solos, sedimento de corrente, vegetação, ar) e a densidade de amostragem. Ao se constatar que a área apresenta valores de elementos/substâncias acima do permitido pelos órgãos de saúde, procura-se estabelecer a origem e o caminho que o elemento químico percorreu desde a rocha (causa) até o corpo humano (efeito) e se tais elementos/substâncias estão atuando nocivamente na população a eles exposta, por meio de estudos epidemiológicos e/ou ecotoxicológicos. Com o resultado desses estudos, torna-se possível estabelecer o diagnóstico, permitindo, assim, combater, remediar ou mesmo sanar o mal existente. É fundamental que na avaliação de populações expostas ocorra a participação das autoridades responsáveis pela saúde pública, assim como a comunicação dos resultados deve se dar de forma cautelosa, para evitar mal-entendidos ou alarmes desnecessários. Esse estudo de geologia médica é recomendado para áreas onde se pretenda instalar um empreendimento, como a mineração, que possa causar impactos à saúde humana e ambiental. É importante efetuar-lo antes da instalação do empreendimento, durante a execução das atividades e após a desativação.

**Palavras-chave:** metodologia para geologia médica, saúde e mineração, geoquímica ambiental, riscos geológicos à saúde ambiental.

#### Abstract

### PROPOSED TO THE ASSESSMENT OF GEOLOGICAL RISKS THE ENVIRONMENTAL HEALTH IN MINING AREAS

This proposal based upon works of geology and environmental health aims at setting up a routine of work to evaluate geological hazards caused to human and environmental health in mining areas. From the detection of an area or a health issue, field and office planning activities are carried out, including geological and geochemical studies, type and amount of samples to be analyzed (water, soils, stream sediments, vegetation, air). Once an area shows chemical values above that one's allowed by health agencies, the origin and path of the chemical element are followed from the bedrock (origin) to the human being (disease) and if the element is harmful to the population living in that place through epidemiologic and/or toxicological medical inquires. As a result, it is possible to establish the diagnosis, thus permitting to remedy or even cure the existent disease. One outstanding issue is the involvement of all health authorities in charge of public health, so as the communication of the results should be careful as to avoid future misunderstandings or false alarms. The study of medical geology is recommended for areas in which one intends to implement, for instance, a mining business that can impact human and environmental health. It's quite important to perform it before the venture installation, during its execution and in the end of all activities.

**Keywords:** methodology for medical geology, health, mining and environmental geochemistry, geological risks the health environmental.

## INTRODUÇÃO

Os conceitos relativos aos termos riscos à saúde ambiental foram discutidos por Faustman and Omenn (2001) e Omenn and Faustman (2002) apud Omenn (2007), para os quais osumidamente, definem que risco é a probabilidade da ocorrência de efeito adverso a saúde a partir de exposições específicas. Segundo Brasil (2007), “O campo da saúde ambiental compreende a área da saúde pública, afeita ao conhecimento científico e à formulação de políticas públicas e as correspondentes intervenções (ações) relacionadas à interação entre a saúde humana e os fatores do meio ambiente natural e antrópico que a determinam, condicionam e a influenciam, com vistas a melhorar a qualidade de vida do ser humano, sob o ponto de vista da sustentabilidade”.

Destaca ainda, “Conforme entendimento acordado no I Seminário da Política Nacional de Saúde Ambiental, realizado em outubro de 2005, trata-se de um campo de práticas intersetoriais e transdisciplinares voltadas aos reflexos, na saúde humana, das relações ecogeossociais do homem com o ambiente, com vistas ao bem-estar, à qualidade de vida e à sustentabilidade, a fim de orientar políticas públicas formuladas com utilização do conhecimento disponível e com participação e controle social”.

A saúde ambiental está relacionada com todos os fatores físicos, químicos e biológicos externos de uma pessoa. Engloba a avaliação e o controle dos fatores ambientais que podem afetar a saúde. É direcionada para a prevenção de doenças e criação de ambientes propícios à saúde. Essa definição exclui os comportamentos não relacionados ao meio ambiente, bem como comportamentos relacionados com os ambientes social e econômico e com a genética (WHO, 2007).

A partir dessas considerações, define-se o risco geológico à saúde ambiental como a probabilidade de ocorrência de efeito adverso à saúde humana e ambiental, a partir da exposição de materiais e processos geológicos naturais ou antrópicos como sedimento de corrente, solos, água, ar, gás e poluentes, em vista de seu conteúdo de elementos químicos, bem como vulcões, terremotos, deslizamentos e enchentes.

A Geologia, nos últimos 10 anos, vem se destacando como importante instrumento de avaliação ambiental e de saúde pública, por meio de uma nova disciplina denominada Geologia Médica, a qual pode ser descrita, em sentido amplo, como “o estudo das relações entre os fatores geológicos naturais e induzidos pelo homem e a saúde, visando ao bem-estar dos seres humanos e outros organismos vivos”.

Em sentido estrito, a Geologia Médica é uma “ciência” multidisciplinar que estuda as variações regionais na distribuição dos elementos químicos, principalmente os metálicos e metaloides, seu comportamento geológico-geoquímico, as contaminações naturais e antrópicas e os danos à saúde humana, animal e/ou vegetal por excesso ou deficiência.

Os seres vivos necessitam, para sua sobrevivência, de determinados elementos químicos, os quais são ingeridos, principalmente, através da água e dos alimentos. Para os humanos, são essenciais os macronutrientes Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S, O, H, S; e micronutrientes, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, F, I, Si. A carência e/ou o excesso desses elementos acarreta prejuízo à saúde. Os elementos Al, Cd, Hg, Tl, Pb, Sn, As, Sb e radioativos são considerados tóxicos. Os demais carecem de estudos mais aprofundados.

As rochas, quando alteradas, liberam esses elementos, que são incorporados ao solo e levados às águas de subsuperfície ou transportados pela drenagem. O homem e os animais os ingerem via alimentos (as plantas assimilam os elementos disponíveis no solo), água e ar.

Exemplos de contaminação humana gerada por fatores ambientais são encontrados em vários países do mundo: Argentina, Bangladesh e Chile (arsênio), China (selênio), Estados Unidos (iodo), dentre outros. No Brasil, registram-se pesquisas efetuadas por: Carvalho *et al.* (1984), em Santo Amaro da Purificação (Bahia), para os elementos chumbo e cádmio; Matschullat *et al.* (2000), no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais), para arsênio; Paoliello (2002), Cunha (2003a) e Figueiredo (2005), no Vale do Ribeira (São Paulo/Paraná), para chumbo; Licht (2001) e Velasquez *et al.* (2006), respectivamente, nos municípios de Itamaracá (Paraná) e São Francisco (Minas Gerais), para flúor.

No Brasil, desde 2003 funciona a Rede de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (REGAGEM) ([regagem@ige.unicamp.br](mailto:regagem@ige.unicamp.br)), que congrega mais de 250 pesquisadores (geólogos, médicos, dentistas, veterinários, biólogos, geógrafos, estudantes).

Também, a partir de 2003, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) passou a disponibilizar artigos, teses, projetos, palestras de eventos em seu portal (<http://www.cprm.gov.br>). Foi lançado, em 2006, no Congresso Brasileiro de Geologia, realizado em Aracaju, o livro *Geologia Médica no Brasil* (Silva *et al.* 2006), contendo 30 artigos de pesquisadores brasileiros.

Dentre os trabalhos sobre avaliação de riscos, destacam-se os da Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), com o manual orientativo para avaliação de saúde pública, o artigo de Castilhos *et al.* (2003), que trata da avaliação de risco ambiental na recuperação de áreas degradadas na região carbonífera de Santa Catarina, e o trabalho de Cunha (2004), que define etapas para o desenvolvimento dos estudos de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica, com base no estudo desenvolvido por Cunha (2003) e na metodologia utilizada pela Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada às Áreas com Solo Contaminado (VIGISOLO – Ministério da Saúde), a qual está fundamentada no método desenvolvido pela ATSDR.

Em termos internacionais, a International Medical Geology Association (IMGA) congrega pesquisadores de vários países, destacando-se geólogos, médicos, dentistas, químicos, biólogos, geógrafos e agrônomos. A entidade divulga as pesquisas relacionadas a geologia e saúde no portal <<http://www.medicalgeology.org>>.

A literatura disponível sobre o assunto inclui, principalmente, os livros: *Geology and Health* (Skinner & Berger 2003), *Essentials of Medical Geology* (Selinus *et al.* 2005), *Earth Materials and Health* (NRCIM 2007) e *Introduction to Medical Geology* (Dissanayake & Chandrajith 2009). Destaca-se recente estudo efetuado por Figueiredo *et al.* (2010) na América do Sul sobre arsênio (As), cobre (Cu), flúor (F), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), selênio (Se), urânio-tório (U-Th) e geofagia.

Considerando que a Geologia Médica é um importante instrumento de caráter inovador para a sociedade, mas que carece de um balizador orientativo que auxilie os novos pesquisadores, apresenta-se, neste artigo, uma proposta baseada em parte nos trabalhos citados acima, para avaliar os riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração.

### **ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOQUÍMICOS**

O estudo geológico-geoquímico visa a determinar a abundância e a dispersão dos elementos químicos que possam ser utilizados como indicadores de contaminação natural ou antrópica. Por outro lado, a presença abundante de minerais considerados tóxicos na natureza ou relacionados à poluição provocada pelo homem pode influenciar a saúde da população que a eles esteja exposta.

Associados aos levantamentos geoquímicos, em determinadas situações outros atributos da geologia são fundamentais para determinar a origem de problemas, como tipo de rocha, sequência estratigráfica, estrutural etc., pois a contaminação pode estar associada a veios mineralizados (As, Pb, Cd etc.), a certas direções preferenciais de fraturas ou a água pode apresentar variações em seu conteúdo original por causa do rebaixamento do nível da água de aquíferos, passando a expor e alterar minerais subjacentes antes inertes, os quais podem conter elementos químicos nocivos, anteriormente não detectados.

As mineralizações, principalmente de metálicos, podem ocasionar graus diferenciados de contaminação ao meio ambiente, a depender não somente dos teores primários dos elementos, como também da interação das rochas com diversos fatores do meio físico, tais como: dinâmica do fluxo de água subterrânea, características dos sistemas hidrológicos, formas de relevo e sua história evolutiva, condições climáticas, dentre outras.

Sabendo-se que a contaminação natural pode ser potencializada durante a exploração de corpos mineralizados, impõe-se a execução de estudos geoquímicos, a fim de se identificar o comportamento de elementos e substâncias, de modo a prevenir e/ou controlar os seus prováveis efeitos prejudiciais ao ecossistema.

Nesse sentido, o levantamento geoquímico, baseado na análise quantitativa em sedimentos de corrente, águas e solos, possibilita determinar as carências e os enriquecimentos dos elementos no meio ambiente, ressaltando as possíveis contaminações em áreas mineralizadas prejudiciais à saúde das comunidades mineiras/garimpeiras e circunvizinhas.

As características hidroquímicas obtidas pela análise das águas superficiais e subterrâneas que circulam em determinados tipos de rochas e o estudo da potabilidade das águas para consumo humano completariam o quadro de beneficiamento social.

O entendimento do comportamento dos elementos maiores e elementos-traços no ambiente mineralizado é fundamental para ampliação do conhecimento e desenvolvimento técnico-científico nos estudos de Geologia Médica, contribuindo para o controle e prevenção de impactos ambientais, definição de indicadores de problemas de saúde e doenças endêmicas (alergias, pulmonares, neurológicas, bócio, cardiopatias, câncer etc.), bem como para a determinação da expansão das áreas mineralizadas.

As informações obtidas no estudo de geoquímica ambiental podem ser estendidas, também, para animais que convivem no mesmo ambiente que a população local.

### **Planejamento e materiais**

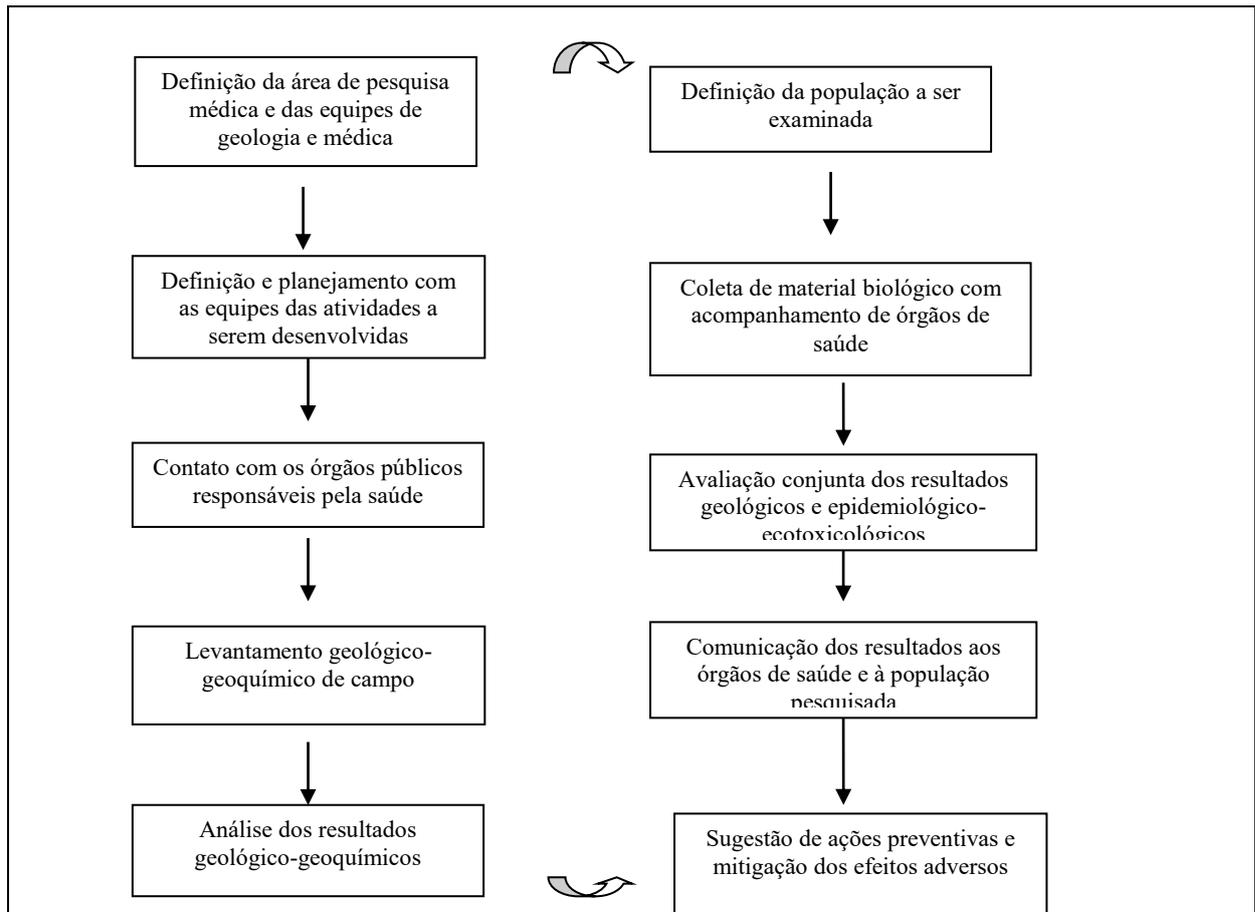
Nessa fase de planejamento, é necessário analisar as informações disponíveis relacionadas ao contexto geológico, mineralização, mineração, assim como as questões sociais e ambientais.

A contaminação humana ocorre, em geral, através da água, alimentos, ar e contato dérmico. Assim, para determinar se elementos químicos nocivos estão geodisponíveis, é necessário amostrar e analisar a água e os alimentos que a população em estudo ingere diariamente, visando diagnosticar a origem e o caminho dos elementos que provocam a doença.

As plantas (alimentos) absorvem os minerais necessários e nocivos à dieta humana. Esses minerais, ao serem liberados das rochas pelo intemperismo, podem ser incorporados em minerais neoformados, como os óxido-hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, precipitados como carbonatos, ou disponíveis em solução na água. Quando solubilizados no solo, podem ser percolados em subsuperfície ou transportados na superfície pela drenagem.

Os sedimentos podem guardar o registro dos elementos químicos de extensa área geográfica que ocorrem a montante do local amostrado, ou seja, toda a bacia de captação da drenagem amostrada. Os solos, em geral, quando não são transportados, tendem a ter em sua constituição os mesmos elementos químicos das rochas. As águas também apresentam o registro dos elementos químicos que ocorrem a montante da bacia; entretanto, é um registro temporal, que pode ser modificado com o passar dos dias, meses ou anos.

Os dados geoquímicos configurados pela quantificação dos elementos permitem caracterizar a situação de risco de uma determinada região onde se desenvolve algum tipo de mineração que pode causar riscos à saúde e ao meio ambiente. Assim, constituem rotina a ser seguida: (i) coleta de sedimentos de corrente, solos, águas de drenagem e de abastecimento humano e de vegetais; (ii) análise e interpretação dos dados levantados (Figura 1).



**Figura 1** – Síntese das etapas a serem seguidas em estudo de geologia médica.

A definição da área de estudo pode ser efetuada em função da dispersão do elemento químico em sedimento e água a partir de sua fonte. Em seguida, elabora-se o mapa de amostragem de sedimento, solo, água e alimento. Em uma área de 600 km<sup>2</sup>, por exemplo, a densidade de amostras de sedimentos de corrente e água de drenagem (na mesma estação) pode ser de uma amostra para cada bacia com uma área de captação de 14 km<sup>2</sup>. Para a coleta de solos, sugere-se que se faça uma malha regular também nessa densidade. As águas de abastecimento humano a serem amostradas devem ser as que servem às comunidades rurais ou urbanas, sejam de drenagem, açudes, fontes naturais e/ou poços subterrâneos.

A coleta de alimentos deve ser efetuada em uma fase posterior, ou seja, após identificação das áreas onde foram detectados valores elevados (acima do permitido pelos órgãos de saúde) nos solos, água e sedimentos. Após essa identificação, deve-se proceder, no mesmo local, a uma nova amostragem de água, solo e alimento.

É comum efetuar por medidas (coordenadas) de GPS (Global Positioning System/Sistema de Posicionamento Global) a localização em toda estação/ponto de amostragem. Ressalta-se a importância de uma base cartográfica contendo, além da geologia, drenagem, estradas e demais acessos.

#### **Atividades de campo**

Para o sucesso das atividades de campo, é necessário haver bom planejamento, definindo-se com clareza os locais a serem amostrados, as formas de acessos, bem como o número de amostras, dimensionando-se, adequadamente, a duração do período em campo para as amostragens e o reconhecimento geológico da região, prevendo-se paralisações devido a chuvas ou quebra de veículo.

### *AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUPERFICIAL E DE ABASTECIMENTO*

A metodologia para coleta e preservação de amostras de água ora apresentada é baseada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton & Franson 2005), no Manual Simplificado sobre os Procedimentos de Coleta de Água Superficial e de Consumo Doméstico (Cunha 2003a) e na experiência dos autores deste artigo.

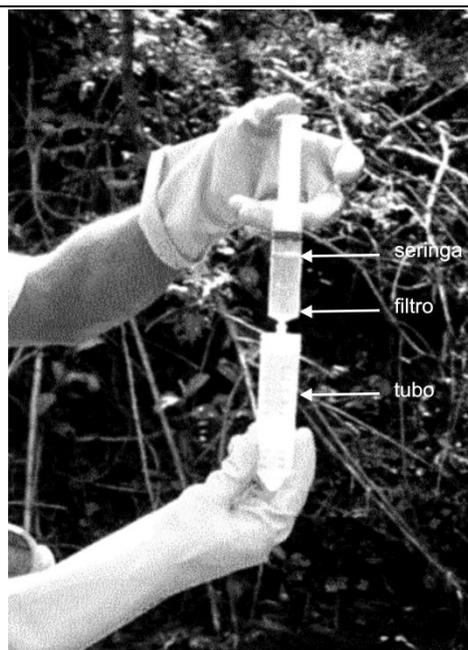
Em vista de essa proposta também prever a coleta de sedimento, recomenda-se que a coleta de água seja efetuada no mesmo local da coleta do sedimento de corrente e das medições dos parâmetros físico-químicos, coletando-se em cada estação duas amostras de água, que serão armazenadas em tubos identificados com o tipo de análise a que a amostra será submetida: cátions por ICP/OES ou ICP/MS e ânions por Cromatografia de Íons.

A coleta de águas de abastecimento deve ser realizada a montante ou no local (poços) que abastece as comunidades expostas, quando não contemplada a amostragem efetuada na malha de coleta das águas de drenagens.

Para tais amostragens, serão necessários: mapas com o planejamento das amostragens; GPS; tubos para centrifugas com volume de 50 ml; caixa de isopor e bolsas térmicas com gel, para conservar as amostras refrigeradas; unidades filtrantes, para retirar sedimentos em suspensão (poluição, argilas em época de chuvas etc.); seringas descartáveis sem agulha; HNO<sub>3</sub> com concentração 1:1, armazenado em um conta-gotas.

Os procedimentos para a coleta são:

- Escolher um local adequado na margem do rio para o manuseio dos equipamentos, para medir os parâmetros físico-químicos. Preferencialmente, introduzir as sondas na água do rio; caso não seja possível, coletar a água em uma vasilha previamente lavada com a água desse rio e, imediatamente, proceder à leitura para pH, Temperatura, Oxigênio Dissolvido e Condutividade.
- Encher a seringa sem o filtro
- Anexar o filtro na ponta da seringa e filtrar a água para os dois tubos de centrifuga (Figura 2). Repetir essa ação até o volume de 50 ml para cada tubo.
- Adicionar 20 gotas de HNO<sub>3</sub> com concentração 1:1 para manter o pH < 2 em um dos tubos.
- Escrever no corpo dos tubos o número da amostra e identificar as que serão analisadas para cátions por ICP/OES (amostras nas quais foi adicionado HNO<sub>3</sub>) ou por ICP-MS, quando requerer mais precisão (principalmente para os elementos-traço) e para ânions por Cromatografia de Íons.
- Descartar seringas e filtros após cada amostragem (não reutilizá-los em hipótese alguma).
- Manter as amostras refrigeradas até o momento das análises.
- Para coleta de águas de consumo humano, seguir os mesmos procedimentos para águas superficiais; recomenda-se que, antes de coletar amostra de água de torneiras, escoar a água por alguns minutos, para eliminar as prováveis impurezas do encanamento.



**Figura 2:** Coleta da amostra de água (observar a posição do filtro entre a seringa e o tubo) (Cunha 2003b).

Os filtros também serão úteis, caso haja interesse em se conhecer a saúde ambiental das várzeas, pois os materiais em suspensão neles retidos podem ser recuperados. Dessa forma, é possível aferir seu volume e peso para estimar os sedimentos em suspensão. Bem como, analisá-los quimicamente, pois eles farão parte dos solos das várzeas em que, geralmente, são cultivados arroz, legumes e hortaliças. Observa-se, pela análise dos valores limiares para águas de uso doméstico, potável e águas subterrâneas, que há diferenças de interpretação para alguns elementos e que essas diferenças também ocorrem entre os vários órgãos internacionais (Tabela 1).

<b>Tabela 1:</b> Valores limiares para águas de uso doméstico, potável e águas subterrâneas.					
<b>PARÂMETRO</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>PORTARIA 518 (MS/2004)<sup>1</sup></b>	<b>CONAMA 396 (2008)<sup>2</sup></b>	<b>CETESB (2005)<sup>3</sup></b>	<b>WHO (2008)<sup>4</sup></b>
pH	-	6 a 9,5	6 a 9*	-	-
OD	mg/L O <sub>2</sub>	-	>5*	-	-
TSD	mg/L	1,000	500*	-	1000
Turbidez	UT	5	100*	-	-
Alumínio	mg/L	0,2	0,2	0,2	-
Antimônio	MG/L	-	0,005	-	-
Arsênio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Bário	mg/L	0,7	0,7	0,7	0,7
Berílio	mg/L	-	0,004	-	-
Boro	mg/L	-	0,5	-	-
Cádmio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,003
Chumbo	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobalto	mg/L	-	-	0,005	-
Cobre	mg/L	2	2	2	2
Cromo hexa	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Ferro solúvel	mg/L	0,3	0,3	0,03	0,5
Manganês	mg/L	0,1	0,1	0,4	0,4
Mercurio	mg/L	-	0,001	-	-
Molibdênio	mg/L	-	0,07	0,07	0,07
Níquel	mg/L	-	0,020	0,02	0,02
Prata	mg/L	-	0,1	-	-
Selênio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Sódio	mg/L	200	200	-	-
Zinco	mg/L	5	5	5	-
Cloretos	mg/L	250	250	-	-
Fluoretos	mg/L	1,5	1,5	-	1,5
Nitrito	mg/L	1	1	-	3
Nitrato	mg/L	10	10	-	50
Sulfatos	mg/L	250	250	-	-
Vanádio	mg/L	-	0,05	-	-

**Fontes:**  
<sup>1</sup> Portaria nº 518, de 25.03.2004, do Ministério da Saúde (MS).  
<sup>2</sup> Resolução nº 396/2008, de 03.04.2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Ministério do Meio Ambiente (MMA).  
<sup>3</sup> Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23.11.2005, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).  
<sup>4</sup> Guidelines for Drinking-Water Quality. 3<sup>th</sup> ed. Geneva: World Health Organization (WHO).  
\* Resolução nº 357/2005, de 17.03.2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

### PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS

No caso da água, é extremamente importante a medição dos parâmetros físico-químicos de temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, Eh e pH, no próprio local de amostragem, isto é, no momento da coleta da amostra de água.

A temperatura desempenha um papel de destaque no controle do meio aquático e suas variações são parte do regime climático normal de uma região. Entretanto, as variações de temperatura, influenciadas por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade de coleta da amostra podem alterar os demais parâmetros físico-químicos, que são extremamente importantes para a interpretação e conclusões dos estudos geoquímicos.

A condutividade depende diretamente da temperatura, fornece a quantidade de sais existentes na água, dando uma boa indicação das modificações na composição química da água. Representa uma medida indireta da concentração de poluentes e, conseqüentemente, da sua potabilidade: acima de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a água é imprópria para consumo humano; até 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , é utilizada para dessedentação de animais. O oxigênio dissolvido (OD) refere-se ao oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ) dissolvido na água. A concentração de OD nos cursos d'água depende de: temperatura, pressão atmosférica, salinidade, atividades biológicas, características hidráulicas (existência de corredeiras ou cachoeiras) e, de forma indireta, de interferências antrópicas, como lançamento de efluentes nos cursos d'água. O conteúdo de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L é impróprio para consumo humano.

O potencial de redução (Eh) é a espontaneidade ou a tendência de uma espécie química adquirir elétrons e, desse modo, ser reduzido. Reações de oxirredução (redox) podem determinar a mobilidade de muitos compostos inorgânicos. Além disso, as condições redox regem as indicações para a degradação biológica dos contaminantes constituídos por hidrocarbonetos. Cada espécie tem seu potencial intrínseco de redução. Utilizando-se diagramas Eh x pH, obtêm-se indicativos da especiação de metais em água.

Dos parâmetros físico-químicos medidos no local da amostragem, o pH (potencial hidrogeniônico) é o único que não depende diretamente da temperatura; porém, é muito importante nos estudos ambientais porque influencia diversos equilíbrios químicos (mobilidade dos elementos, ligações químicas, meios ácidos/básicos) que ocorrem naturalmente nos corpos d'água. O pH é uma medida da intensidade do caráter ácido de uma solução. É dado pela atividade do íon hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), sendo medido potenciométricamente e apresentado em uma escala antilogarítmica. A escala de pH, compreendida entre 0 e 14, indica se o meio é ácido, básico ou neutro, quando o pH for menor, maior ou igual a 7, respectivamente. O pH é uma propriedade expressa unidimensionalmente, ou seja, sem unidade.

O pH básico contribui para a precipitação de elementos tóxicos, como os metais pesados, inibindo a sua geodisponibilidade; ao passo que o pH ácido favorece a disponibilidade dos referidos elementos, exercendo também efeitos sobre a solubilidade de nutrientes.

Assim, é imprescindível, para os estudos ambientais, que, no momento da coleta da amostra, proceda-se à medição dos parâmetros físico-químicos em equipamentos portáteis, específicos para esse fim (Figura 3). Os procedimentos em detalhe da medição são descritos em Ferreira Pinto (2007).



**Figura 3:** Equipamentos utilizados para leitura dos parâmetros de pH, OD, temperatura e condutividade.

#### AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS DE CORRENTE E SOLOS

O adensamento da amostragem de sedimento e solo pode ser diferenciado por questões relacionadas à importância das áreas amostradas e acesso, porém, respeitando-se a dimensão da área da drenagem e buscando, sempre, cobrir toda a área em estudo, o suficiente para detectar os elementos químicos objeto da pesquisa, considerando-se a sua dispersão.

Lins (2003), no manual do PGAGEM da CPRM/SGB, sugere esta rotina de procedimentos:

- A amostragem dos sedimentos de corrente deve ser realizada na zona de deposição de finos da calha da drenagem, efetuando-se coleta composta definida em uma faixa em torno de 100 m ao longo da drenagem, a montante do acesso.
- As amostras de solo deverão ser coletadas nos primeiros 25 cm, nas faixas onde o solo for mais espesso.
- A quantidade de sedimento a ser amostrado deve ser aproximadamente 2-3 kg, peneirados em campo na fração 60 *mesh* (peneira de náilon). Para solos, é necessário 1 kg. O material a ser enviado para análise deverá ter quantidade suficiente para fornecer aproximadamente 100 g de finos (Figura 4).



**Figura 4:** Amostragem de sedimento de corrente (esq.); amostragem de solos em barranco de estrada, após a limpeza com enxadão utilizar pá ou colher de plástico para efetuar a coleta (dir.).

Recomenda-se que todos os locais de coleta de amostra sejam fotografados em duas posições: uma de forma a abranger a paisagem o mais amplo possível e outra do local específico da coleta, mantendo-se, assim, o registro de todas as amostragens, o qual poderá auxiliar, se for necessário retornar a determinado ponto.

Para as análises laboratoriais, sugere-se que as amostras de sedimento de corrente e de solo sejam analisadas em laboratório ICP-MS com digestão por água-régia, para Hg por AAGV, para Se por AAGH com digestão por  $\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$ . Convém lembrar que o avanço da tecnologia e a rapidez da informação fizeram com que os equipamentos e processos analíticos progredissem muito rapidamente nos últimos anos; assim, é de bom alvitre manter-se atualizado quanto às melhorias introduzidas na área.

Para as amostras de solos, sugerem-se duas aberturas diferentes: por EDTA 5% e abertura total (água-régia), para fins de comparação dos resultados: a água-régia é um agente oxidante que, durante o processo de ataque químico, pode modificar a valência dos metais. Esse efeito só pode ser deduzido por meio da extração dos metais em meios mais ou menos acidificados. É possível, também, compararem-se os dois métodos, pois a água-régia detecta os elementos contidos na estrutura dos minerais, ao passo que o EDTA detecta apenas os elementos livres e os adsorvidos.

Os valores em solos que devem sofrer intervenção por parte dos órgãos responsáveis pela saúde pública são fornecidos pela CETESB (Tabela 2).

**Tabela 2:** Quantidades de referência (*background*), prevenção (contaminados) e de intervenção (prejudiciais à saúde) de parte dos metais e substâncias em solo brasileiro

Valores Orientadores – Solos (mg/kg) – CETESB					
Substância	Referência de Qualidade (VRQ)	Prevenção (VP)	(VI)		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Antimônio	<0,5	2	5	10	25
Arsênio	3,5	15	35	55	150
Bário	75	150	300	500	750
Boro	-	-	-	-	-
Cádmio	<0,5	1,3	3	8	20
Chumbo	17	72	180	300	900
Cobalto	13	25	35	65	90
Cobre	35	60	200	400	600
Cromo	40	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-
Mercurio	0,05	0,5	12	36	70
Molibdênio	<4	30	50	100	120
Níquel	13	30	70	100	130
Nitrato (como N)	-	-	-	-	-
Prata	0,25	2	25	50	100
Selênio	0,25	5	-	-	-
Vanádio	275	-	-	-	1.000*
Zinco	60	300	450	1000	2000
Nitrito	mg/L	1,0	1	-	3
Nitrato	mg/L	10,0	10	-	50
Sulfatos	mg/L	250	250	-	-
F Total	mg/L	0,025	-	-	-

\*Valor obtido na Resolução CONAMA nº 420/2009.

**Legenda:**

**Valor de Referência de Qualidade (VRQ)** é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea, e é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos e amostras de águas subterrâneas de diversos aquíferos do estado de São Paulo. Deve ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas.

**Valor de Prevenção (VP)** é a concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Esse valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Foi determinado para o solo com base em ensaios com receptores ecológicos. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida a nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder ao monitoramento dos impactos decorrentes.

**Valor de Intervenção (VI)** é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola-Área de Proteção Máxima – APMax, Residencial e Industrial. Para a água subterrânea, consideram-se como valores de intervenção as concentrações que causam risco à saúde humana listadas na Portaria 518, de 26 de março de 2004, do Ministério da Saúde (MS), complementada com os padrões de potabilidade do Guia da Organização Mundial de Saúde (OMS) de 2004, ou calculados segundo adaptação da metodologia da OMS utilizada na derivação desses padrões. Em caso de alteração dos padrões da Portaria 518 do MS, os valores de intervenção para águas subterrâneas serão consequentemente alterados. A área será classificada como Área Contaminada sob Investigação quando houver constatação da presença de contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

Fonte: Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

*AMOSTRAGEM DE VEGETAIS (ALIMENTOS)*

Visando à verificação das vias de contaminação dos seres humanos e animais, procede-se à coleta de alimentos que constituem a dieta da população exposta. Nas comunidades rurais, as hortaliças (couve, tomate, cebolinha, alface, batatas etc.) fazem parte da dieta diária. Convém que sejam coletadas, também, amostras de solos das hortas onde se coletaram as hortaliças, para confirmar o caminho do processo de contaminação – rocha/solos/água/alimento/humano –, o que possibilitará o diagnóstico da origem, dos condutos e dos problemas decorrentes.

Com as informações referentes a causas e efeitos, é possível empreender as ações necessárias para bloquear o caminho da contaminação e aquelas para descontaminação de pessoas afetadas.

As hortaliças coletadas devem ser limpas (lavadas), secas e trituradas. Na preparação, utilizar a digestão com  $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ , em micro-ondas: 0,5 g de amostra + 5 mL  $\text{HNO}_3$  + 2 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  - T = 180°C / P = 1400W e submeter a leituras no espectrômetro de emissão por plasma acoplado indutivamente, com detecção por massa ICP-MS.

Os valores máximos permitidos (VMP) para os elementos químicos arsênio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cobre (Cu), estanho (Sn) e chumbo (Pb) para vários alimentos são fornecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) do Ministério da Saúde (Tabela 3).

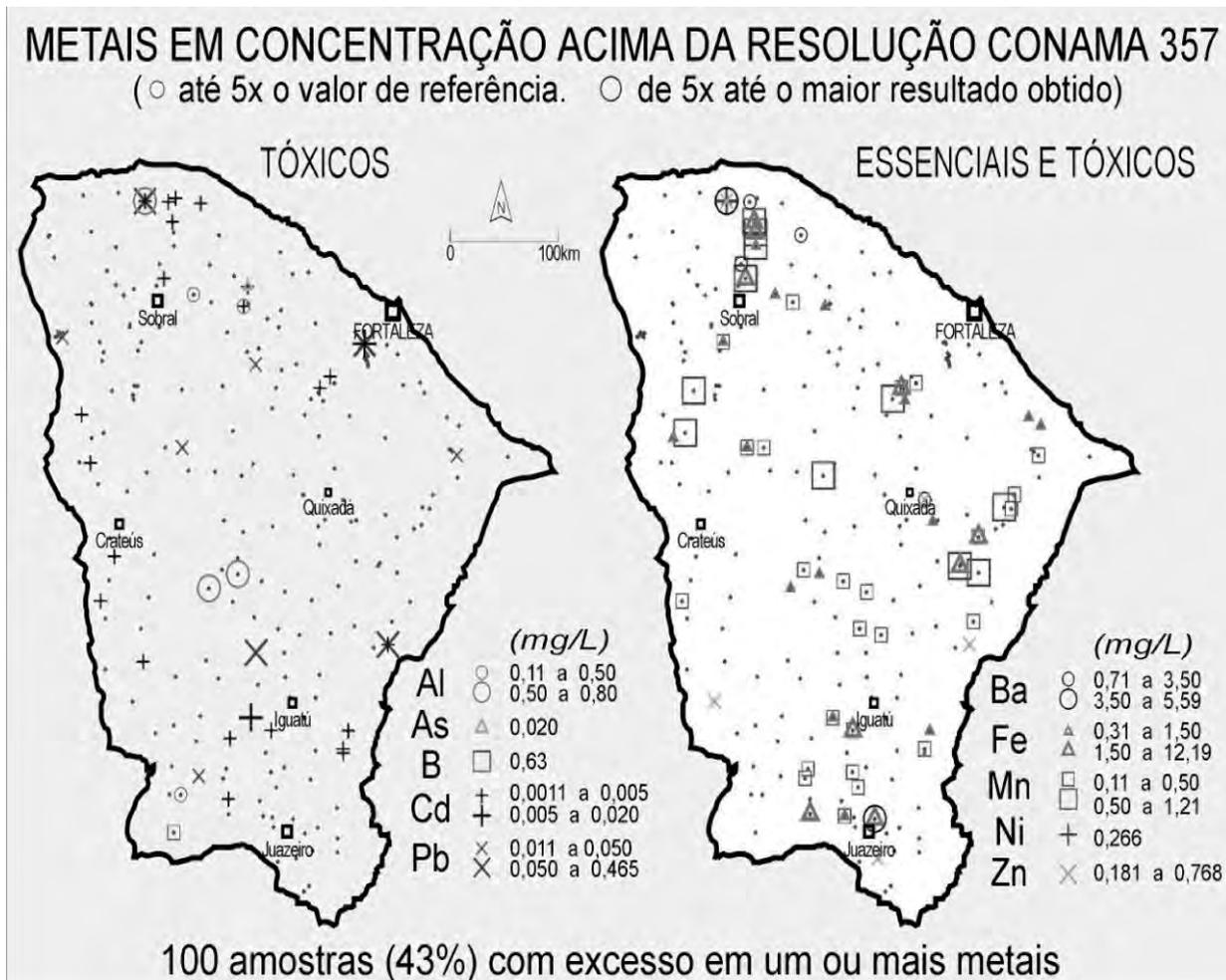
**Tabela 3:** Quantidades máximas permitidas em alimentos para os elementos químicos As, Cd, Hg, Cu, Sn e Pb.

VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS (VMP) EM ALIMENTOS					
Substância	Alimentos	Limite Máximo (mg/kg)	Substância	Alimentos	Limite Máximo (mg/kg)
ARSÊNIO	Gorduras vegetais	0,1	COBRE	Óleos e gorduras virgens	0,4
	Gorduras e emulsões refinadas	0,1		Óleos, gorduras e emulsões refinadas	0,1
	Gorduras hidrogenadas	0,1		Caramelos e balas	10
	Acúcares	1,0		Bebidas alcoólicas fermentadas	10
	Caramelos e balas	1,0		Frutas, hortaliças e sementes oleaginosas <i>in natura</i> e industrializadas	10
	Bebidas alcoólicas fermentadas	0,1		Gelados comestíveis	10
	Bebidas alcoólicas fermento-destiladas	01		Lactose	2,0
	Cereais e produtos à base de cereais	1,0		Mel	10
	Gelados comestíveis	1,0	ESTANHO	Sucos de frutas cítricas (enlatados)	150
	Ovos e produtos de ovos	1,0	CHUMBO	Óleos, gorduras e emulsões refinadas	0,1
	Leite fluido, pronto para consumo	0,1		Caramelos e balas	2,0
	Mel	1,0		Cacau (exceto manteiga de cacau e chocolate)	2,0
	Peixe e derivados	1,0		Chocolate adoçado	1,0
	Produtos de cacau e derivados	1,0		Dextrose (glucose)	2,0
Chá, mate e derivados	1,0	Sucos de frutas cítricas		0,3	
CÁDMIO	Peixe e derivados	1,0		Leite fluido, pronto para consumo	0,05
MERCÚRIO	Peixes e derivados (exceto predadores)	0,5		Peixes e derivados	2,0
	Peixes predadores	1,0		Alimentos para fins especiais (preparados especialmente para lactentes e crianças até três anos)	0,2
				Partes comestíveis de cefalópodes	2,0

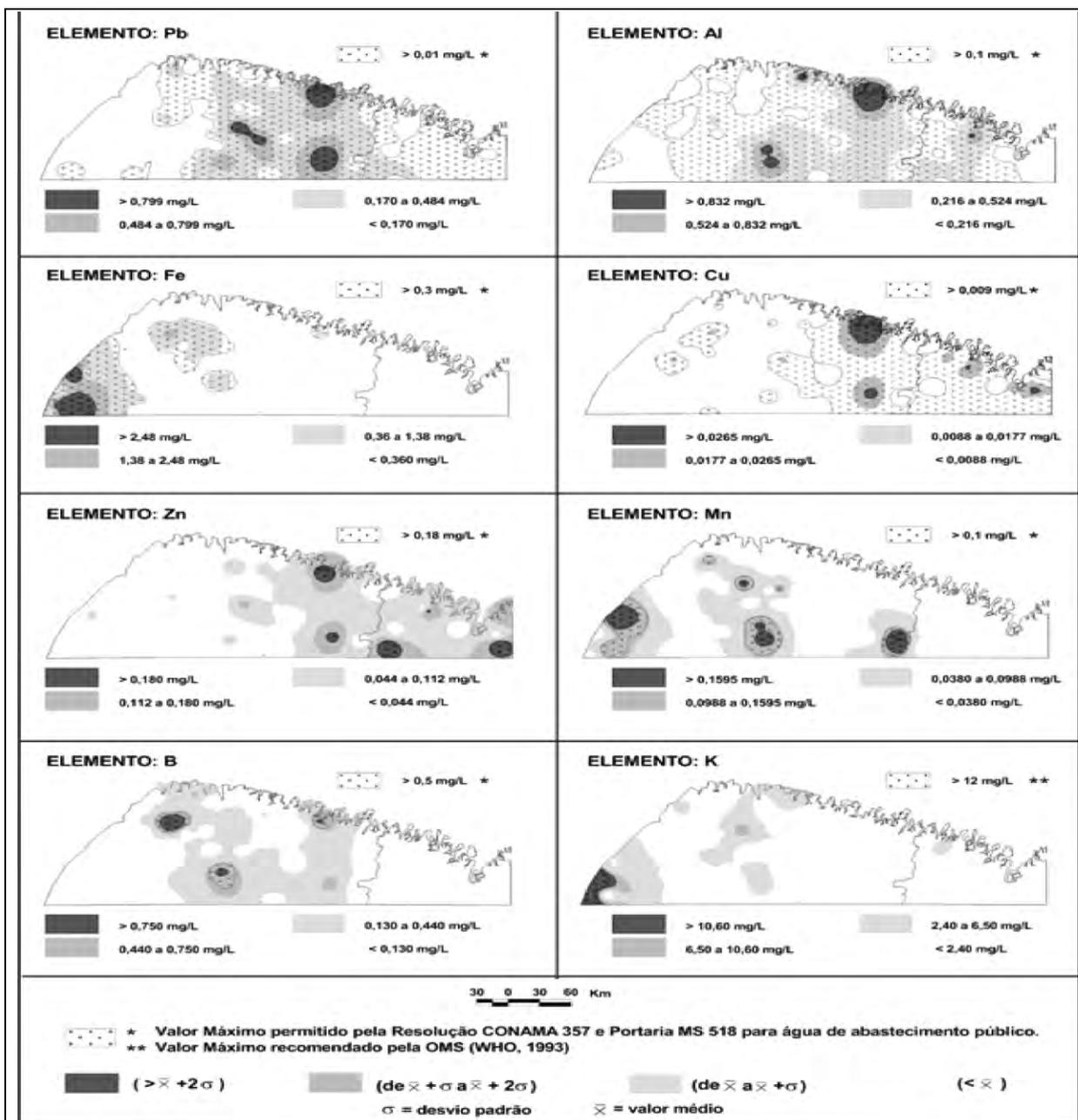
**Fonte:** Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), do Ministério da Saúde.

### Apresentação dos dados geoquímicos

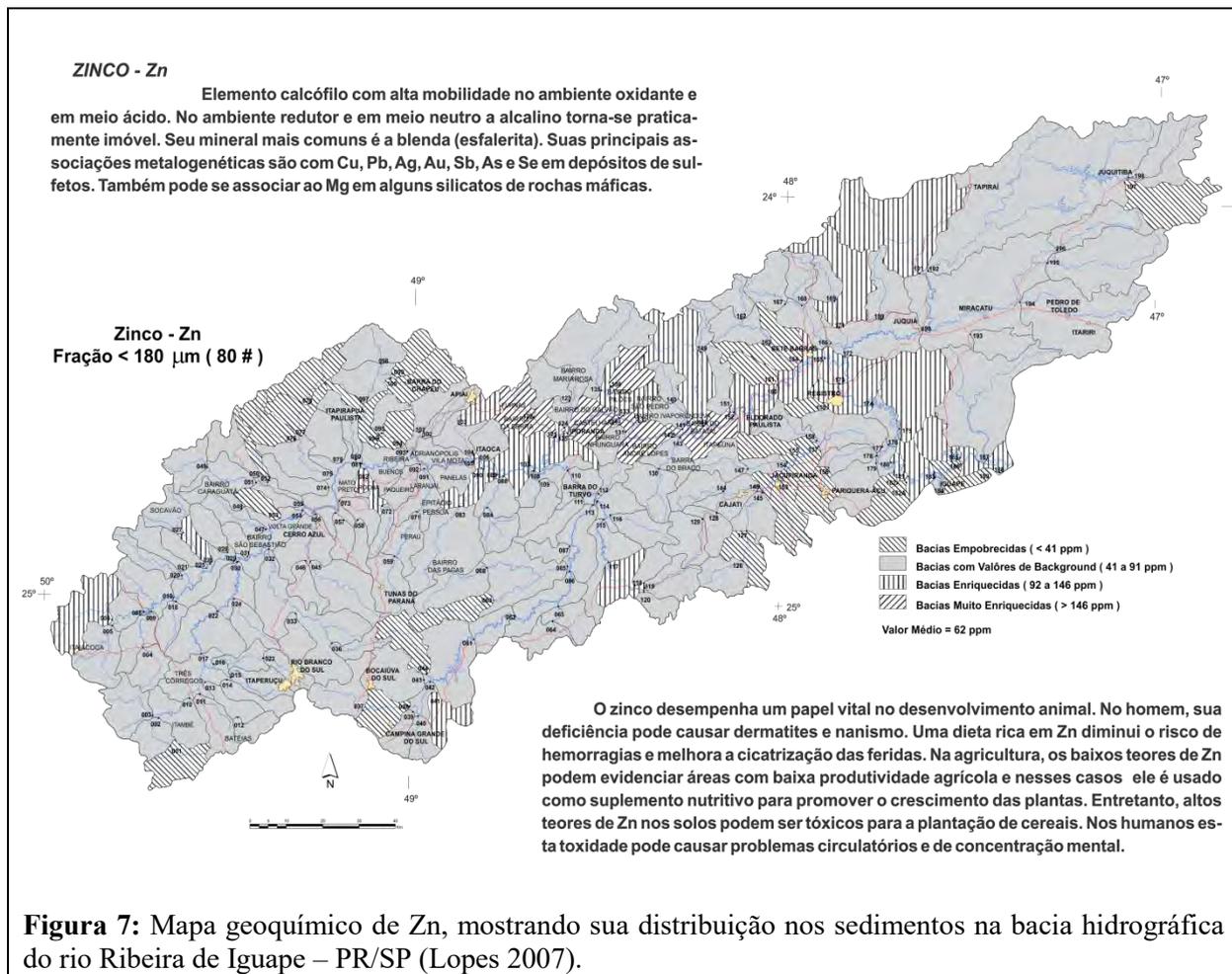
Os resultados das análises químicas devem ser espacializados em mapas e figuras ilustrativas da distribuição dos elementos químicos de interesse do estudo, contendo localização e representação dos valores de cada estação/ponto. Essa representação pode ser pontual (Figura 5), por curvas de isovalores (Figura 6) ou da bacia hidrográfica a montante do ponto amostrado (Figura 7), onde o resultado do elemento pesquisado é espacializado, informando-se suas características, comportamento e os seus efeitos e aplicações.



**Figura 5:** Ilustração da distribuição dos locais amostrados e resultados analíticos (metais pesados) de amostras de águas de abastecimento público de rios, açudes e lagos, poços tubulares e tipo amazonas no estado do Ceará (Frizzo 2006).



**Figura 6:** Ilustração de apresentação dos resultados de isovalores mostrando a variação do conteúdo de Pb, Al, Fe, Cu, Zn, Mn, B e K nas águas de sistema de abastecimento público no nordeste do estado do Pará (Macambira & Viglio 2006).



## ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS E ECOTOXICOLÓGICOS

A Epidemiologia é a ciência que estuda a ocorrência e a distribuição de doenças em uma dada população e os fatores responsáveis por esse agravo à saúde. Segundo De Capitani (2006), a Epidemiologia tem por base estudar todos os fatores possíveis envolvidos na relação saúde-doença, tais como: genéticos, infecciosos, hábitos de vida (alimentação, tabagismo, alcoolismo), ocupacionais, gênero, idade, além dos relacionados ao meio ambiente (materiais geológicos naturais e antropogênicos).

Os estudos epidemiológicos têm por objetivo (Gordis 1996, apud De Capitani 2006): (i) identificar a causa e os fatores de risco que provocaram a doença em investigação, visando a determinar a forma de transmissão ou via de exposição; (ii) determinar a extensão da doença dentro da população exposta; (iii) estudar a história natural da doença, se é aguda, subaguda, crônica, duração do problema, prognóstico quanto à cura, cronificação, sequelas e morte; (iv) conhecer a mudança da distribuição das doenças ao longo do tempo, como mudanças no padrão de mortalidade e na incidência da doença com relação a gênero, faixas etárias, expectativa de vida etc.; (v) avaliar medidas terapêuticas e preventivas; (vi) com os resultados dos estudos, fundamentar políticas públicas e decisões sobre regulação relacionadas a problemas de contaminações ambientais, por exemplo.

A Ecotoxicologia é o ramo da Medicina que estuda a composição química e os efeitos dos elementos e substâncias tóxicas encontradas no ambiente natural ou antropizado, bem como o diagnóstico e a remediação dos danos causados à saúde.

Assim, quando da constatação de valores de elementos nocivos (metais pesados) acima do recomendado pelos órgãos de saúde em águas, sedimentos, solos ou vegetais, os profissionais da área da saúde utilizam-se dos estudos epidemiológicos e/ou ecotoxicológicos, para verificar se os elementos nocivos detectados estão sendo assimilados pelo organismo humano e se estão causando algum mal à saúde das pessoas. Da mesma forma, tendo-se um diagnóstico médico de que determinada população está sofrendo de algum mal devido ao excesso de elementos químicos nocivos, utiliza-se a Geologia, principalmente a Geoquímica, para verificar se o meio natural (sedimento, água, solos, vegetais, ar) apresenta valores acima do permitido, buscando, assim, a sua causa.

Plant *et al.* (2001) apresentam na Figura 8 a tabela periódica e os possíveis efeitos biológicos até então conhecidos de vários elementos químicos. Esses autores apontam que os essenciais para a saúde humana são: H, Na, K, Mg, Ca, Co, Mn, Mo, Fe, Cu, Zn, C, N, O, P, S, Cl, Se e I, sendo que alguns destes, se consumidos em excesso, podem causar efeitos adversos. Os elementos V, Cr, Ni, Si, B e F são essenciais para algumas espécies e tóxicas para outras. O Li e Br têm função biológica suspeita, em vista de as pesquisas efetuadas não terem conseguido caracterizá-los adequadamente. Os elementos considerados tóxicos são Al, As, Cd, Sb, Hg, Tl e Pb e os radiativos, que podem causar danos à saúde, a depender da quantidade e do tempo de exposição.



### **Avaliação da população exposta**

Quando a detecção é feita pela Geologia, procede-se à definição das populações expostas e à realização das análises biológicas pelo melhor indicador (sangue, urina, tecido, unha, cabelo) relativo aos elementos pesquisados.

É relevante que se tenha um número significativo de pessoas avaliadas, variável em vista da população exposta, e que sejam individualizadas em grupos por idade (1-15, 16-40, 41-70) e sexo, pois as vias de contaminação, por vezes, são diversas. Por exemplo, a contaminação por chumbo no Vale da Ribeira mostrou-se mais severa nas crianças, nas quais a principal via de contaminação era a poeira, revolvida pela passagem de veículos na estrada de terra situada próximo às residências e espalhada pelo vento (Cunha *et al.* 2006). Já em contaminação por água, a população idosa estará mais exposta, devido ao fator acumulativo de ingestão de água contaminada há dezenas de anos.

Quando da definição da população a ser submetida às amostragens biológicas, é necessário elaborar um projeto de pesquisa de avaliação de risco à saúde humana e submetê-lo para aprovação a uma Comissão de Ética de alguma instituição de pesquisa legalmente constituída para esse fim. Também é salutar contatar os órgãos locais responsáveis pela saúde pública (Secretaria Municipal de Saúde), para lhes dar ciência e convidá-los a participar do trabalho a ser realizado. Esse procedimento facilitará sobremaneira a aceitação por parte da população, transmitindo confiança e segurança.

Previamente às coletas de sangue, devem-se realizar reuniões com as pessoas expostas e explicar-lhes os objetivos da pesquisa, esclarecer as dúvidas e comprometer-se a voltar àquela localidade para comunicar os resultados, sejam eles positivos ou negativos. Esse compromisso é de extrema importância para que a população mantenha a confiança na pesquisa em execução e em outras futuras, assim como nos interlocutores.

Os locais de coleta de amostras biológicas da população devem ser amplos o suficiente para acomodar dezenas de pessoas, como escolas, igrejas e dependências de associações de moradores, para que a coleta seja realizada o mais rapidamente possível.

No decorrer dos procedimentos de coleta, é importante aplicar um questionário individual a todos os participantes, para se ter o registro de nome, endereço, idade, sexo, dados sobre a saúde (principalmente doenças de alto risco), hábito alimentar etc. (Apêndice 1). Todos os participantes devem assinar um termo de consentimento livre e esclarecido, ressaltado no caráter voluntário em participar da pesquisa (Apêndice 2).

No caso da coleta de amostra de sangue, deve-se efetuar a desinfecção do local de punção venosa com etanol a 70%. Aproximadamente 5 ml de sangue devem ser obtidos de cada pessoa. Sugere-se utilizar tubos de coleta a vácuo para análise de traços de metais, sem anticoagulante. A amostra deve ser mantida sob refrigeração (-20°C) durante o transporte para o laboratório, até que as análises sejam realizadas.

### **RESULTADOS DE PESQUISA EM GEOLOGIA MÉDICA**

Na análise dos resultados, devem-se considerar os dados levantados no questionário (Apêndice 1), assim como a variabilidade interna do corpo humano na assimilação de elementos químicos nocivos. Considerar, também, que outros elementos podem atuar no arrefecimento dessa nocividade. Por exemplo, algumas comunidades ribeirinhas do rio Madeira (AM), significativamente expostas a mercúrio devido ao elevado consumo de peixe, não apresentam, em especial, sinais ou sintomas da doença de Minamata. Pesquisadores sugerem que seja a atuação do selênio (castanhas e outras fontes naturais), as quais estão no hábito alimentar dessas comunidades (Choil *et al.* 2008, Fonseca *et al.* 2007 e 2008).

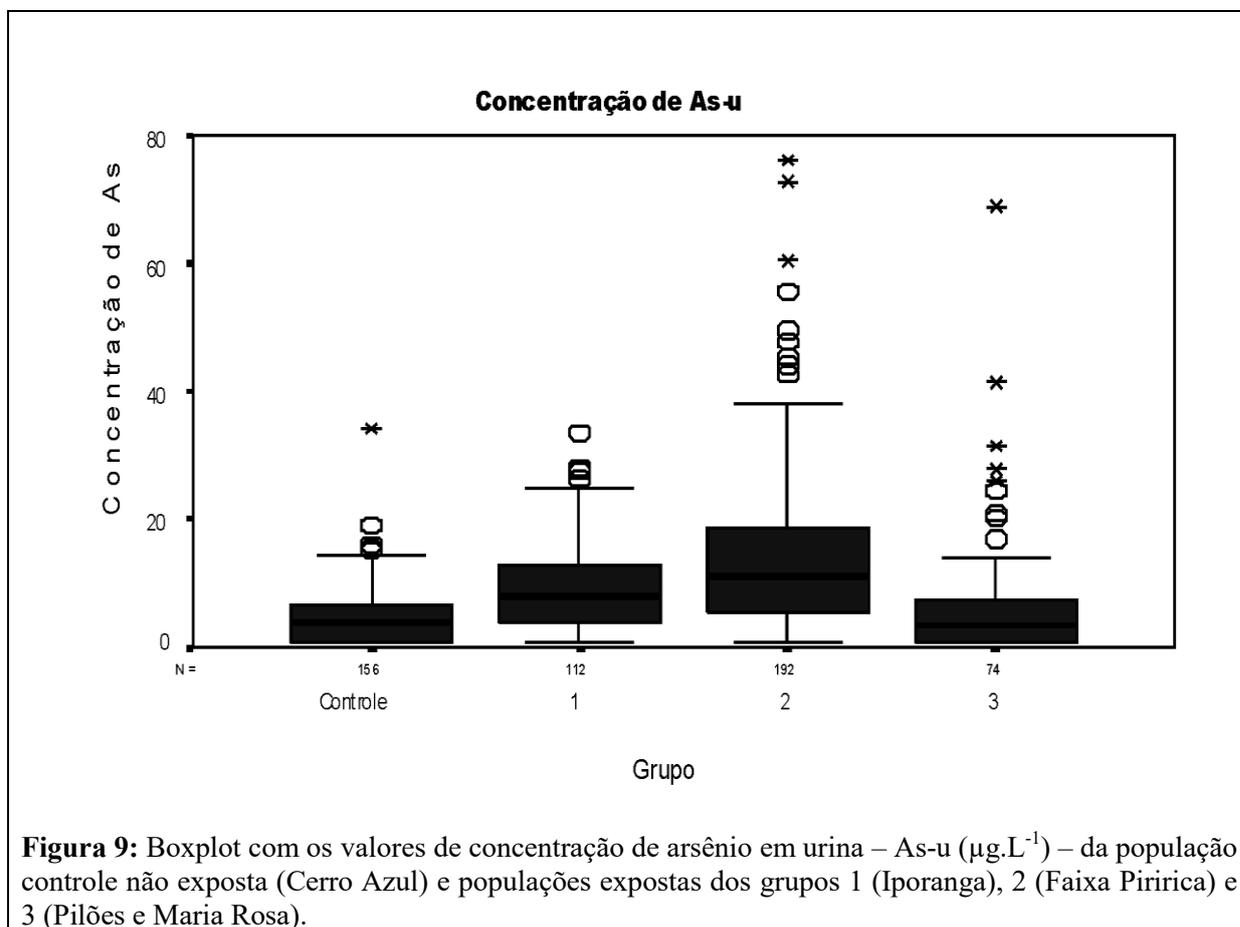
A partir da sistematização e do tratamento estatístico dos dados, os resultados do trabalho de pesquisa em Geologia Médica devem ser disponibilizados de forma integrada, mostrando os dados geológicos e epidemiológico-ecotoxicológicos de forma clara e objetiva, contendo a localização geográfica dos materiais analisados e da população exposta, metodologia utilizada, conclusões e recomendações. Sempre que possível, apresentar figuras e tabelas.

Como exemplo, podemos citar De Capitani *et al.* (2005), que apresentam os resultados de pesquisa de exposição humana ao arsênio no médio Vale do Ribeira (SP/PR), considerando que valores acima de 40 µg/L de arsênio em urina são nocivos à saúde humana, segundo MS, CONAMA e WHO (Tabela 4; Figura 9).

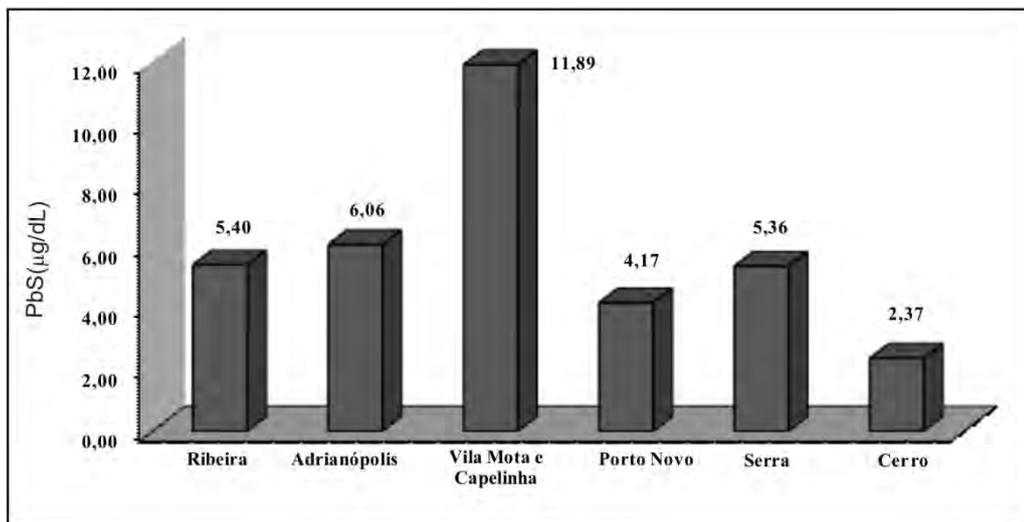
**Tabela 4:** Concentração de arsênio em urina da população de controle não exposta (Cerro Azul) e populações expostas de Iporanga e médio vale do rio Ribeira de Iguape (De Capitani *et al.* 2005).

Grupo	Área / Local	População	n	As Urinário ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )			n (%) > 40 $\mu\text{g.L}^{-1}$	n (%) < LD <sup>****</sup>
				Mediana	Mínimo	Máximo		
Controle***	Cerro Azul (PR)	Criança**	73	3,60	1,00	34,12	0 (0%)	-
		Adulto	83	3,87	1,00	16,00	0 (0%)	-
		Total	156	3,86	1,00	34,12	0 (0%)	51 (32,9%)
1	Alto Vale / Área urbana /Iporanga (SP)	Criança	82	8,35	1,00	33,49	0 (0%)	-
		Adulto	29	7,42	1,00	27,55	0 (0%)	-
		Total	111	8,07	1,00	33,49	0 (0%)	13 (11,6%)
2	Médio Vale / Faixa Piririca Nhunguara, Castelhanos, Galvão, São Pedro, Ivaoporunduva	Criança	67	9,85	1,00	55,69	3 (4,5%)	-
		Adulto	123	11,68	1,00	76,19	7 (5,7%)	-
		Total	190	11,04	1,00	76,19	10 (5,3%)	20 (10,4%)
3	Médio Vale / Fora da Faixa Piririca Pilões, Maria Rosa	Criança	28	3,64	1,00	31,28	0 (0%)	-
		Adulto	46	3,11	1,00	68,92	2 (4,3%)	-
		Total	74	3,62	1,00	68,92	2 (2,7%)	29 (39,2%)
Total	Iporanga + Médio Vale (SP)	Criança	177	7,99	1,00	55,69	3 (0,8%)	-
		Adulto	198	9,09	1,00	76,19	9 (2,4%)	-
		Total	375*	8,21	1,00	76,19	11 (2,9%)	62 (16,4%)

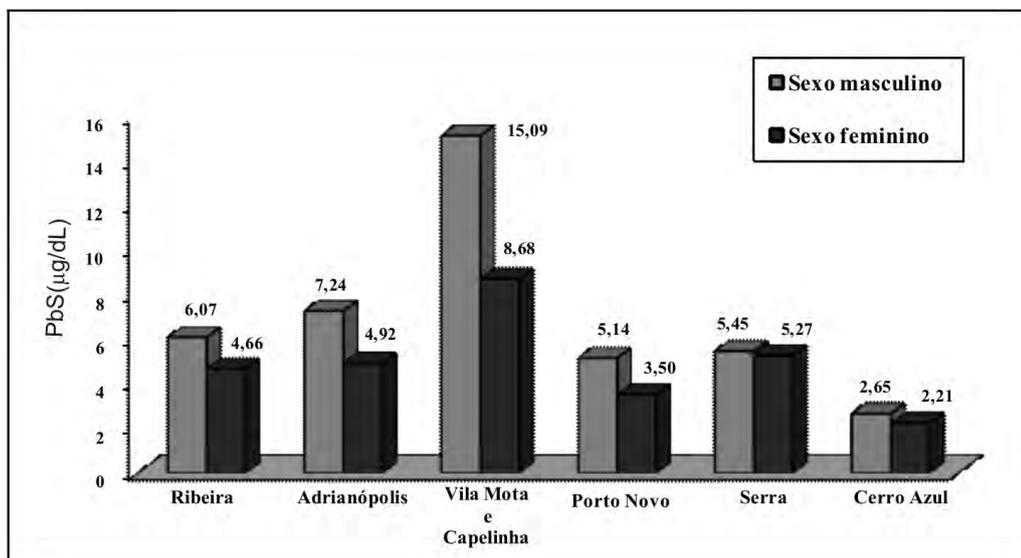
\* Três participantes foram excluídos; \*\* 7 a 14 anos; \*\*\* Sakuma 2004; \*\*\*\* Limite de detecção (2,00  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ).  
n = número de amostras.



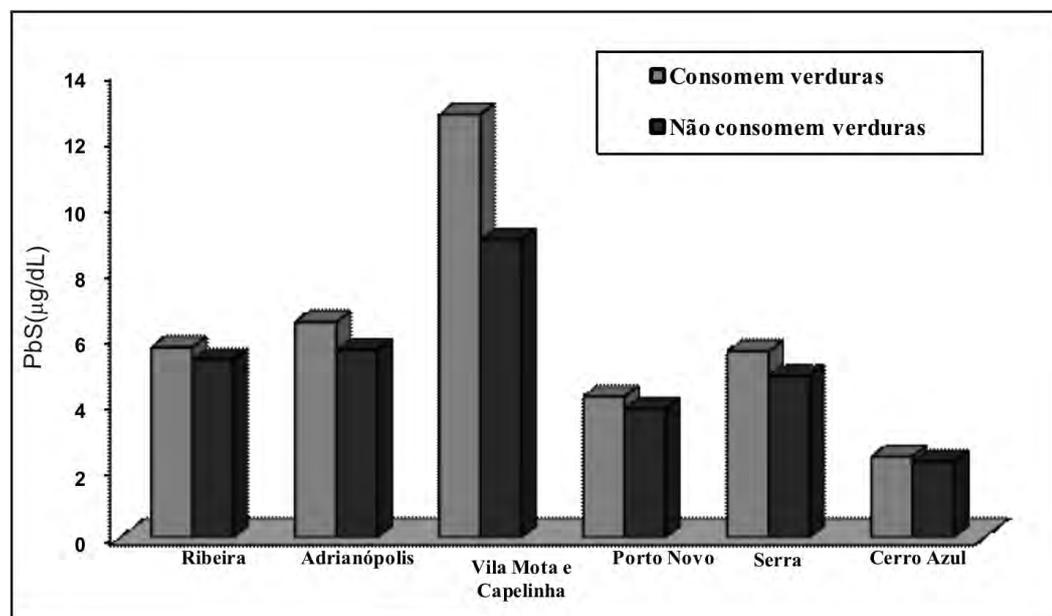
Cunha *et al.* (2006) apresentam os resultados de pesquisa sobre a contaminação humana a chumbo no Vale do Ribeira. À exceção da população de controle (Cerro Azul), as demais como Vila Mota e Capelinha estão localizadas próximas a antiga metalurgia da Plumbum, cidades de Ribeira e Adrianópolis e as comunidades da Serra (município de Iporanga) e Porto Novo (município de Adrianópolis), estão expostas ao chumbo (Figuras 10, 11, 12 e 13), considerando que valores acima de 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  de chumbo no sangue são nocivos à saúde humana, segundo MS, CONAMA e WHO.



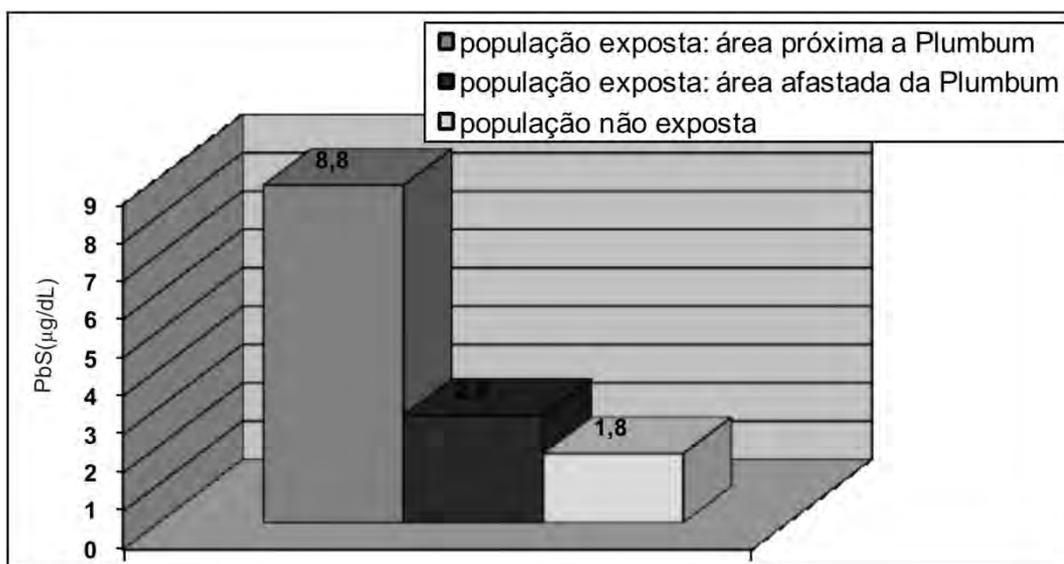
**Figura 10:** Médias aritméticas das concentrações de chumbo no sangue das crianças do vale do Ribeira.



**Figura 11:** Médias aritméticas das concentrações de chumbo no sangue nas populações de crianças, segundo o sexo.

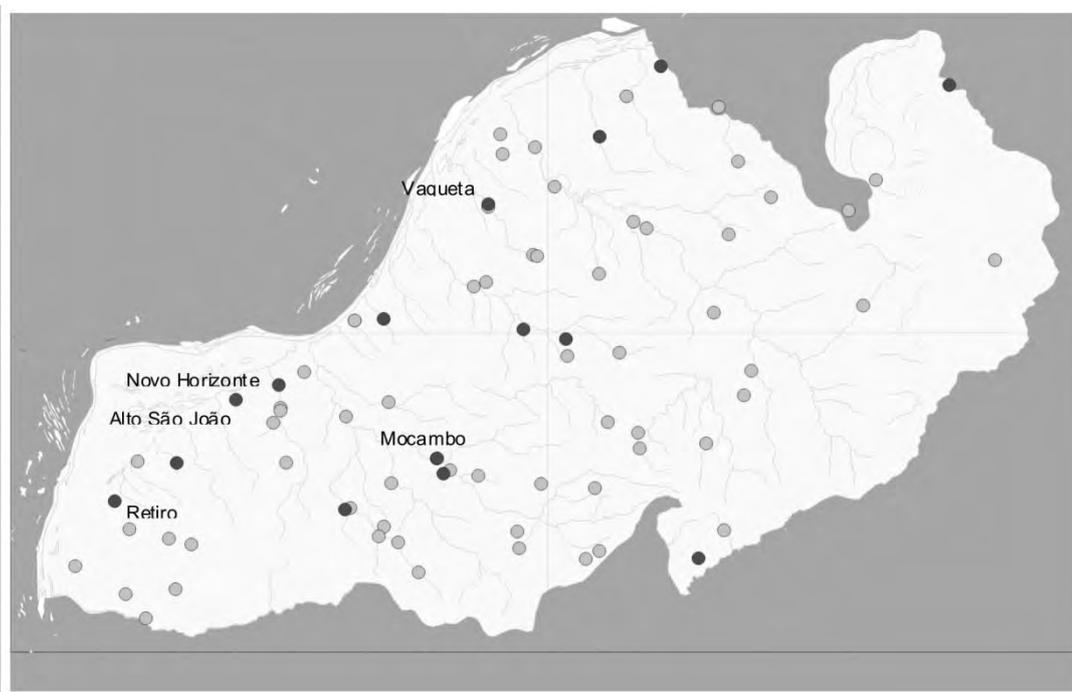


**Figura 12:** Médias aritméticas das concentrações de chumbo no sangue das populações das crianças, de acordo com o consumo de verduras e legumes das hortas domésticas.

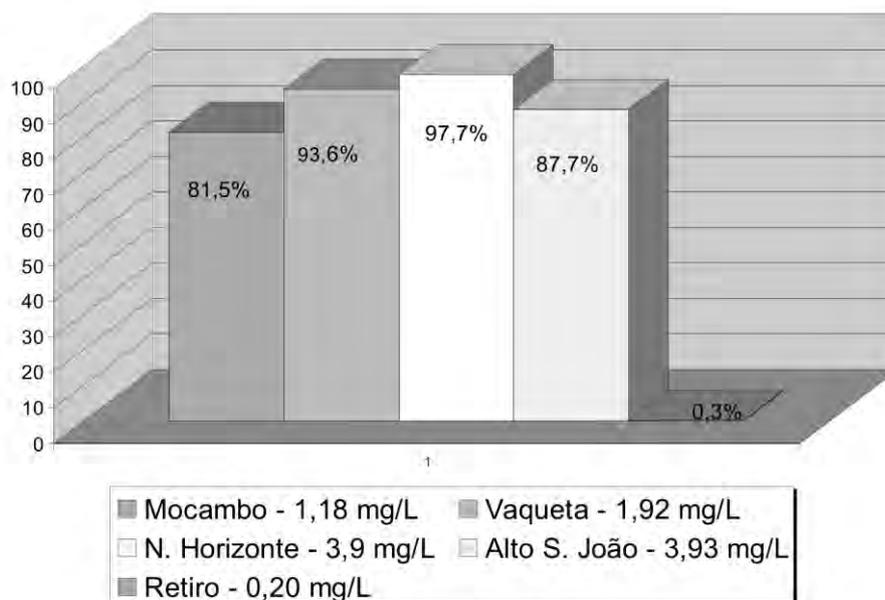


**Figura 13:** Médias aritméticas das concentrações de chumbo no sangue das populações de adultos.

Velasquez *et al.* (2006) apresentam os resultados de pesquisa de fluorose dentária em aquíferos contidos nas rochas calcárias do Grupo Bambuí, os quais apontaram que 65,4% da população das comunidades do município de São Francisco (MG) possuem grau elevado de fluorose, com comprometimento estético e funcional dos dentes (Figuras 14 e 15).



**Figura 14:** Ilustração da distribuição de fluoreto no município de São Francisco (MG). Em cinza  $\leq 0,8$  ppm e em preto os valores  $\geq 0,8$  ppm são nocivos à saúde humana (Velasquez *et al.* 2006).



**Figura 15:** Resultados das investigações epidemiológicas, com prevalência de indivíduos com fluorose dentária nas comunidades do município de São Francisco (MG) (Velasquez *et al.* 2006).

### **ESTRATÉGIA DE COMUNICAÇÃO DE RISCO**

Após conhecimento do problema que afeta determinada população, a ética profissional nos impõe comunicar os resultados a essa população de forma realista. É recomendável que, primeiramente, esses resultados sejam informados aos responsáveis pela saúde pública local, por vezes também do meio ambiente, lideranças sociais e políticas e com eles debatidas as formas de enfrentamento do problema. Em seguida, deve-se promover uma reunião com a população sob risco, com a participação dos responsáveis retromencionados, para comunicar os resultados e debater propostas de mitigação e monitoramento.

Segundo Di Giulio & Figueiredo (2005), o objetivo maior da comunicação de risco (palavra utilizada para designar os possíveis efeitos que os materiais ingeridos através da água, ar, pele e alimentos, possam afetar a segurança e a saúde de uma população exposta). à saúde humana é fornecer informação sobre a probabilidade de exposição a um determinado fator e a natureza e extensão de suas consequências. Esses autores relatam, de forma inédita na área de Geologia Médica, as dificuldades – tanto dos responsáveis pela pesquisa quanto dos jornalistas que cobriram o caso – para comunicação dos riscos ao chumbo que a população da Vila Mota está exposta, em vista da proximidade dos rejeitos da metalurgia da mina de Panelas no município de Adrianópolis (PR).

Assim, para que se alcance a eficácia pretendida, é fundamental que se defina, primeiramente, a mensagem a ser comunicada, os objetivos da comunicação e o público-alvo. É importante ressaltar que a percepção do risco pode ser significativamente prejudicada se houver uma insuficiente compreensão sobre os potenciais efeitos sobre a saúde. A boa comunicação torna-se relevante, pois, apesar da excelência científica de um trabalho, pode-se cair no descrédito popular se a comunicação for deficiente ou incompleta, levando à perda de credibilidade da ciência como instrumento a ser utilizado para o bem-estar das pessoas.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta proposta de trabalhos relacionados a geologia e saúde atingiu o objetivo de estabelecer procedimentos para avaliação de riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração, podendo ser utilizada como orientativo para pesquisadores das áreas das Geociências e da Saúde que pretendem iniciar atividades de pesquisas e trabalhos relacionados à Geologia Médica.

Considerando que o trabalho em Geologia Médica é uma atividade multidisciplinar, faz-se necessário que todos os profissionais da Saúde e Geologia participem de todas as fases do projeto – desde o planejamento à execução, avaliação, apresentação e comunicação dos resultados. E, se possível, quando constatados problemas, contribuir para a sua solução.

Convém salientar que a Geologia Médica é um excelente auxiliar, principalmente, na prevenção de doenças e segurança alimentar. Nesse particular, é importante avaliar os excessos e deficiências de macro e microelementos disponíveis, contribuindo para a saúde pública da região estudada. Assim, mesmo que o objetivo do trabalho não seja especificamente uma avaliação voltada para a área da Saúde, será extremamente útil que, ao proceder às análises, incluam-se a daqueles elementos sabidamente nocivos à saúde.

Os pesquisadores em Geologia Médica devem ter todo o cuidado na comunicação do risco, principalmente à população exposta. A divulgação científica, se feita de forma adequada, contribui para o fortalecimento da ciência e tecnologia e é uma ferramenta primordial na democratização do acesso aos resultados das pesquisas. Além disso, é importante para “reduzir as distâncias entre ciência, tecnologia e sociedade; aumentar o conhecimento dos princípios básicos e do equipamento social do mundo moderno para que a sociedade possa utilizá-lo, não como mágica, mas como ferramenta de trabalho” (Landi 2004, in Giulio & Figueiredo 2005).

Sugere-se, ainda, que para qualquer empreendimento que possa modificar o meio físico (mineração, agricultura, pastagem, indústrias, grandes obras) seja efetuado um diagnóstico sobre as condições das águas, solos, sedimentos e ar, antes, durante e após o encerramento das atividades econômicas. Essas informações são extremamente úteis e de baixo custo, o que dará segurança à população vizinha ao empreendimento e ao empreendedor, que poderá tomar ações preventivas e/ou corretivas caso a sua atividade esteja provocando alterações nocivas ao meio ambiente.

## Agradecimentos

Ao professor Bernardino Ribeiro Figueiredo e aos geólogos Ídio Lopes Jr., Fernanda Gonçalves Cunha, Sabino Orlando C. Loguercio e José Carlos Garcia Ferreira, pela leitura e sugestões para melhoria do presente artigo. À química Luzia Cristina Valente Rodrigues, pela pesquisa e apoio na elaboração de tabelas e figuras. À professora Sueli Cardoso de Araújo, pelas sugestões e revisão linguística.

## Referências

- ATSDR. *Public health assessment guidance manual*. Boca Raton: Publishers, 1992. 220p.
- Carvalho F.M., Barreto M.L., Silvany-Neto A.M., Waldron H.A., Tavares T.M. 1984. Multiple causes of anaemia amongst children living near a lead smelter in Brazil. *Sci. Total Environ*, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 71-84, Apr.
- Brasil, Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde. 2007. *Subsídios para a construção da Política Nacional de Saúde Ambiental/MS*. CNS-Brasília: Editora do Ministério da Saúde. 56 p. il. (Série B, Textos Básicos de Saúde). Disponível em: <http://www.saude.gov.br/editora>. Acessado em 03 maio 2011.
- Castilhos Z.C., Soares P.S.M., Trindade R.B.E., Barbosa, J.P., Huyssteen E.V. 2003. *Avaliação de risco ambiental na recuperação de áreas degradadas*. Estudo de caso: região carbonífera catarinense. CT 2003-073-00. Contribuição técnica elaborada para o Seminário Brasil-Canadá de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas, v. 1, 197-217, Florianópolis, SC, Brasil.
- Choi A.L., Cordier S., Weihe P. & Grandjean P. 2008. Negative confounding in the evaluation of toxicity: the case of methylmercury in fish and seafood. *Crit Rev Toxicol.*, 38(10): 877-893.
- Cunha F.G. 2003a. *Contaminação humana e ambiental por chumbo no vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná, Brasil*. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 111 p.
- Cunha F.G. 2003b. *Manual simplificado sobre os procedimentos de coleta de água superficial e de consumo doméstico*. Rio de Janeiro: CPRM/Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acessado em 20 mar. 2010.
- Cunha F.G. 2004. *Estudos de geoquímica ambiental e geologia médica em áreas com contaminação por atividades de mineração e de processos industriais associados*. Rio de Janeiro: CPRM/Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acessado em 30 maio 2010.
- Cunha F.G., Figueiredo B.R., Paoliello M.M.B., De Capitani E.M. 2006. Diagnóstico ambiental e de saúde humana: contaminação por chumbo em Adrianópolis no estado do Paraná, Brasil. In: Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M., Cunha F.G. *Geologia médica no Brasil*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap. 15, p. 97-103.
- De Capitani E. M. 2006. Epidemiologia e a geologia médica. In: Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M., Cunha F.G. *Geologia médica no Brasil*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap. 3, p. 15-20.
- De Capitani E.M., Sakuma A.M., Figueiredo B.R., Paoliello M.M.B., Okada I.A., Duran M.C., Okura R. 2005. Exposição humana ao arsênio no médio vale do Ribeira, São Paulo. In: *Estudos geoquímicos e ecotoxicológicos do Vale do Ribeira – SP/PR*. CD-ROM, FAPESP/UNICAMP/CPRM, Campinas.
- Di Giulio G.M., Figueiredo B.R. 2005. Comunicação nas áreas de meio ambiente e saúde pública: o caso do vale do Ribeira. In: Figueiredo B.R et al. *Estudos geoquímicos e ecotoxicológicos do vale do Ribeira – SP/PR*. CD-ROM, FAPESP/UNICAMP/CPRM, Campinas.
- Dissanayake C.B., Chandrajith, R. 2009. *Introduction to medical geology*. Erlanger Earth Conference Series, XVI, 297 p. 166. il.
- Eaton A.D, Franson M.A.H. 2005. *Standard methods for the examination of water & wastewater*. Amer Public Health Associaton.
- Ferreira Pinto M.C. 2007. *Manual medição in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acessado em 30 jun. 2010.
- Figueiredo B.R. 2005. Contaminação ambiental e humana por chumbo no vale do Ribeira (SP-PR). *ComCiência*, Campinas, n. 71, nov. Disponível em: <http://www.comciencia.br>. Acessado em 25 fev. 2010.
- Figueiredo B.R., Litter M.I., Silva C.R. et al. 2010. Medical geology studies in South America. In: Selinus O., Finkelman R.B., Centeno J.A. 2010. *Medical geology: a regional synthesis*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 392 p. p. 79-106.
- Fonseca M.F., Torres J.P.M. & Malm O. 2007. Interferentes ecológicos na avaliação cognitiva de crianças ribeirinhas expostas a metilmercúrio: o peso do subdesenvolvimento. *Oecol. Bras.*, 11(2): 277-296.

- Fonseca M.F., Dorea J.G., Bastos W.R., Marques R.C., Torres J.P.M., Malm O. 2008. Poor psychometric scores of children living in isolated riverine and agrarian communities and fish–methylmercury exposure. *Neurotoxicology*, 29:1008-1015.
- Frizzo S.J. 2006. *Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no estado do Ceará*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza. 64 p. Anexos. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 02 abr. 2010.
- Licht O.B. 2001. *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*. Tese de Doutorado, Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 236 p.
- Lins C.A.C. 2003. *Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM)*: texto completo. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/programa.pdf>. Acessado em 03 mar. 2010.
- Lopes Jr.I. 2007. Prospecção geoquímica nas regiões sudeste e sul: geoquímica de baixa densidade na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape – PR/SP. In: Licht O.A.B., Mello C.S.B., Silva C.R. (Eds.). *Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás*. SBGq/CPRM, Rio de Janeiro. 788 p. Cap. 22, p. 749-780.
- Macambira E.M.B., Viglio E.P. 2006. Caracterização geoquímica das águas de sistema de abastecimento público da Amazônia oriental. In: Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M., Cunha F.G. *Geologia médica no Brasil*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap. 26, p. 174-182.
- Matschullat J., Borba R.P., Deschamps E., Figueiredo B.F., Gabrio T., Schwenk M. 2000. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. *Applied Geochemistry*, v. 15, p. 181-190.
- NRCIM 2007. *Earth materials and health: research priorities for earth science and public health*. Washington, D.C.: National Research Council and Institute of Medicine, The National Academies Press, 188 p. Disponível em: [www.nap.edu](http://www.nap.edu). Acessado em 03 mar. 2010.
- Omenn G.S. 2007. The risk assessment risk management paradigm. In: Robson M.G., Toscano W. *Risk assessment for environmental health*. Forword by Berwick USA. Cap 2, p. 11-31.
- Paoliello M.M.B. 2002. *Exposição humana ao chumbo e cádmio em áreas de mineração, vale do Ribeira, Brasil*. 2002. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 173 p.
- Plant J.A., Annells R.N., Haslam H.W., Steinfeld A., Varet J. 2001. Sustainability of the earth's surface environment: a european geoscience perspective. *British Geological Survey Research Report*, RR/00/05.
- Sakuma A.M. 2004. *Avaliação da exposição humana ao arsênio no alto vale do Ribeira*. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 197 p.
- Selinus O., Alloway B., Centeno J.A., Finkelman R.B., Fuge R., Lindh U., Singh H., Smedley P. 2005. *Essentials of medical geology*. Elsevier Academic Press, Burlington-MA, USA.
- Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M. 2006. Geologia médica no Brasil. In: Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M., Cunha F.G. *Geologia médica no Brasil*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap.2, p. 6-14.
- Skinner H.C.W., Berger, A.R. (Ed.). 2003. *Geology and health: closing the gap*. Oxford: Oxford University Press, New York.
- Velasquez L.N.M., Fantinel L.M., Ferreira E.F., Castillo L.S., Uhlein A., Vargas A.M.D., Aranha P.R.A. 2006. Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil. In: Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M., Cunha F.G. *Geologia médica no Brasil*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. Cap. 17, p. 110-117.
- WHO. Disponível em: [http://www.who.int/topics environmental\\_health/es/index.html](http://www.who.int/topics environmental_health/es/index.html). Acessado em: 03 maio 2011.

**APÊNDICE 1**

**EXEMPLO DE QUESTIONÁRIO A SER APLICADO A CADA INDIVÍDUO**

*QUESTIONÁRIO DE DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE SAÚDE DA POPULAÇÃO EXPOSTA E  
NÃO EXPOSTA AO ALUMÍNIO*

*INSTRUMENTO PARA COLETA DE DADOS – VALE DO RIO PIAUÍ (MG)*

**Dados Pessoais:**

Número: \_\_\_\_\_ Local da entrevista: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_ Tipo de amostra: sangue ( ) fezes ( )

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço atual do informante: \_\_\_\_\_

Bairro: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Tempo de moradia na região: \_\_\_\_\_ Procedência: \_\_\_\_\_

Sexo: Feminino ( ) Masculino ( ) Idade: \_\_\_\_\_ Cor: \_\_\_\_\_

Área de residência: Urbana ( ) Rural ( )

Proximidade com a fonte de contaminação (rio, poço, área de mineração):

**Hábitos Alimentares:**

Quantas vezes por semana você come:

pescado ( ) legumes ( ) arroz ( ) feijão ( ) frango ( ) carne ( ) fígado ( )

Nos últimos três (03) dias consumiu algum desses alimentos? Sim ( ) Não ( ) Qual? \_\_\_\_\_

Procedência dos alimentos (local, mercado): \_\_\_\_\_

Consumo de água:

Rede (torneira) ( ) Nascente ( ) Poço ( ) Poço artesiano ( ) Ribeirão ( )

Consumo diário:

Chá: \_\_\_\_/dia Café: \_\_\_\_/dia Suco industrializado: \_\_\_\_/dia Leite (e derivados): \_\_\_\_/dia

Consome verduras plantadas em casa? Sim ( ) Não ( ) Quais? \_\_\_\_\_

Tem horta em casa? Sim ( ) Não ( )

Origem das frutas consumidas: \_\_\_\_\_

**Dados sobre a saúde:**

Tem algum problema de saúde? Sim ( ) Não ( ) Qual? \_\_\_\_\_

Há quanto tempo? \_\_\_\_\_

Consome suplementos minerais (cálcio, fósforo, outros)? Vitamina? Sim ( ) Não ( ) Qual? \_\_\_\_\_

Toma algum medicamento? Sim ( ) Não ( ) Qual? \_\_\_\_\_

É diabético? Sim ( ) Não ( )

Algum familiar morreu de câncer? Sim ( ) Não ( ) Tipo: Pele ( ) Pulmão ( ) Outros ( )

Observações do entrevistador:

Entrevistador:

**APÊNDICE 2****MODELO DE FICHA A SER ASSINADA PELOS VOLUNTÁRIOS EM PARTICIPAR DA PESQUISA****CONSENTIMENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR DA PESQUISA**

**Esta pesquisa tem por objetivo a avaliação dos níveis de alumínio em pacientes portadores ou não portadores de doenças degenerativas residentes no vale do rio Piauí (MG).**

A sua participação neste estudo é voluntária. Mesmo que você decida participar, você tem plena liberdade para sair do estudo a qualquer momento, sem incorrer em nenhuma penalidade. Seu atendimento médico não será prejudicado, caso você decida não participar ou decida sair do estudo já iniciado.

Você poderá fazer todas as perguntas que julgar necessário antes de concordar em participar do estudo, ou a qualquer momento, e receberá de seu médico os esclarecimentos adequados sobre seus direitos.

A sua identidade será mantida como informação confidencial. Os resultados do estudo podem ser publicados, mas sua identidade não será revelada sem seu consentimento específico para tal, por escrito. Os registros médicos, porém, poderão ser consultados pelos orientadores do estudo, pelo comitê de ética e pelas autoridades de saúde.

**Eu li e entendi todas as informações sobre este estudo e todas as minhas perguntas foram respondidas a contento. Portanto, consinto voluntariamente em participar deste estudo.**

Nome do paciente: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Testemunha: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Nome do pesquisador: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B

### Artigo Submetido ao Journal Environmental Geochemistry and Health

#### MEDICAL GEOLOGY APPLIED TO THE EXPOSURE OF ALUMINUM IN THE ARAÇUAÍ- ATINGA PEGMATITE DISTRICT, MINAS GERAIS, BRAZIL

**Cassio Roberto da Silva** – MD – Post-Graduate Program in Geology, Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ) – Research Company for Mineral Resources/Geological Survey of Brazil (CPRM/SGB) – Rio de Janeiro, RJ, Brazil – Phone: (55) XX 21 22956147 – Fax: (55) XX 21 22955804 – E-mail: cassio.silva@cprm.gov.br

**Edson Farias Mello** – PhD – Post-Graduate Program in Geology of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brazil – E-mail: mello@geologia.ufrj.br

**Cícera Neysi de Almeida** – PhD – Post-Graduate Program in Geology of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brazil – E-mail: neysi@geologia.ufrj.br

**Maria Izabel D. M.de Morais** – MD – Post-Graduate Program in Geography of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ) – Iguaçú University – National Institute of Cancer (INCA). Rio de Janeiro, RJ, Brazil E-mail: midmiorim@yahoo.com.br

**Fernando Barbosa Junior** – PhD – Faculty of Pharmaceutical Sciences of Ribeirão Preto – University of São Paulo (USP), Ribeirão Preto, SP, Brazil – E-mail: fbarbosa@fcfrp.usp.br

#### Abstract

The geological and geochemical studies of the area and toxicological results in three risk groups as follows: Metasediments and aluminous granites occur in the area mainly formed by quartz, feldspars, muscovite, biotite, sillimanite, andalusite, cordierite and tourmaline. The 51 drainage and untreated water supply samples, from approximately 80% of the area, were analyzed and results showed Al values from 0.200 to 0.928 ppm, exceeding the recommended levels. The 3.1% Al average content in 46 soil samples is also high as compared with regional background and the 0.96% Al average normal value in 39 stream sediment samples. Analyses of 12 samples of vegetables (cucumber, mustard, onions, cabbage and bell pepper) showed an average of 1059 mg/kg Al. In Igreja and Fazenda Velha communities (Araçuaí Municipality), where 133 people were subjected to plasma analyses, revealed 68% are with Al values above 3 µg/L, up to this value is considered normal, 49% of the people have > 10 µg/L, 10% of the population > 60 µg/L, 5% > 100 µg/L and 2% > 200 µg/L. And in a group of 16 people receiving dialysis, 94% of this population is above 3 µg/L of Al, 75% > 10 µg/L, 44% > 60 µg/L, 25% > 100 µg/L and 19% > 200 µg/L. The results show that the Al absorbed by the Igreja and Fazenda Velha populations is of natural origin, with the exposure path: rock-soil-water-food. It is estimated that in the study area 3200 people living on the river banks of the Jequitinhonha tributaries, especially the Piauí Creek, are exposed to Al.

**Keywords:** medical geology, geological risks, environmental health, geochemical and health, aluminum toxicity in plasma.

#### INTRODUCTION

Mining has been regarded by some as an activity that produces intense environmental degradation and causes harm to human health. General opinions are issued by local residents and even press, without any scientifically based knowledge. As a result, this study aims to use the medical geology, which has been highlighted as an important tool for assessing damage to the environment and human health and animal (Licht 2001, Selinus et al 2005, Singh 2004, Skinner & Berger 2003, Cortecchi 2002, Finkelman et al. 2007, Dissanayake & Chandrajith 2009, Selinus et al. 2010).

Medical Geology can broadly be described as "the study of the relationship between natural geological features and human-induced and health, aiming at the well-being of humans and other living organisms". Strictly speaking, the Medical geology is a "science which studies the multidisciplinary regional variations in the distribution of elements, mainly metals and metalloids, their geological and geochemical behavior, the natural and anthropogenic contamination and damage to human health, animal and/or plant in excess or deficiency.

Examples of human contamination generated by environmental and anthropological factors are found in many countries: Argentina, Bangladesh and Chile (arsenic), China (selenium), United States (iodine), among others (Selinus 2006). It is remarkable recent study by Figueiredo et al. (2010) in South America on As, Cu, F, Hg, Pb, Se, U-Th and geophagy.

In Brazil, registered research has been undertaken by: Carvalho et al. (1984) in Santo Amaro da Purificação (Bahia) for the elements lead and cadmium; Matschullat et al. (2000) in the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais) for arsenic; Paoliello (2002), Cunha (2003) and Figueiredo (2005) in the Ribeira Valley (São Paulo/Paraná) for lead, Licht (2001) and Velasquez et al. (2006), respectively, in the municipalities of Itamaracá (PR) and São Francisco (Minas Gerais) for fluoride.

In the middle-lower valley region of the Piauí Creek tributary of the River Jequitinhonha, geochemical anomalies were detected, in particular lithium in stream sediments and in an underground lithium mine embedded in lithium ferrous pegmatite (Companhia Brasileira de Lithium-CBL). Also present are hundreds of ancient caves, related to soil and rock removal in search of semi-precious gemstones, which can provide chemicals harmful to the region's environmental health.

This paper aims to present and discuss the results of a geological risk assessment of part of this mineral province (The lithium-tin district of Araçuaí-Itinga), where, many years ago, there were several mineral mining operations of mining and prospecting companies.

It also has the specific objectives to assess the availability of chemical elements, mostly metals in stream sediments, soil and water drainage and supply, as well as toxicological studies in populations that are exposed to geological hazard, whether natural or related to mining and prospecting activities.

During this investigation the Li levels found in this region (an average of 0.015 ppm in water, 78 ppm in soil and 33.7 ppm in stream sediments) do not present risks to human health. However, anomalous Al values indicate the need for an in-depth analysis on this element's possible influence in various local environmental interactions.

Regarding the Aluminum reference values given in official guidelines for human health for the studied natural materials of sediment, soil, water and vegetables, there is only one for potable water, which should be less than 0.200 ppm. Food value indicators vary widely; however, sites like [www.medicinageriatrica.com.br](http://www.medicinageriatrica.com.br) show that normal Al values in plants are between 5 to 9.5 ppm.

Besides this lack of official indicators aluminum toxicity has generated much discussion over the past 50 years, Authors such as Sorenson et al. (1974) mentions that Al has vital functions in the human body and the absorption of large amounts of it is not harmful to health. But in recent decades, Al has been considered non-essential and toxic, but still lacking in-depth studies of its true role in human organs.

According to ATSDR (2008), about 30% of the sites in the United States of America, identified as the most serious in hazardous waste content, contain aluminum being often associated with compounds such as oxygen, silicon, sulfur or phosphorus. In exposure of high levels, these substances can be harmful to health. Aluminum is an abundant and widely distributed element, being found in most rocks, soil, water, air and food. When aluminum exposure occurs, many factors must be considered to assess the damage. Among these factors are: the dosage (amount), duration (how long) and contact form. Also age, sex, diet, family traits, lifestyle and health should be considered.

Oral exposure to aluminum is usually not harmful. However, some studies (ATSDR 2008) show that high levels of aluminum may develop Alzheimer's disease, on the other hand, it is not known for sure if it really causes the disease, considering that other studies found no evidence to confirm this fact.

People with renal failure can store large amounts of aluminum in various body organs, and due to the decreased renal excretion of aluminum in urine they may develop bone or neurological problems. Although healthy individuals ingested the aluminum contained in pharmaceutical products at recommended doses, some adverse effects were observed after prolonged use. Neurological and bone problems caused by high aluminum levels in the body have been observed in children with renal failure. Furthermore, bone damage was also detected in children who took medicines containing aluminum. In these children, the bone injury is caused by aluminum in the stomach preventing the absorption of phosphate, a chemical needed for healthy bones (ATSDR, 2008).

Along the same lines, the Clinical and Analytical Handbook (CAH 2006) describes the primary aluminum, after being ingested, is transported together with the blood transferrin and its measurement in the plasma provides the only reasonable means of evaluating this element's total load in the body. It sets the values of Al in plasma for patients with renal failure as follows:

- < 10 µg/L: for people with no history of renal failure;
- < 60 µg/L: low risk of toxicity in patients with renal failure;
- > 60 µg/L: for signs of excessive accumulation, with risk of toxicity in children;
- > 100 µg/L: is reason for concern, with high-risk to children, and
- > 200 µg/L: high risk of toxicity in all patients.

In addition, this research also used as a reference the data released by ATSDR (2008), that advise that the normal Al amount in plasma lies from 1-3 µg/L in the human body.

In Brazil, few studies have been carried out on the toxicology of Al, out of which the work of Jeronymo and Fujimura (1998) show that the quantification of aluminum in plasma samples from normal individuals and patients with chronic renal failure subject or not to dialysis. In all 26 normal individuals, the serum concentration of aluminum was below 10 µg/L. Thirty-three percent of patients with renal failure without dialysis had serum aluminum levels between 11 and 17 µg/L. Among patients in dialysis, only 2 (4%) had levels below 10 µg/L, 21 (46%) between 11 and 30 µg/L, 16 (35%) between 31 and 60 µg/L and 7 (15%) above 60 µg/L. Descriptions of the biological limits in non-exposed populations are not well established, but the reference values proposed by the research cited above, are Al in plasma < 10 µg/L and in urine < 50 µg/g creatinine.

Also according to Jerome and Fujimura (1998) in Resolution 86/C104/04, the European Commission recommended, to protect patients on hemodialysis, the following benchmarks in drinking water < 200 µg/L and the dialysis solution < 10 µg/L. Plasma values are safe up to 60µg/L, indicating an accumulation between 60 to 100 µg/L but can not exceed 200 µg/L.

Capitani (1996) presents extensive clinical and epidemiological study of workers exposed to dust of the type of abrasive corundum (aluminum oxide) of an abrasive industry in São Paulo. The results showed that the company sector was considered the highest risk of crushing and screening, where 69.4% of cases were diagnosed as mixed dust pneumoconiosis due to aluminum oxide and silica, which develops the loss of lung capacity and leads to death, depending on the time of inhalation of such dust.

#### **Location, Characterization Physiographic, Geological and Socio-Economic**

The studied area covers 600 km<sup>2</sup> and includes the middle-low Piauí Creek basin, a tributary of the right bank of the River Jequitinhonha, located along the borders of the Araçuaí and Itinga municipalities, Minas Gerais, Brazil (Figure 01).

The Araçuaí municipality is located in the Northeastern portion of Minas Gerais State, 678 km from the capital Belo Horizonte, 390 km from Governador Valadares, 197 km from Teófilo Otoni and 40 km from Itinga. Its city limits are: Virgem da Lapa, Coronel Murta, Itinga, Ponto dos Volantes, Padre Paraíso, Carai e Novo Cruzeiro. It encompasses an area of 2235 km<sup>2</sup>, with a population of 36478 inhabitants out of which 43% live in the rural area. Whereas Itinga has 13981 inhabitants, of which 59% live in rural areas.

The region has two well-defined seasons, a severe drought in winter and a rainy summer, of the semiarid kind with annual rainfall between 600 and 800 mm. The rainfall is concentrated between November and January surpassing 100 mm/month. In the remainder of the year rainfall is much lower and generally falls to 60 mm/month, remaining below 10mm/month from July to September. The soil moisture content is between -20 and -40, with a strong water deficit for at least eight months a year. The average annual temperature is 24.4°C, an average maximum of 31.1°C and mean minimum of 19.3°C.

In the study area only the Taquaral community, situated at the right side of the BR-367 in the town of Itinga, is supplied with treated water. The other communities are not served by public entities, generally drinking the water from the River Jequitinhonha tributaries.

The Red-Yellow Acrisol type soils probably originated from the granites, the Red Acrisol associated with metasediments. Very subordinate occur Fluvisols Cambisols and Planosols related to Jequitinhonha alluvial deposits and Litholic Neosols linked to granitic rocks. The Oxisols found on the plateaus relate to the detrital-laterite coverage.

The region's topography resembles an amphitheater, with the Piauí Creek cutting across the area, from South to North, enclosing metasedimentary rocks of the pegmatites. It is at an altitude of around 300 m, surrounded by plateaus supported by granite, with elevations of about 850 m, with the Serra do Tombo (SW corner) as the most prominent feature. This area is relatively flat and softly inclined towards the plateau edge. The slopes are sharp, about 400 m high. These slopes accelerate the effects of erosion, silting up the valleys, especially that of the Piauí Creek.

The area is inserted into the Araçuaí Orogen (Almeida et al. 1977, Pedrosa Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000, Pedrosa Soares et al., 2001). This area represented by the Neoproterozoic metasediments and the Macaúbas Group and Salinas Formation (Pace, et al, 2009), cut by the Syn to tardi-tectonic Brasiliano granitoids. Superimposed on these, there are thin layers of Tertiary sandstones, detrital-lateritic cover of Tertiary-Quaternary and the recent alluvial deposits, Figure 01.

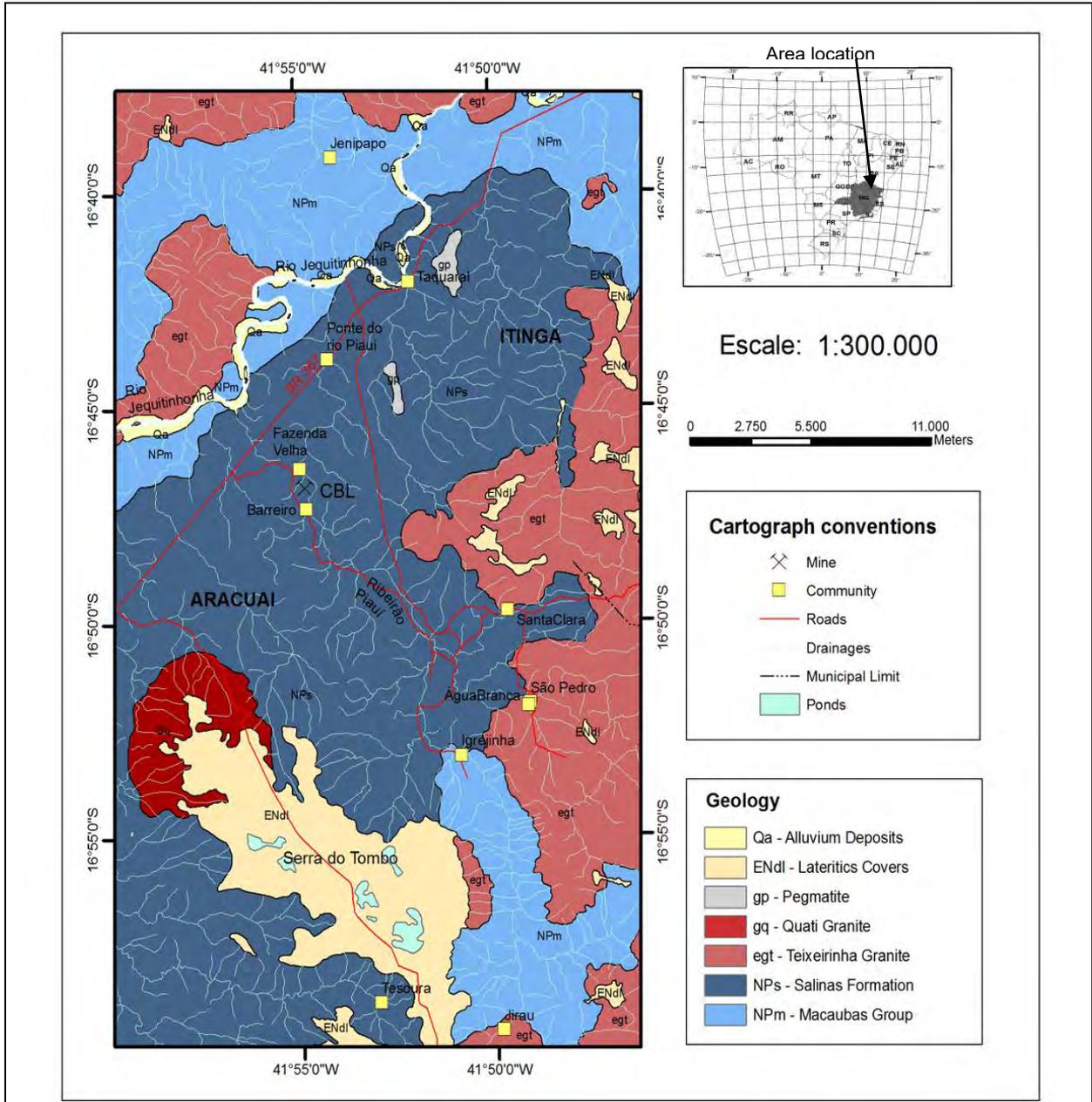


Figure 01 Area location and geological map of the Araçuaí-Itinga region (simplified from Paes et al. 2009).

According to Paes et al. (2009), lithological components associated with the Macaúbas Group, situated in Northern and Southern portions of the study area are of gray colored fine to average grained mica-quartz schist and gneisses with thin banding composed of k-feldspar, sillimanite, plagioclase and muscovite. The minerals andalusite, black tourmaline and cordierite are common in both the above rock types. They are metamorphosed under amphibolite facies conditions that locally evolved into migmatites. Interbedded calcium silicates and quartzite and are also observed. U-Pb ages of detrital zircon of 950 Ma indicate that the sedimentation of this unit in a continental rift stage (Pedrosa-Soares et al, 2001).

The Salinas Formation, according to Paes et al. (2009), in the study area is represented by fine-grained biotite-quartz schist, dark-colored, mottled, with frequent minerals of andalusite, cordierite, white mica/muscovite and tourmaline. The cordierite is strongly stretched in a sigmoid form. It displays millimeters-centimeters thick compositional banding, parallel to schistosity with a general orientation N50°E/65°NW. The sedimentation period of this formation was around 800 Ma in the passive continental margin stage (Pedrosa Soares et al., 2001).

According to Pedrosa-Soares et al. (2001, 2009), the granite genesis of the Araçuaí Orogen magmatic arc was developed between 630 to 490 Ma and consists of five granitoid Supersuites, and the area has the G4 Supersuite represented by biotite granites associated with mineralization in pegmatites containing tourmaline, spodumene and S-type petalite, peraluminous and ages from 535 +/- 8 Ma Pb-Pb. They are considered post-collision. In the study area there are two granite formations of this suite, the Teixeira and Quati Granites.

In the Eastern portion of this area the Granite Teixeira monzogranitic facies occur (523 +/- 19 Ma, U/Pb zircon), with a pale color and medium grained, and composed of quartz, K-feldspar and biotite containing as apatite accessories tourmaline and grenade. They are, in general, isotropic and may have thin foliation on the edges (Paes et al, 2009). Often appears cut by pegmatite veins.

Supporting the Serra do Tombo, in the southwest portion of the area is the Quati granite (Paes et al, 2009) of light gray color, with a porphyritic texture characterized by the presence of K-feldspar centimetric phenocrysts, immersed in a medium-grained matrix consisting of quartz, feldspar and biotite. It displays incipient foliation at the edges.

In the Northern central area two significant pegmatite bodies outcrop, called Brook Taquaral measuring 2.5 x 07 km, aligned NS, consisting of feldspar (microcline, albite), spodumene, quartz and muscovite. Onyx and black tourmaline (aphrinite) are common but biotite is rarely seen.

Superimposed on the granite, mainly at the edges, there are small outcrops of the Serra do Tombo Formation of Cretaceous age, consisting of talus breccias and pyroclastic felsic rocks (tuffs and lapilli-tuffs). On top of this there is the detritus-lateritic coverage, consisting of sandy-loam latosols partially lateralized, forming a flat surface related to the South American Cycle (Paes et al, 2009). Finally, on the banks of the River Jequitinhonha and the Piauí creek recent floods have occurred.

This study area is inserted in the Araçuaí-Itinga lithium-tin district, an integral part of the Eastern Pegmatite Province (Paiva 1946), which is, in turn, placed in the Araçuaí Orogen. According to Bizzi et al (2003), this district is characterized by zoned pegmatites embedded in biotite-andalusite-kyanite-staurolite-schists of the Salinas Formation and in S-type post-collision granites, potassic trend alkaline, originated by crustal melting at the end of the Brasiliano Cycle (555 Ma).

Among the various mineral occurrences in the study area, the Tomazini quarry stands out, where pegmatite mining is in progress as dimension stones, and blocks measuring 4, 5 and 8 m<sup>3</sup> are transported to Vitória-ES Port and exported to Europe. The pegmatite is 4 m thick and has a 60 m visible length, layered conformable with the biotite-quartz schist Salinas Complex, dark colored and fine grained, with millimetric thick augens and a centimetric biotite extension, with foliation N20°W/22°NE.

Also noteworthy is the Cachoeira lithium mine belonging to Companhia Brasileira de Li-CBL, with 300 employees, producing 6000 ton/year of ore (pegmatite) with 22% spodumene, this containing 1.2% Li<sub>2</sub>O. The flotation system is used to benefit the ore. In Divisa Alegre the chemical plant supplies the final products (ceramics, glass, pharmacy) and LiOH (lubricants).

The ore seam called IC1 was identified at various topographic levels within the galleries, which has been dug to a depth of 100 m. It proved to be generally in conformably and sometimes discordant with the enclosing schistose foliation where it lodged in the NE cleavage fracture system and the sub horizontal to sub vertical dip angles (Romero, 1998 Romero and Pedrosa-Soares 2005). The pegmatite appears in a tabular form and is discontinuous, being made up of mainly K-feldspar, quartz, spodumene and muscovite. The spodumene has a greenish color, is coarse grained and sometimes reaches metric dimensions.

In a recent study, Paes et al (2009) describes the region as being widely known due to its low social indicators and also to have characteristics similar to the Northeast hinterland. On the other hand, it shows exuberant natural beauty and cultural richness, with traces of the surviving indigenous and Black cultures. Agriculture and subsistence cattle farming are still important activities in most municipalities, aided by increased artisan pottery activity, a livelihood or an additional way to meet the household budget during huge periods of drought or between agricultural harvests. Currently mining makes little contribution through the extraction of graphite, lithium and dimension granite stones. Also worth mentioning is the mining of construction materials where clay is extracted for red ceramic production which also serves as a basic handicraft.

## **MATERIALS AND METHODS**

The methodology for sampling, storage and analysis followed conventional procedures as described by Silva et al. (2010), which is partly based on the manual of the National Program for Research in Environmental Geochemistry and Geology Medical-PGAGEM (Lins 2003), which is suitable for geochemical standards established by the project IGCP-259 UNESCO-IUGS and by the Working Group on Global Geochemical Baseline of the IUGS-IAGC.

In the study area, the geochemical sampling was conducted on the following materials: stream sediments, soil, water drainage, water and food supply.

To collect drainage water and water supply samples for cation and anions analysis, two 50 ml glass centrifuges tubes were used. Samples were taken in disposable syringes without needles to which was coupled a 45 mm porosity filter to remove suspended sediment (pollution, clays in the rainy season etc.). To the samples analyzed for cations HNO<sub>3</sub> concentration 1:1 was added. The samples were packed in an ice chest and cooler bags with gel for low temperature conservation.

Filtering the water samples is in accordingly with the study made by Smith et al. (1996) in Uganda on the geochemistry of aluminum in tropical environments and their health implications. There several experiments were made to sample and analyze water samples by ICP-OES, acidified, non-acidified, filtered and unfiltered, and to use an acidified 40 µm porosity filter, was found to be more appropriate.

The procedures for stream sediment and soil sampling were as follows: sediment sampling in the area of deposition of fine gutter drainage, making the collection in a defined range of around 100 m along the drainage, as far as accessible. Soil samples were collected in the first 25 cm, in bands where the soil was thicker.

In August 2005 CPRM collected and analyzed 35 samples of stream sediment, 30 soil samples, 13 samples of drainage water and 14 samples of drinking water in this area. The results of this work were presented by Lopes et al (2006) and incorporated into this database.

After defining the research area, considering the sampling performed by CPRM, the sampling collection density of sediment, water, drainage and soil was set at around one sample from each 14 km<sup>2</sup> (except a portion of the eastern region of difficult access). In the case of drinking water some points were re-sampled and new samples collected to cover the entire work area.

Thus, the following quantities of samples were collected: 04 stream sediments, 14 soil, 02 water drainage, 37 water supply and 12 food.

The total samples collected in the area and surrounding regions were: 39 stream sediment, 49 soil, 15 drainage water and 51 water supply and 12 food from riverside people's vegetable gardens.

The food samples were analyzed to verify whether the anomalous/harmful values found in the water, soil and sediments are also present in the food and investigate the exposure path, rock-soil-water-food consumed by local people.

The stream sediments and soil were analyzed for 36 chemical elements by ICP-MS, with aqua regia digestion, carried out at Embrapa-Solos RJ. The drainage and supply water were analyzed for 28 elements by ICP-OES and seven anions (fluoride, chloride, nitrite, bromide, nitrate, phosphate and sulfate) by ion chromatography in the laboratory of mineral analyses (LAMIN) of CPRM.

At the time of collecting the water samples, the physical and chemical parameters (pH, temperature, conductivity and dissolved oxygen) were measured.

In the foods (beans, mustard, chives, cabbage, cucumber, mango, peppers) 36 elements were analyzed by ICP-MS with HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digestion, performed at Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

The toxicological studies also followed the methodology suggested by Silva et al. (2010), being basically the evaluation of the population exposed to aluminum, based on the selection of two communities and a group that made hemodialysis. In total 149 blood samples were collected.

The sample was taken after disinfecting the vein puncture point with 70% ethanol. Approximately 5 ml of blood were obtained from each person using vacuum collection tubes (without anticoagulant) to analyze trace metals. The samples were kept under refrigeration (-20°C) during transport to the laboratory until the time of analysis.

Before shipping, the samples were centrifuged in the Araçuaí Council laboratory, separating the plasma from the red blood cells. These samples of about 1.5 ml/plasma samples were analyzed for aluminum by ICP-MS in the Laboratory of Pharmaceutical Sciences, University of São Paulo (USP), Ribeirão Preto campus.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Water Supply and Drainage

The physical and chemical analysis taken in the water supply and drainage sampling sites (Figure 02) were, in general, normal values for pH of between 6 and 9.5 and conductivity of less than 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , for both the samples collected by CPRM (Lopes et al. 2006), and those now taken. However, for the dissolved oxygen (DO) results in samples collected during the dry season, showed that 40% were unfit for human consumption, according to Decree 518/MS, 2004, with values lower than 5 ppm. The water temperature measurements along with the other parameters averaged 27.7°C.

The correlation between the results of Lopes et al. (2006) and those made now showed that the pH and Dissolved Oxygen (DO) were on average slightly smaller. This is probably due to the sampling period. The sampling of CPRM were performed in a dry season (July) when the streams had a lower water volume and higher concentration of chemical elements (less alkaline pH and low DO), while the current work was carried out at the end of the rainy season and beginning of the dry season (April).

Of the fifty-one water supply samples, only one (community Taquaral) receives treatment, the others are distributed to approximately 80% of the area with levels of Al ranging from 0.200 ppm (mg/L) - 0.928 ppm (mg/L), with an average value of 0.405 ppm (mg/L). It is noted that the Decree 518/MS (2004) and CONAMA (2008) establishes 0.200 ppm as a threshold value of this element in drinking water.

Considering all samples, the average (background) estimate was 0.276 ppm and mean 0.200 ppm. Exceptionally values were obtained at 7.2 ppm and 25.3 ppm Fazenda Velha from the Santa Clara creek (Eastern portion of the area) were not considered in the statistical analysis because they were considered outliers (Figure 02).

The populations of the following communities: Malhada Preta and Lagoão (Top of the Serra do Tombo), Jiraú, Igrejinha, the Brooks São Pedro, Água Branca, Batista and Santa Clara, Barreiro, Fazenda Velha, Ponte do Piauí Creek (Piauí Creek basin), Laranjal and Jenipapo, all located in the research area, are exposed to Al through ingestion of totally untreated water.

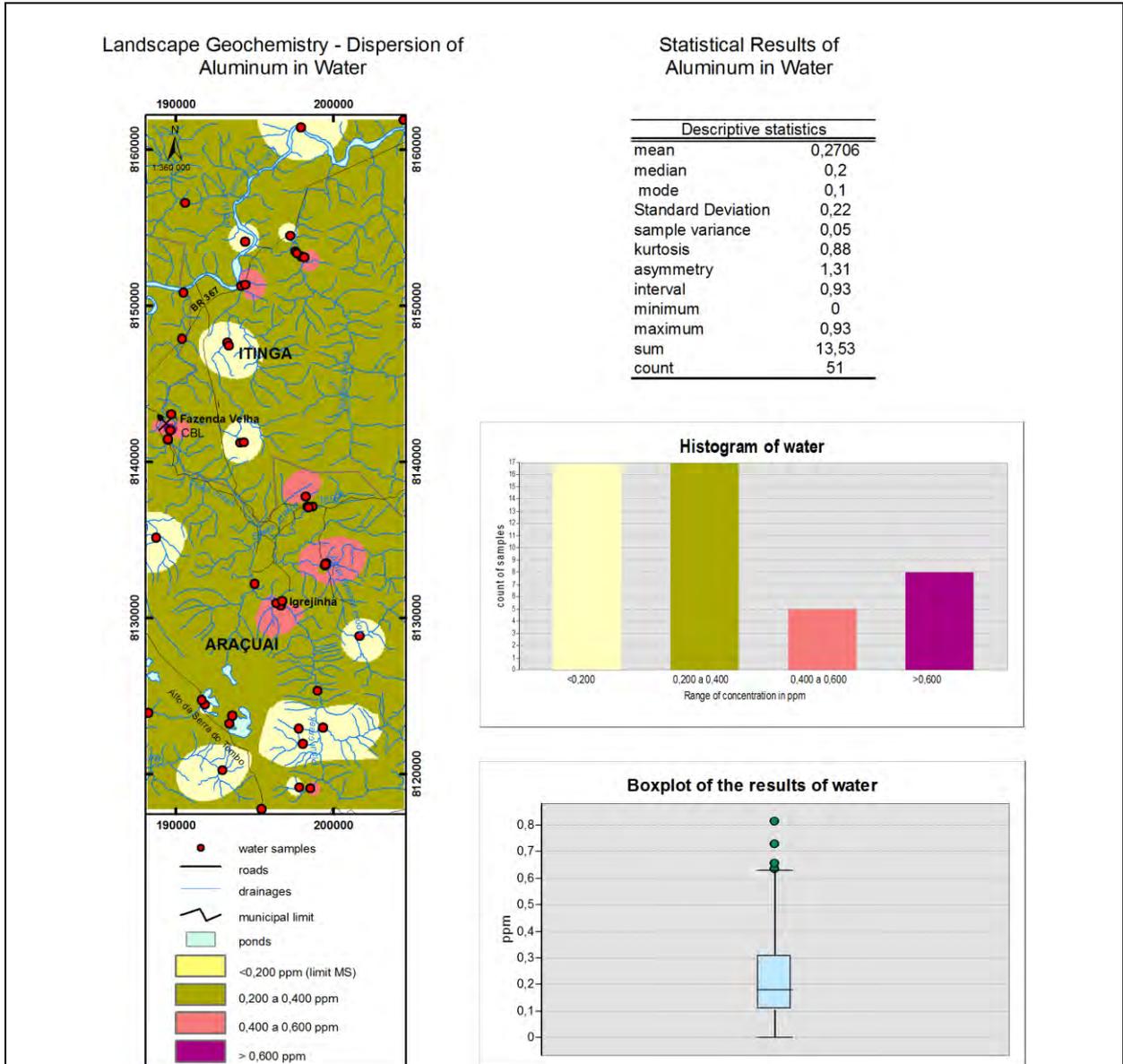


Figure 02 Results of water supply analyses, spatialized map and statistical treatments in the research area in part of the Araçuaí and Itinga-MG municipalities.

The Al results in samples made in the April/08 campaign, from the Jequitinhonha River upstream of Itinga and treated water tap in this city, showed values of 0.100 and 0.200 ppm of Al, respectively located North and Northeast of Figure 2.

Likewise the Al results of the River Araçuaí water showed 0.174 ppm in the Araçuaí city catchment area and the outcome of treated water (tap) this city was 0.031 ppm. These being outside the research area were not taken into account in the statistical analysis.

The above figures show the Jequitinhonha and Araçuaí river water present Al values that offer no health risk, as well as the Araçuaí city's treated water supply. However, the Itinga water supply needs the attention authorities responsible for public sanitation.

The study of Devecchi et al (2006) on Al levels in public water supplies in the municipalities of Ribeirão Preto, where groundwater is treated by chlorination and fluoridation processes and in Atibaia, surface water source is treated by flocculation, flotation, fluoridation and chlorination, and flocculation is used in aluminum sulfate, which can increase the concentration of Al in the water. Contrary to the expectations, the values for aluminum showed that 24% of Ribeirão Preto samples exceeded the values legally permitted but Atibaia values have remained within normal parameters. These results show that Al contained in the groundwater of Ribeirão Preto is of natural origin, ie the minerals come from the bedrock where water is captured.

In addition to the Al element, another element, P has also called attention, because according to Lopes et al. (2006) of the total 27 water samples, 25 samples showed values above 25 ppb allowed by the Ministry of Health, ranging from 26 to 1856 ppb, with an average of 230 ppb. These anomalies, considering the geological setting does not appear to favor phosphate deposits, however, the riparian communities and residents have the habit of keeping pigsties and cattle pens on the banks of the area drainages. Therefore it suggests that this P is of anthropogenic origin (domestic and animal waste).

Other elements that have values in water above the allowed health level were Fe and Mn (MS/2004 - 0.300 ppm and 0.100, respectively). Of the total 59 samples, 24 have levels of iron ranging from 0.300 to 8.539 ppm, with an average of 1.304 ppm, and 17 samples have Mn values ranging from 0.100 ppm to 1.4 ppm, with an average of 0.356 ppm.

The elements As, Sn, B, Pb, Cl, Co, Li, and Ni showed local values in water above the permitted levels without the need for greater care in relation to environmental health.

#### Soil and Stream Sediments

The chemical analysis results of soil showed that of 46 samples, the dispersion of Al covers approximately 60% of the area, giving the average (background) of 30748 ppm (Figure 03). This figure is well above the average (17770 ppm) for soil from eight drainage basins (rivers: Velhas, Paracatu, Abaeté, Urucuia, Carinhanha, Jequitai, Verde Grande and São Francisco) in Minas Gerais State (Viglio 2010), Table 01.

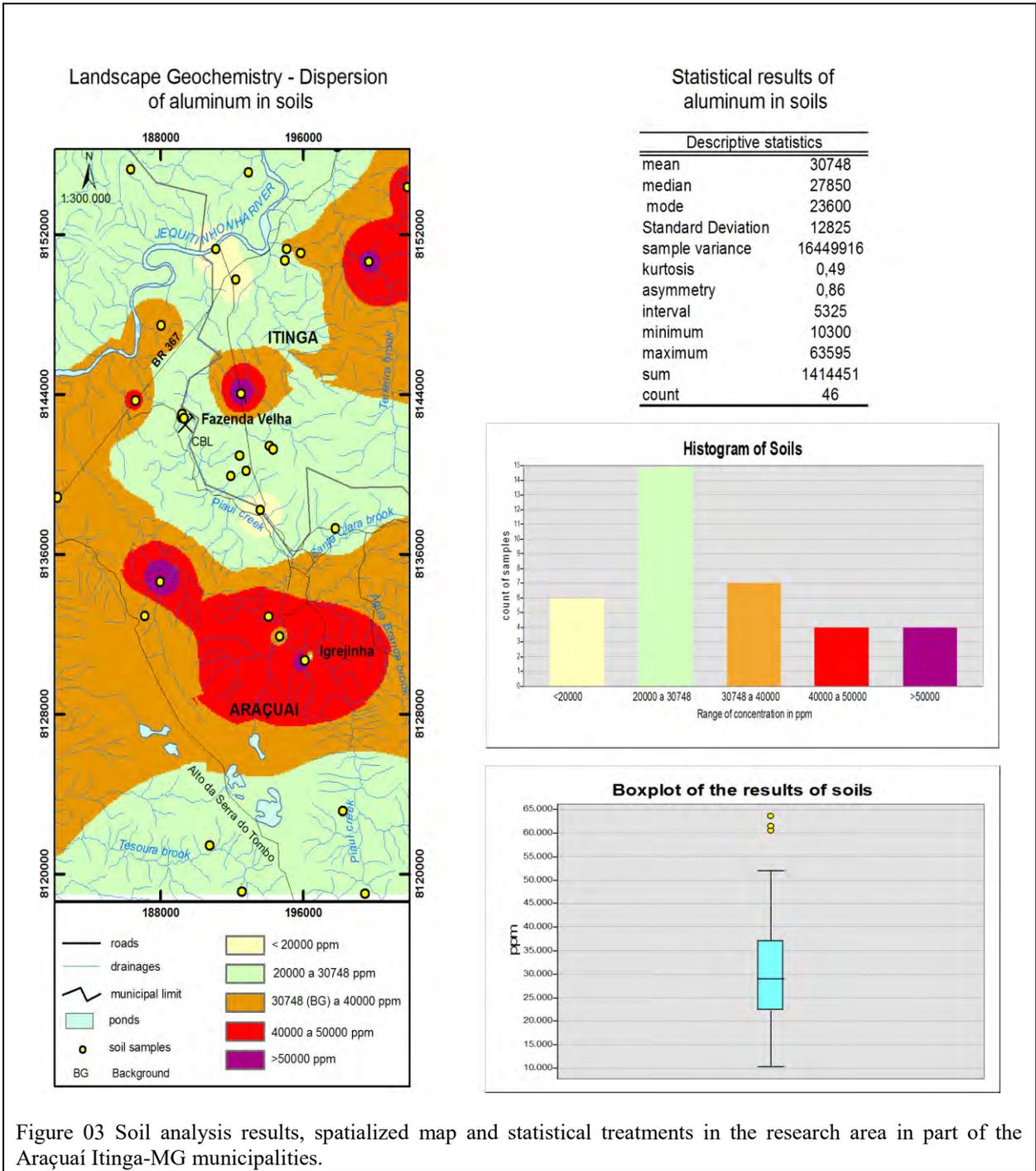
By submitting a mean value of 84,744 ppm of Al, very high compared to other two samples of soil overlying the detrital lateritic covers were not considered in the statistical analysis, although, they can also provide significant amounts of Al to the environment.

Ruby (2009) describes in his work about agricultural soils of the Jaguari-SP river basin that residual sediments contain on average about 25000 ppm of Al.

The chemical analysis results of Al for 39 sediment samples collected in the area, show an average of 8600 ppm and 23800 ppm maximum (Figure 04). From this total, 18 locations, approximately 50% of the area, showed values of Al close to the average of 8815 ppm, for the eight drainage basins (Rivers: das Velhas, Paracatu, Abaeté, Urucuia, Carinhanha, Doce and São Francisco) Minas Gerais State (Viglio 2010) Table 01.

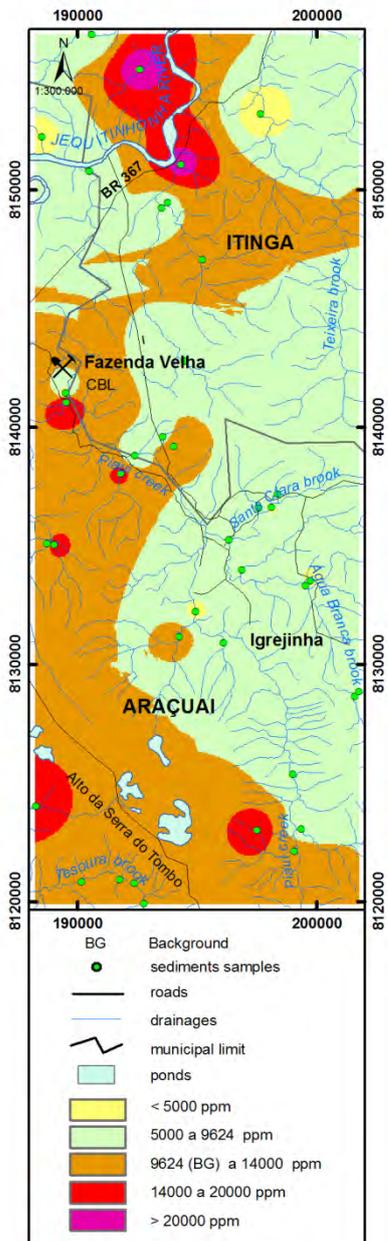
Table 01 Average and maximum values of aluminum in 70% of the drainage basins in Minas Gerais (Viglio 2010).

Value	Sediment (ppm)	Soil (ppm)
Average	8815	17770
Maximum	44528	89137



Landscape Geochemistry - Dispersion of aluminum in sediments

Statistical results of aluminum in sediments



Descriptive statistics	
mean	9624
median	7500
mode	5200
Standard Deviation	5669
sample variance	32139517
kurtosis	0,61
asymmetry	1,09
interval	21300
minimum	2500
maximum	23800
sum	375339
count	39

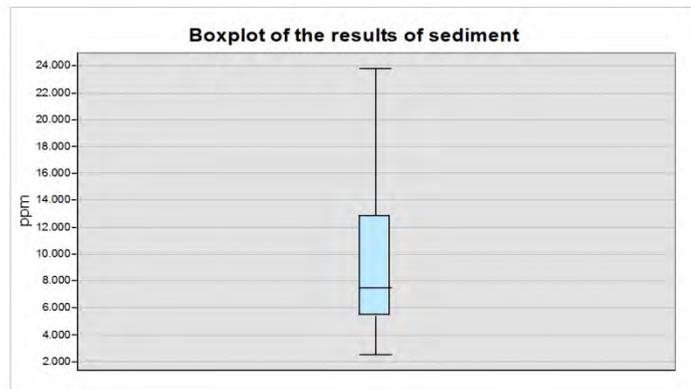
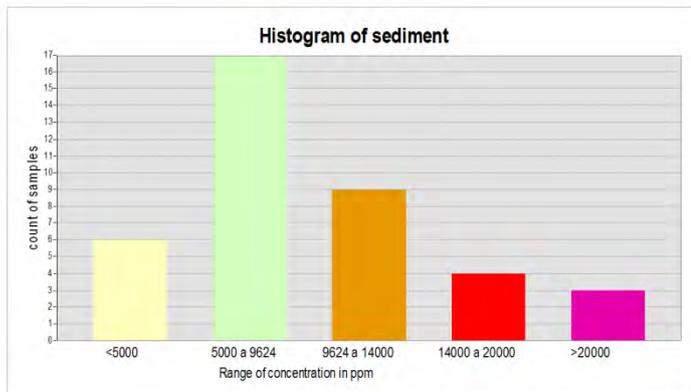


Figure 04 Sediment analysis results, spatialized map and statistical treatments in the research area in part of the Araçuaí Itinga (MG) municipalities.

In order to confirm whether Al has been incorporated in the local residents' diets or not, four vegetable samples were analyzed, collected in April 2008, in Laranjal and Tesoura communities to the North-Northeast and South of the research area.

To these were added eight vegetable samples collected in places where high Al levels have been detected. Two of these samples were collected in the locality of Fazenda Velha, three in the town of Igrejinha, located within the study area.

The other three samples were collected in the Pega community, located in the Virgem da Lapa municipality, lying about 40 km from the Itinga-Araçuaí region however, in the same geological setting.

In the same area, two from the River Araçuaí water samples (treated and untreated) were collected and analyzed, and the results to Al of both samples are below 0.100 ppm. A soil sample from this location, showed values of the Al above the research area background value and two times higher than the eight drainage basins background of Minas Gerais State.

For the 12 vegetable samples average Al values were obtained of 1059 ppm ranging from 50 to 4948 ppm or mg/kg. These results and those from soils collected in the gardens of these communities are shown in Table 02.

Batista (2003) presents the geochemical behavior of Al from the rock (shales and greywackes)-sediment-soil-vegetation in the area of the Neves Corvo mine in Portugal, located in the Iberian Pyrite Belt, an important metallogenic province of polymetallic massive sulphide. Note that small concentrations of aluminum, contribute to better plant growth, however, the toxicity of aluminum in plants is also reflected in the inhibition to assimilate other nutrients such as P, Ca, Mg, K and N.

The Neves Corvo sediment results were on average 62403 ppm Al, three times higher than the Portugal background. In soil the average is 62418 ppm of Al, indicating that land values vary widely depending on the pH. In cistus leaves (a shrub dominant in the region) Al levels were obtained from 1274 ppm.

Al content in plants in the Araçuaí-Itinga area are similar to those found in Neves Corvo, however, the Al in sediments and soil differ significantly, respectively, about seven and two times higher. This is probably related to the embedded rocks, schists and greywackes, of the polymetallic mineralization of that Portuguese mining region.

The ATSDR (2008) set the limit of daily intake of 70 ppm of Al for a person weighing 70 kg, as the human body retains 0.1 to 0.6% of the food volume consumed and 0.07 to 0.39% of drinking water. The remainder is excreted in the urine (ATSDR 2006).

The Center for Food Safety (CFS 2009) has undertaken a study on food in order to examine the levels of aluminum used as an additive in various products and evaluate exposure and health risks to the population of Hong Kong. The test results of 256 samples showed that high concentrations of aluminum were found in bread / steamed cake (average 100-320 mg/kg), some baked goods such as muffins (average: 250 mg/kg) pancake/waffle (mean: 160 mg/kg), coconut pie (mean: 120 mg/kg) and cake (average: 91 mg/kg) and jellyfish (mean: 1200 mg/kg). The CFS recommended the trade and industry to reduce the use of aluminum in food processing products and to inform us the amount of this element.

An article published by the European Food Safety Authority (EFSA) in July 2008, about on available scientific data did not consider that exposure to aluminum through food risk foster the development of Alzheimer's disease (CFS 2009).

The average Li values in the soil in this research are of 78.0 mg/kg and plants of 2.30 mg/kg differing from those obtained in the River Jordão Valley by Ammari et al. (2010), where the soil, originating from carbonate rocks, varies from 1.06 to 2.68 mg/kg and plants from 2 to 27 mg/kg, indicating the concentration of Li in the soil depends more on the land evolution (topography, climate, water) than on the bedrock. The study also found that consuming 250-300 g/day of spinach (1.15 to 1.38 mg of Li), constitutes an important source of nutrition in Jordânia, offering consumers the daily Li necessary for good health and other social benefits. Approximately 3200 people live on the banks of these drainage regions, in an area of 600 km<sup>2</sup>, located in the Araçuaí-Itinga municipalities. They may be ingesting water containing Al over the limit (MS, CONAMA) considered harmful to humans. Given the extent of the geological environment (granites and aluminous metasediments) into other regions, as shown in Figure 05 it is estimated that these locations, the rural population of around 50000 people may also be exposed to aluminum.

Table 02 Analytical results of Al in food and soil samples.			
Samples	Foods – Al (ppm)	Soils – Al (ppm)	Locality
CR-V-1001C	Gherkin 1522	34881	Fazenda Velha
CR-V-1001D	Mango 482	22500	Fazenda Velha
CR-V-1010E	Chives 1534	26678	Escola da Igrejinha
CR-V-1010F	Mustard 1834	45940	Igrejinha
CR-V-1010G	Cabbage 249	48790	Igrejinha
CR-V-1002	Mustard 4948	52096	Laranjal
CR-V-1003A	Chives 307	42046	Laranjal
CR-V-1003B	Bean 50	42408	Laranjal
CR-V-1008	Cabbage 52	27100	Tesoura
CR-V-1029A	Cabbage 389		Pega (Virgem da Lapa)
CR-V-1029B	Chives 913	36238	Pega (Virgem da Lapa)
CR-V-1029C	Pepper 437		Pega (Virgem da Lapa)

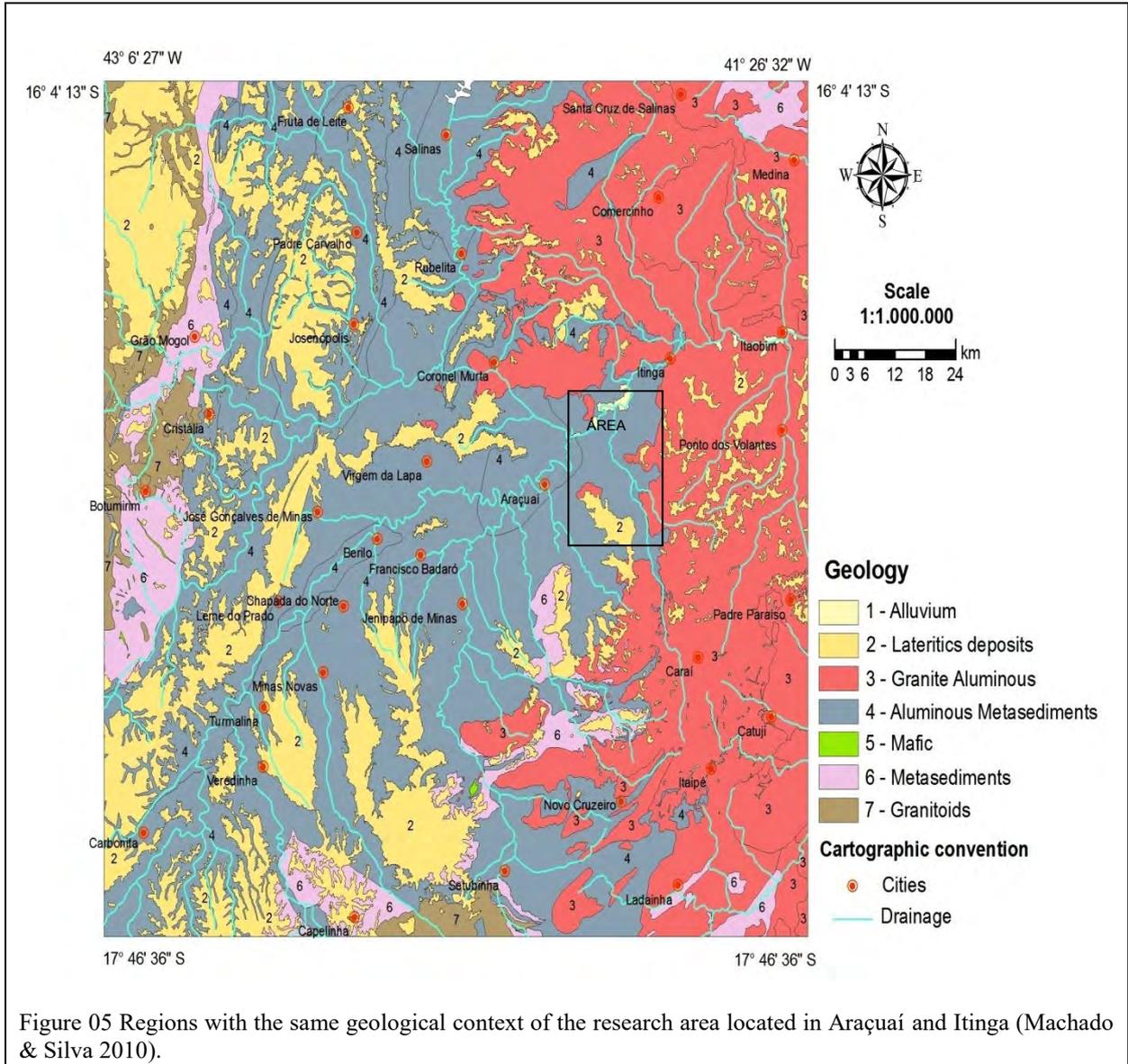


Figure 05 Regions with the same geological context of the research area located in Araçuaí and Itinga (Machado & Silva 2010).

### Human Exposure Assessment

The studies were made by a multidisciplinary team composed of doctors, biologists and geologists who established the collection methodology. The biological material selected to collect was plasma, the best indicator for aluminum.

In order to study and evaluate this population's exposure to Al, two communities, Igrejinha and Fazenda Velha in Araçuaí, were selected for the toxicological study, because they have the water supplies with Al levels above those permitted by the Ministry of Health. Also includes a group of people undergoing dialysis treatment, in three weekly sessions in Teófilo Otoni, 197 km from Araçuaí.

The latter group has been chosen as being exposed to anthropic Al (Al-containing solution used in dialysis) and its relationship with the two populations exposed to natural environment.

As suggested by Silva et al. (2010) in the research methodology for medical geology, prior to the collection phase, meetings were conducted with the Araçuaí municipality health department, which provided personal support, logistics and infrastructure, particularly in the first contact with the populations to be surveyed.

Also in this phase interviews were carried out with the Araçuaí and Itinga secretaries of health, who indicated that the most common diseases occurring in the region were: renal failure, hypertension, anemia, nervous system diseases, circulatory and diarrhea.

The Igrejinha community is on the left bank of the Piauí Creek, lying about 23 km southeast of Araçuaí (Fig. 01), with a population of approximately 380 people (including the village and surrounding area). A total of 99 blood samples were collected from the population.

Fazenda Velha is also located on the left bank of the Piauí Creek, about 11 km East of Araçuaí (Fig. 01), with a population of approximately 240 people. From here 34 blood samples were collected to analysis the plasma.

The results obtained in the Igrejinha community (Table 03) show that of 99 people subjected to plasma analysis, 73% had Al values above 3 µg/L (upper limit of normal for ATSDR 2008), 55% with values above 10 µg/L (limit of biological tolerance to non-exposed population, according to Jerome and Fujimura, (1998), coinciding with the one established by CAH (2006) for people with no history of renal failure), 10% above 60 µg/L, 04% above 100 µg/L and 02% above 200 µg/L (high risk of toxicity to people of all ages and dialysis groups, Resolution 86/C104/04 European Commission and CAH).

It is noteworthy that in Igrejinha 30 children aged 0-10 years, the analysis results, showed Al values of < 1 to 337.66 µg/L in plasma and a median of 14 µg/L. This indicates that 73% of these children are with values above 3 µg/L, 67% above 10 µg/L (toxic risks, according to CAH 2006), 17% above 60 µg/L, 10% above 100 µg/L (exceeding this value is a high toxicity risk in children, according to CAH 2006) and 07% above 200 µg/L of Al.

In the Fazenda Velha results of 34 samples analyzed indicate that 56% of people are with values of Al above 3 µg/L, 32% above 10 µg/L 9% above 60 µg/L and 9% above 100 µg/L.

For patients living in Araçuaí, receiving hemodialysis in Teófilo Otoni, the results of the plasma display in µg/L of Al, from the total of 16 samples, 94% are with values above 3 µg/L, 75% above 10 µg/L (low risk of toxicity), 44% above 60 µg/L (indicating risk of toxicity from this value according to Resolution 86/C104/04), 25% above 100 µg/L and 19% above 200 µg/L of Al.

In relation to the dialysis population studied by Jeronymo and Fujimura (1998), this Araçuaí group is in a more critical state of toxicity, while the referred population has 15% of individuals higher than 60 µg/L, the Araçuaí dialysis group has three times (44%) more aluminum in their plasma.

The aluminum content in the plasma of the dialysis group should not be compared with the other two populations evaluated in this study, the Araçuaí dialysis group is exposed to aluminum by hemodialysis fluids, in addition to Al made available by the ingestion of food and water. Populations of Igrejinha and Fazenda Velha are naturally exposed by ingestion of food and water.

According to ATSDR (2006), excessive intake of Al may cause muscular-skeletal effects, joint pain and a softening of the bones. Pregnant or lactating women exposed to Al may harm the nervous system of fetuses. Individuals with impaired renal function have decreased urinary excretion and consequently increases the absorption of Al in the body, including being exposed to the risk of dementia related to this chemical.

The syndrome "dialysis dementia" described by Alfrey et al. (1972) in groups of patients of hemodialysis is characterized by a speech impairment that progresses until the complete inability to speak, coma and often death.

Table 3 Concentration levels of aluminum in plasma (serum) ( $\mu\text{g/L}$ ) in the community populations of Igrejinha, Fazenda Velha (Araçuaí) and dialysis group.

Local	Age Range	N°	Median	Minimum	Maximum	n(%) upper 3.00* $\mu\text{g/L}$	n(%) upper 10.00** $\mu\text{g/L}$	n(%) upper 60.00** $\mu\text{g/L}$	n(%) upper 100.00* $\mu\text{g/L}$	n(%) upper 200.00* $\mu\text{g/L}$
Igrejinha	0-10	30	14.14	<1	337.86	73	67	17	10	7
	11-60	61	9.12	<1	167.85	70	49	7	2	0
	above 60	8	9.35	<1	61.57	88	50	13	0	0
<b>Sub total</b>		99	10.98	<1	337.86	73	55	10	4	2
Fazenda Velha	11-60	26	3,98	<1	170,92	54	35	8	8	0
	above 60	8	5.21	1,04	161.92	63	25	13	13	0
<b>Sub total</b>		34	4.66	<1	170.92	56	32	9	9	0
<b>Subtotal Communities</b>		133	9.12	<1	337.86	68	49	10	5	2
Dialysis group	11-60	14	62.05	<1	1309.1	93	79	50	29	21
	above 60	2	24.36	7.85	40.88	100	50	0	0	0
<b>Sub total</b>		16	49.10	<1	1309.11	94	75	44	25	19
<b>Total general</b>		149	10.87	<1	1309.11	71	52	13	7	3

\* 3,00  $\mu\text{g/L}$  up to this value is considered the normal amount of Al in plasma (ATSDR 2008).

\*\* second CAH (2006):

- < 10  $\mu\text{g/L}$ : people with no history of renal failure;
- < 60  $\mu\text{g/L}$ : low risk of toxicity in patients with renal failure;
- < 60  $\mu\text{g/L}$ : excessive accumulation; risk of toxicity in children;
- > 100  $\mu\text{g/L}$ : High risk of toxicity in children;
- > 200  $\mu\text{g/L}$ : High risk of toxicity at any age range.

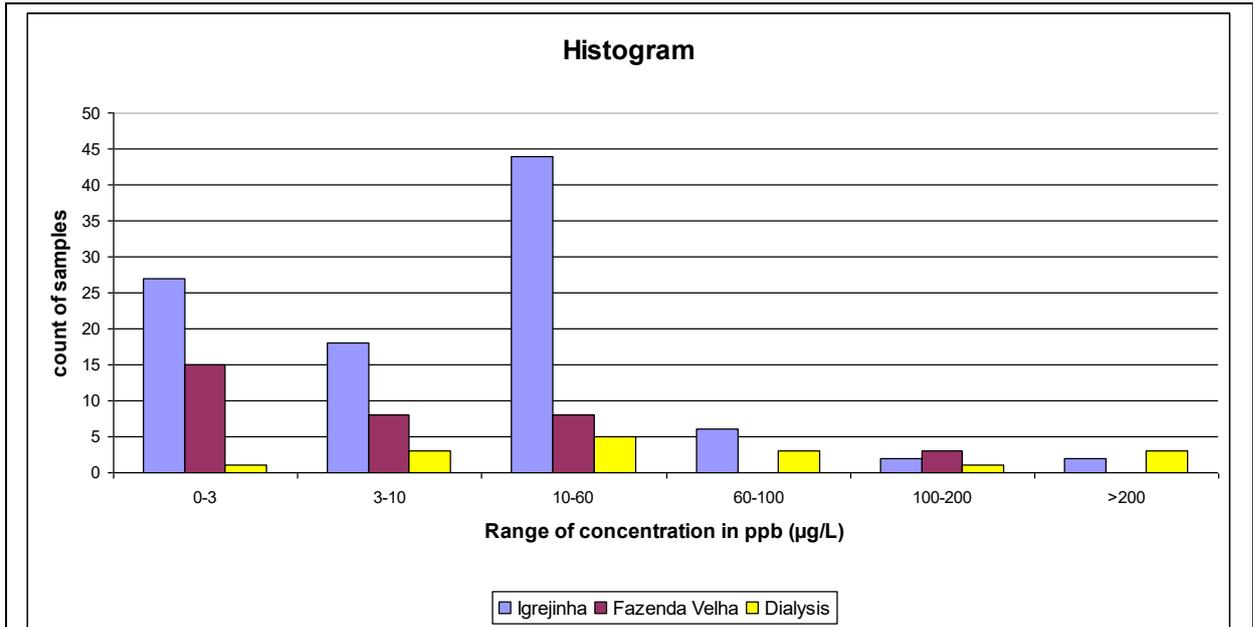


Figure 06 Histogram of results from aluminum concentration in plasma versus number of samples in Igrejinha, Fazenda Velha and the Dialysis Group.

Flaten (2001) notes that aluminum is a powerful neurotoxic chemical and there is much evidence that this element may play a significant role in the etiology and pathogenesis of Alzheimer's disease, but if the link is causal is still open to debate. Reports that nine of the thirteen epidemiological studies published in recent years about Al in drinking water versus Alzheimer's disease, showed statistically significant positive relationships. Notes also that the ingestion of drinking water with high concentrations of Al contributes only a small fraction of the total daily intake, especially in relation to regular consumers of antacids on the other hand, epidemiological studies related to exposure to antacid versus Alzheimer's disease have been shown negative.

Martyn et al. (1989) presents a survey of rates of Alzheimer's disease in people younger than 70 years in eighty-eight districts of England and Wales. Where the risk of Alzheimer's disease was 1.5 times higher in districts where the concentration of aluminum in water supply over the past 10 years had an average above 0.11 mg / L than in districts where concentrations were less than 0.01 mg/L.

Suay & Ballester (2002) conducted a review of published epidemiological studies related to the ingestion of drinking water, which revealed that people exposed to concentrations higher than 0.1 mg/L showed the risk factor 2 times higher to develop the Alzheimer's disease. They note that other forms of exposure to Al (food, medicine and occupational) have received little attention, needing a view of the toxic effect of Al on human health and further research and constant monitoring.

In a recent work Flaten et al. (1996) reported that a wide range of toxic effects of aluminum has been demonstrated in aquatic plants and animals, animal experiments with different routes of exposure, and under different clinical conditions in humans. Aluminum toxicity is a major problem in agriculture, affecting about 40% of arable land in the world. In humans with chronic renal failure on dialysis, Al causes encephalopathy, osteomalacia and anemia. There are also reports of such effects in certain groups of patients without renal failure. Subtle effects, and cognitive and psychomotor abnormalities in electroencephalograms were detected in plasma of Al below 50 mg/L. Children are particularly susceptible to Al toxicity and accumulation, contributing to reduced kidney function.

Flaten et al. (1996) also emphasize that more efforts should be directed to defining the range of potentially harmful effects on humans. To this end, multidisciplinary collaborative research efforts are encouraged, involving scientists from many different specialties. The emphasis should be placed on increasing our understanding of the chemistry of Al in biological systems, and the determination of cellular and molecular mechanisms of Al toxicity.

It appeared that the available studies on the toxicity of aluminum in humans are mainly related to individuals with renal insufficiency, including benchmarks to guide clinical diagnosis (Jerome and Fujimura 1998); Resolution 86/C104/04, European Commission, CAH 2006, ATSDR 2008). It also appears that exposure to Al most investigated are related to ingestion of drinking water for people without renal insufficiency (Martyn et al. 1989; Suay & Ballester 2002).

In the study area the process of exposure of Al starts at outcropping rocks, are rich in mineral alumina, which after the weathering and pedogenesis processes, the soil harbors aluminum, along with the other chemicals that are also present in the minerals/rocks. These in part after being dissolved can be absorbed by plants and/or flow into the ground and surface water.

Similar processes of rock-soil-food have been previously described in Neves Corvo, Portugal (Iberian Pyrite Belt) for aluminum, as well as rock-soil-food in the Jordan River Valley for lithium.

Thus, with the results of high aluminum concentrations found in the plasma of individuals sampled in this study, we can suggest the path rock-soil-water-food-individuals of aluminum exposure in the rural population of Araçuaí-Itinga mainly in the Piauí Creek drainage basin.

### CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The data and interpretations here presented allowed the following conclusions:

The geological and geochemical data indicate that over 80% of the area presents Al values in water higher than those recommended by health and environmental authorities (MS, ATSDR, WHO, CONAMA). The soils also provide high amounts of Al, being absorbed by vegetables, which in turn also have high Al concentrations;

Geochemical data show that the source of metals occurring in the area which may be harmful to health, are of natural origin, i.e. the environment itself. Moreover, we find no evidence in water, soil and food, that potential health problems of Piauí Creek basin residents, may be caused by discharges and wastes from mining and prospecting work in the region;

The study indicates that the path of aluminum is rock, soil, water (untreated) and local foods, and these last two items are consumed by the rural population residing along the banks of creeks, especially the residents of the Piauí Creek basin;

It is estimated that approximately 3200 people living on the banks of these drainage regions, an area of 600 km<sup>2</sup>, located in the Araçuaí Itinga municipalities are ingesting water containing Al over the limit (MS, CONAMA) considered harmful to humans;

In both communities the results showed that 68% of the populations are exposed to Al (above 3 µg/L). Another 49% are above 10 µg/L, 10% above 60 µg/L, 4% above 100 µg/L and 2% above 200 µg/L. According CAH (2006) these benchmarks, except for the first, refer to patients with renal failure and for those above 60 µg/L of Al in the plasma, about 44% of the dialysis group, begins to present a toxicity risk to renal failure patients;

Special attention should be given to children, who present the greatest risk of natural exposure to aluminum and dialysis patients because they also have high exposure.

This research reinforces medical geology as a valuable tool for prevention and safety, which must be used by mining companies seeking to develop projects that are focused on the welfare of the population. It is suggested they engage in a review of the existing quantity of natural chemicals that may be harmful to environmental health, in the location and neighborhood of the enterprise. The analysis of sediments, soil, water and plants should be carried out before, during (annual monitoring) and after closure of the mining activities;

To remedy the situation encountered regarding the high aluminum content available naturally and the rural population exposure to ingests untreated water, it is recommended:

Clinical and epidemiological studies in the Igrejinha and Fazenda Velha populations and the hemodialysis group, to confirm if this ingested aluminum is intoxicating and causing harm to health;

Deepen further studies of aluminum behavior in the human body, and the definition of reference values in biological indicators.

Immediately should be provided or suggested to the exposed population to use filters with activated carbon (removes much of the aluminum) and vary the food habits by buying food elsewhere;

Apply soil treatments such as limestone (CaCO<sub>3</sub>) to better develop agriculture and also to neutralize in part the availability of aluminum in soil and water drainages;

Disseminate the study of medical geology, given the extent of the geological environment (granites, aluminous metasediments and detrital lateritic covers) to other regions in the surrounding municipalities of Salinas, Virgem da Lapa, Jenipapo de Minas, Setubinha, Turmalina up to Carbonita. It is estimated that this region has a rural population of around 50000 people.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the researchers in Geosciences, Fernanda Gonçalves Cunha and Sabino Loguércio, to the Medical Doctor, Eduardo Mello De Capitani, for the contributions to discussions and correct the text. To Daniel Vidal for chemical analysis of soil and foods. The biologist Andre Luiz Souza e Antonia Lucia dos Santos by collect of blood. The Chemist, Luzia Cristina V. Rodriguez and Agronomist Edgar Shinzato for the preparation of the figures and tables. Teacher Sueli Cardoso de Araújo, for suggestions and linguistic revision and the translation by Roger Stanley Wilkinson.

## REFERENCES

- Alfrey AC, Mishell JM, Burks J, Contiguglia SR, Rudolph H, Levin E, Holmes JH (1972). Syndrome of dyspraxia and multifocal seizures associated with chronic hemodialysis. *Trans Am Soc Artif Intern Organs*, 18:257-26.
- Ammari TG, Al-Zu'bi Y, Abu-Baker S, Dababneh B, Gneamat W, Tahboub A (2010). The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain. *Environ Geochem Health*, DOI 10.1007/s10653-010-9343. Springer Science+Business Media B.V.
- Almeida FFM (1977). O cráton do São Francisco. *RBG*, 7(4):349-64.
- Appleton JD, Fuge R, McCall GJH (1996). *Environmental Geochemistry and Health*, publ. n. 13. The Geological Society, London.
- ATSDR (2008). *Toxicological profile for aluminum*. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry., Atlanta, Georgia.
- ATSDR (2006). *Toxicological profile for sluminum* (draft for public comment). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Batista MJAF (2003). *Comportamento de elementos químicos no sistema rocha-solo-sedimento-planta na área mineira de Neves Corvo: implicações ambientais*. Tese (Doutorado) – Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, 2003. Disponível em: [http://e-geo.ineti.pt/edicoes\\_online/teses/mjb/mjb.htm](http://e-geo.ineti.pt/edicoes_online/teses/mjb/mjb.htm). Acesso em: 29 nov. 2010.
- Bizzi LA, Schobbenhaus C, Vidotti RM, Gonçalves JH (2003). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Texto, mapas e SIG. Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Brasília.
- Carvalho FM, Barreto ML, Silvany-Neto AM, Waldron HA, Tavares TM (1984). Multiple causes of anaemia amongst children living near a lead smelter in Brazil. *Sci. Total Environ*, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 71-84, Apr.
- CAH (2006). *Trace element analyses* (Andrew Taylor, editor), 4<sup>th</sup> Edition, Produced at the Royal Survey County Hospital, Guildford, UK.
- Capitani EM (1996). Alterações respiratórias em trabalhadores expostos a poeiras de abrasivos de tipo corindo. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas.
- Cortecchi G (2002). *Geologia e salute*. Università degli Studi di Bologna.
- CPRM (2006). Resultados analíticos de água, sedimento e solos da região de Itinga-MG, Relatório interno, inédito. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geologiamedica>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- Cunha FG (2003). Contaminação humana e ambiental por chumbo no vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná, Brasil. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 111 p.
- Cunha FG, Machado G (2003). *Manual simplificado sobre os procedimentos e coleta de água superficial de consumo doméstico*. CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geologiamedica>.
- Devecchi GCR, Ferreira PC, Abreu KA, Trevilato TMB, Muñoz SIS (2006). Níveis de alumínio e zinco em água coletada em dois municípios que possuem diferentes fontes de captação e tratamento no estado de São Paulo. *O Mundo da Saúde São Paulo*, out./dez. 30(4):619-627.
- Dissanayake CB, Chandrajith R (2009). *Introduction to medical geology*. Series: Erlangen Earth Conference Series 2009, XVI, 297 p. 166 illus., 50 in color., Hardcover ISBN: 978-3-642-00484-1. Ed. Springer Verlag.
- Figueiredo BR (2005). Contaminação ambiental e humana por chumbo no vale do Ribeira (SP-PR). *ComCiência*, Campinas, n. 71, nov. Disponível em: <http://www.comciencia.br>. Acesso em: 25 fev. 2010.
- Figueiredo BR, Litter MI, Silva CR *et al.* (2010). Medical geology studies in South America. 79-106 p. In: Selinus O, Finkelman RB, Centeno JA. 2010. *Medical geology: a regional synthesis*. ISBN 978-90-481-3430-4. DOI 10.1007/978-90-481-3430-4, Springer Dordrecht Heidelberg London, New York. 392 p.
- Finkelman RB, Selinus, O, Centeno A (2007). Medical geology in developing countries, Part 1. *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 29, n. 2, April 2007. Special Issue.
- Flaten TP (2001). Aluminum as a risk factor in Alzheimer's disease, with an emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*. vol. 552, pp. 187-196. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science>. Acesso em: 14 de maio de 2011.
- Flaten TP, Alfrey AC, Birchall JD, Savory J, Yokel RA (1996). Status and future concerns of clinical and environmental aluminum toxicology. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Part A: Current Issue, Vol. 48, Issue 6, p. 527-542.

- Jeronymo SA, Fujimura HY (2008). Dosagem de alumínio no soro de indivíduos sadios e em pacientes com insuficiência renal crônica mantidos ou não em tratamento dialítico. *J. Bras. Nefrol.*, 20(2):144-150.
- Kahwage MA (2000). *Minerais gemológicos da região de Araçuaí-Itinga (MG): modo de ocorrência, características e métodos de beneficiamento*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Licht OAB (2001). *A geoquímica multielementar na gestão ambiental*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Lins CAC (2003). *Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM): texto completo*. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geologiamedica>.
- Lopes Jr, Silva CR, Marques C (2006). *Contaminações naturais de elementos metálicos nas águas da bacia hidrográfica do ribeirão Piauí, município de Itinga-MG*. 43º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju-SE.
- Machado M, Silva SF (2010). *Mapa geodiversidade do estado de Minas Gerais, Brasil*. Belo Horizonte: CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geodiversidade>.
- Martyn CN, Barker DJ, Osmond C, Harris EC, Edwardson JA, Lacey RF (1989). Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Lancet*, 14;1(8629):59-6.
- Matschullat J, Borba RP, Deschamps E, Figueiredo BF, Gabrio T, Schwenk M (2000). Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. *Applied Geochemistry*, v. 15, p. 181-190.
- Opresko DM (1995). *Toxicity summary for lithium*. Oak Ridge Reservation Environmental Restoration Program, Disponível em: <http://risk.lsd.ornl.gov/tox/profiles/lith>.
- Paes VJC, Raposo FO, Pinto CP, Oliveira FAR (2009). Folha Itaobim, escala 1:100.000. Mapa e relatório. In: *Projeto Jequitinhonha*. Belo Horizonte: CPRM. Programa Geologia do Brasil.
- Paiva G (1946). Províncias pegmatíticas do Brasil. *Bol.* 78, Rio de Janeiro, p. 13-21. DNPM/ Div.Fom.Prod.Min.
- Paoliello MMB (2002). *Exposição humana ao chumbo e cádmio em áreas de mineração, vale do Ribeira, Brasil*. 2002. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 173 p.
- Pedrosa-Soares AC, Wiedemann-Leonardos CM (2000). Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Araçuaí-Ribeira Belt, eastern Brazil. In: Cordani UG, Milani EJ, Thomaz Filho A, Campos DA (Eds.). *Tectonic Evolution of South America*, 31<sup>st</sup> IGC: p. 265-285.
- Pedrosa-Soares AC, Noce CM, Wiedemann CM, Pinto CP (2001). The Araçuaí-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. Elsevier, *Precambrian Research* 110 (2001):307-323.
- Pedrosa-Soares AC, Chaves M, Scholz R (2009). *Eastern brazilian pegmatite province*. Field Trip Guide. PEG2009 - 4<sup>th</sup> International Symposium on Granitic Pegmatites. 28 p.
- Perillo A (1995). *Mapa geológico-Folha Almenara*, escala 1:250.000. Programa Levantamento Geológico Básico. Belo Horizonte: CPRM.
- Pinto MCF (2007). *Manual medição in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido*. CPRM.
- Romeiro JCP (1998). *Controle da mineralização de lítio em pegmatitos da mina da Cachoeira. Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- Romeiro JCP, Pedrosa-Soares AC (2005). Controle do minério de espodumênio em pegmatitos da mina da Cachoeira, Araçuaí, MG. *Geonomos*, 13(1,2):75-81.
- Ruby EC (2009). *Qualidade ambiental de solos agrícolas da bacia do rio Jaguari*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Sá JHS (1977). *Pegmatitos litíferos da região de Itinga-Araçuaí, Minas Gerais*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Schauzer GN (2002). Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*, vol. 21, n. 1.
- Selinus O, Alloway B, Centeno JA, Finkelman RB, Fuge R, Lindh U, Smedley P (2005). *Essentials of medical geology*, Elsevier Academic Press, Burlington- MA, USA.
- Selinus O (2006). Introdução à geologia médica. Cap.1. In: Silva CR et al. *Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CPRM. 220 p.
- Selinus O, Finkelman RB, Centeno JA (2010). *Medical geology: a regional synthesis*. Springer Dordrecht Heidelberg, London, New York. 392 p.
- Silva CR, Figueiredo BR, Capitani ED, Cunha FG (2006). *Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CPRM. 220 p.
- Silva CR, Mello EF, Almeida CN (2010). *Metodologia de avaliação de riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração: uma revisão*. 23 p. Rio de Janeiro/; UFRJ. Artigo submetido à *Revista Brasileira de Geociências* em 08.07.2010.

- Smith B, Breward N, Crawford MB, Galimaka D, Mushiri SM, Reeder S (1996). The environmental geochemistry of aluminium in tropical terrains and its implications to health. *Geological Society*, London Special Publications; v. 113, p. 141-52; DOI: 10.1144/GSL.SP.1996.113.01.1.
- Singh S (2004). *Theoretical basis for medical geology*. University Malaysia.
- Skinner HCW, Berger AR (2003). *Geology and health: closing the gap*. Oxford University Press, New York.
- Sorenson JR., Campbell IR, Tepper LB, Lingg RD (1974). Aluminum in the environment and human health. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 8, pp. 3-95.
- Thornton I (1983). *Applied Environmental Geochemistry*, Academic Press Geology Serie, London.
- Suay LL, Ballester DF (2002). Review of studies on exposure to aluminum and Alzheimer's disease. *Rev Esp Salud Publ.*, 76(6):645-58.
- Velasquez LNM, Fantinel LM, Ferreira E, Castillo LS, Uhlein A, Vargas AMD, Aranha PRA (2006). Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil. In: Silva CR, Figueiredo BR, Capitani ED, Cunha FG. (2006). *Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CPRM. 220 p Cap. 17, p. 110-17.
- Viglio EP (2010). *O alumínio nas bacias dos rios São Francisco e Doce no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geologiamedica>.

## ANEXO A – VALIDAÇÃO DA COMISSÃO DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE IGUAÇU (CEP/UNIG)

ANEXO 4

Aprovação pela Comissão de Ética em Pesquisa



UNIVERSIDADE IGUAÇU  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E  
EXTENSÃO  
COMISSÃO DE ÉTICA EM PESQUISA

Ilmo. Sr. Prof : Maria Izabel Dias Miorin de Moraes  
Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde

Senhor Professor,

Informamos à Vossa Senhoria que a Comissão de Ética em Pesquisa desta Universidade apreciou todo o material enviado por Vossa Senhoria, relacionado ao projeto “Avaliação dos níveis de alumínio na população exposta a concentração natural/antropogênica, na região de Araçuaí, Vale do Rio Jequitinhonha, Estado de Minas Gerais, Brasil - estudo de caso”

Pesquisador responsável: - Antonio Neres Norberg – *PhD*  
Orientada: Maria Izabel Dias Miorin de Moraes

Instituição: Universidade Iguaçu – UNIG  
Data da apresentação: 10 de agosto de 2009

Data da reunião de avaliação de relatórios: 13 de agosto de 2009

A Comissão optou por aprovar a documentação apresentada, que está de acordo com as resoluções do Conselho Nacional de Saúde e da Comissão Médica Mundial. Especificamente, a Comissão aprovou o protocolo, o *Curriculum vitae* do investigador e os documentos anexos.

Sem mais, atentiosamente.

Nova Iguaçu, RJ 13 de agosto de 2009.

A handwritten signature in cursive script, reading 'Fernando Silvério Torres', is positioned above the typed name of the signatory.

Prof. Fernando Silvério Torres  
Coordenador da Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Iguaçu

## ANEXO B – COMUNICAÇÃO DE RESULTADOS



SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DE MINAS GERAIS  
SUBSECRETARIA DE VIGILÂNCIA E PROTEÇÃO À SAÚDE  
SUPERINTENDÊNCIA DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA, AMBIENTAL E SAÚDE DO TRABALHADOR  
DIRETORIA DE VIGILÂNCIA AMBIENTAL

**Ofício.DVA /SVEAST/Sub.VPS – Nº 13/2011**

Belo Horizonte, 11 de Fevereiro de 2011.

**Assunto: Encaminha declaração.**

Prezado Senhor,

Encaminhamos a V.Sr<sup>a</sup>., em anexo, declaração atestando a presença do Sr. Cássio Roberto da Silva, na apresentação dos resultados da pesquisa “**Avaliação do Risco Geológico à Exposição de Elementos Químicos à Saúde Ambiental, na Região de Araçuaí – Itinga, Minas Gerais, Brasil**”, realizado na Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais no dia 01 de fevereiro de 2011.

Em anexo também, lista de participantes.

Estamos à disposição para maiores esclarecimentos.

Atenciosamente,

**Talita Leal Chamone**  
Diretoria de Vigilância Ambiental  
Masp: 06 693 246 MG  
DVA/ SVEAST /SES-MG

**Dr. Francisco Leopoldo Lemos**  
Superintendente de Vigilância Epidemiologia,  
Ambiental e Saúde do Trabalhador  
Sub.VPS/SES-MG  
Masp: 116 8909 - 8

Ilmo.Sr.

**Cássio Roberto da Silva**  
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
Serviço Geológico do Brasil  
**Endereço: Rua da Passagem, 07/1002 – Bairro: Botafogo**  
**Rio de Janeiro/RJ**  
**CEP: 22290-030**