

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU***  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE**

**ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO  
DE ÁGUA (ETA's) DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA-GO  
E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE**

**JIULLIANO DE SOUSA COSTA**

Goiânia-GO  
Setembro de 2010

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU***  
**MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE**

**ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO  
DE ÁGUA (ETA's) DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA-GO  
E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE**

**JIULLIANO DE SOUSA COSTA**

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Eric Santos Araújo

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito obrigatório para obtenção de título de Mestre em Ciências Ambientais e Saúde.

Goiânia-GO  
Setembro de 2010

C837a Costa, Julliano de Sousa.

Análise química da água nas estações de tratamento de água (ETA's) da região metropolitana de Goiânia-GO e sua relação com a saúde / Julliano de Sousa Costa. – 2010.  
65 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde, 2010.  
“Orientador: Profº Dr. Eric Santos Araújo”.

1. Água – qualidade – Goiânia-GO. 2. Saúde pública – água – poluição – riscos – Goiânia-GO. 3. Estações de Tratamento de Água do Estado de Goiás (ETA's). 4. Poluição ambiental. I. Título.

CDU: 628.19:504(817.3)(043.3)



PUC GOIÁS

DISSERTAÇÃO DO MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE  
DEFENDIDA EM 30 DE JUNHO DE 2010 E  
CONSIDERADA APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:

1)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eric Santos Araújo / PUC Goiás (Presidente/Orientador)

2)

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Majra Barberi / PUC Goiás (Membro)

3)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Vicente Granato de Araújo / UFG (Membro)

4)

\_\_\_\_\_  
Dra. Flávia Melo Rodrigues / PUC Goiás (Suplente)

\_\_\_\_\_

## RESUMO

A água é responsável pelo transporte dos minerais na fisiologia dos seres vivos, o que torna a saúde do homem dependente de sua potabilidade. Como parte do trabalho realizado pela Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais (CPRM) nas Estações de Tratamento de Água do Estado de Goiás, analisaram-se as amostras referentes a 11 municípios da região metropolitana de Goiânia-GO, com o objetivo de verificar os parâmetros físico-químicos e a composição multielementar da água (método ICP-OES e cromatografia). Os resultados obtidos foram comparados com os padrões brasileiros e internacionais de qualidade da água e correlacionados com possíveis problemas de saúde que podem ser provocados por excesso ou carência de alguns elementos químicos presentes no organismo dos seres vivos. Foram identificadas alterações ambientais no município de Goianira-GO, verificando-se a presença de chumbo na composição da água que abastece a população. No loteamento Parque dos Girassóis, próximo aos poços de captação de água que abastece o município de Goianira-GO, há a presença de oficinas mecânicas e ferros velhos. Esses estabelecimentos trabalham com baterias automotivas e outros produtos contendo chumbo em sua composição e lançam esses materiais diretamente no solo. Isso causa a contaminação da água e coloca em risco a saúde da população local.

**Palavras-chave:** Qualidade da água. Problemas de saúde. Alterações ambientais.

## **ABSTRACT**

### **CHEMICAL ANALYSIS OF WATER IN THE WATER TREATMENT PLANTS IN THE METROPOLITAN REGION OF GOIÂNIA-GO AND ITS RELATIONSHIP WITH HEALTH**

Water is responsible for transporting minerals in the physiology of living beings, which makes human health dependent on its potability. As part of the work carried out by Company of Mineral Resources Research (Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais – CPRM) in the Water Treatment Plants of the Goiás State, samples collected in 11 municipalities in the metropolitan region of Goiânia-GO were analyzed aiming at verifying the physical-chemical parameters and multielement composition of water (method ICP-OES and chromatography). The results obtained were compared to Brazilian and international standards of water quality and correlated with possible health problems that may be caused by excess or lack of some chemical elements present in living beings. Environmental alterations were identified in the municipality of Goianira-GO, with the presence of lead in the composition of the water that supplies the population. In Parque dos Girassóis, a neighborhood near the points where the water that supplies the municipality of Goianira-GO is collected, the presence of auto repair shops and junk yards was detected. These enterprises deal with car batteries and other products that contain lead in their composition and dispose of these materials directly into the soil. This causes the contamination of water and poses health risk to the local population.

**Key words:** Water quality. Health problems. Environmental alterations.

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo Geral.....	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Geoquímica Ambiental.....	5
3.2. Geologia Médica.....	7
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
4.1. Localização.....	12
4.2. Hidrologia.....	14
4.3. Aspectos Geológicos.....	16
4.4. Aspectos Econômicos.....	18
4.5. Métodos e Técnicas das ETA's.....	19
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1. Planejamento Preliminar.....	26
5.2. Parâmetros para definição da área de estudo.....	26
5.3. Sistemática de numeração das amostras .....	26
5.4. Elaboração do Mapa de Amostragem.....	28
5.5. Atividades de Campo.....	29
5.6. Atividades Laboratoriais.....	30
5.7. Tratamento dos Dados e Apresentação dos Resultados.....	31
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
6.1. Dosagem Química Multielementar da Água.....	32
6.2. Associação dos Elementos .....	37
6.3. Ação Biológica e Mapas de Distribuição dos Elementos Seleccionados.....	39
6.4. Análise Integrada dos Resultados.....	46
7. CONCLUSÕES.....	57
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Conseqüências na saúde causadas pelo excesso ou carência de elementos químicos presentes no organismo dos seres humanos.....	08
Tabela 2: Coordenadas dos pontos de amostragem e toponímia da região de estudo.....	27
Tabela 3: Elementos e compostos químicos dosados nas amostras das ETA's dos 11 municípios em estudo, acrescidos de suas respectivas análises metodológicas.....	32
Tabela 4: Valor mínimo e máximo e sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos.....	33
Tabela 5: Sumário estatístico e valores de 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ordens de cada elemento e composto químico dosados nas amostras acrescidos de seus respectivos VMP pelo Padrão Brasileiro e Internacional de Qualidade da água (em mg/L) dos elementos químicos analisados.....	34
Tabela 6: Valores anômalos de 1 <sup>a</sup> (vermelho), 2 <sup>a</sup> (azul), e 3 <sup>a</sup> (verde) ordens dos elementos químicos dosados nas amostras, segundo níveis e limites de concentrações (mg/L).....	35
Tabela 7: Correlações mais significativas entre os elementos selecionados.....	38
Tabela 8: Valores anômalos de 1 <sup>a</sup> (vermelho), 2 <sup>a</sup> (azul), e 3 <sup>a</sup> (verde) ordens dos elementos e compostos químicos dosados nas amostras, segundo níveis e limites de VMP em (mg/L).....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	13
Figura 2: Mapa da bacia do rio Meia Ponte.....	15
Figura 3: Mapa Geológico da área de estudos.....	17
Figura 4: ETA Simplificada.....	20
Figura 5: ETA de Nerópolis-GO.....	20
Figura 6: Tanque cone.....	21
Figura 7: Filtros de cascalho e areia.....	21
Figura 8: Reservatório de contato.....	22
Figura 9: Reservatório de Água tratada (capacidade para 200.000 L).....	22
Figura 10: Tratamento de água por captação subterrânea.....	24
Figura 11: Poço de captação de água subterrânea no município de Goianira....	24
Figura 12: Caixa de reunião no município de Goianira.....	25
Figura 13: Sub-sistema núcleo central de Goianira-GO.....	25
Figura 14: Técnicos do CPRM em trabalho de coleta em campo. ....	27
Figura 15: Materiais e aparelhos utilizados para coleta de água em campo.....	28
Figura 16: Mapa de localização dos pontos de amostragem.....	29
Figura 17: Matriz de correlação – ICP-OES.....	36
Figura 18: Matriz de correlação - Cromatografia.....	37
Figura 19: Mapa de distribuição Magnésio (Mg).....	40
Figura 20: Mapa de distribuição Cálcio (Ca).....	40
Figura 21: Mapa de distribuição Bário (Ba).....	42
Figura 22: Mapa de distribuição Boro (B).....	43

Figura 23: Mapa de distribuição Cálcio (Ca).....	43
Figura 24: Mapa de distribuição Estrôncio (Sr).....	44
Figura 25: Mapa de distribuição Ferro (Fe).....	45
Figura 26: Mapa de distribuição Alumínio (Al).....	46
Figura 27: Dois poços de bombeamento de água subterrânea.....	53
Figura 28: Um dos onze poços que abastecem a caixa de reunião.....	53
Figura 29: Loteamento e obras que ameaçam área de preservação.....	54
Figura 30: Placa de anuncio da empresa responsável pela comercialização dos lotes próximo aos poços da SANEAGO.....	54
Figura 31: Placa indicadora da oficina mecânica que trabalha com bateria automotiva próximo ao poço de captação de água.....	55
Figura 32: Oficina e moradores que ocupam o loteamento próximo ao poço de captação de água.....	56
Figura 33: Lixo eletrônico jogado livremente no solo próximo ao poço de captação de água da SANEAGO.....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisas dos Recursos Naturais
ETA	Estações de Tratamento de Água
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos EUA
GMPS	Geosoft Mapping and Processing System
GPS	Sistema de Posicionamento Georreferenciado
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy
LEA	Laboratório de Espectroscopia Atômica
MCAS	Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde
MS	Ministério da Saúde do Brasil
OMS	Organização Mundial de Saúde
PGAGEM	Programa de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica
PUC-Goiás	Pontifícia Universidade Católica de Goiás
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
UCB	Universidade Católica de Brasília
VMP	Valor Médio Padrão

## 1. INTRODUÇÃO

Todo o universo é constituído por um único grupo de elementos químicos, inclusive os seres vivos, somos frutos de uma “poeira cósmica” em uma receita que se diferencia simplesmente na dosagem desses elementos que atuam diretamente na saúde dos seres vivos. Conhecidos como sais minerais, o excesso ou a falta de algum elemento pode resultar em patologias ou disfunções dos organismos (Thiel, 1964).

Dentre todos os elementos que constituem a biosfera a água é considerada o elemento essencial para a vida, ela ocupa uma proporção de aproximadamente 70% da matéria que compõe os seres vivos. Ela participa de todo processo metabólico e fisiológico dos seres vivos. Apropriada como solvente universal é o maior responsável pelo transporte dos sais minerais nos organismos vivos e em todo o ambiente terrestre (Branco, 2000).

Por causa da água todos os elementos da natureza circulam na biosfera, sofrendo degradação e intemperismo, sendo depositado, absorvido ou ingerido por algum organismo vivo e participando do meio biótico por algum tempo até que seja devolvido ao ambiente através de excreção ou decomposição (Fleury, 1995).

A água é utilizada para a higiene pessoal, do lar, nas indústrias, geração de energia, parques aquáticos, piscicultura, agricultura, irrigação das lavouras, dessedentação humana e dos animais. Porém, a água não é um bem inesgotável, a sua qualidade depende da conservação do solo, subsolo, nascentes, córregos, rios, morros, fauna e flora em equilíbrio ecológico (Campos, 2009).

A água que abastece as cidades depende da conservação de todo complexo das bacias hidrográficas de cada região. A bacia hidrográfica que ocupa a maior parte do Estado de Goiás é a bacia do Paraná que tem o rio Paranaíba

como rio mais importante. Essa bacia está em 44% da área do nosso Estado e, em seu entorno vivem cerca de 75% da população goiana (Bayer, 2009).

Os principais responsáveis pelo abastecimento da população da região metropolitana de Goiânia e entorno são o rio Meia Ponte e o ribeirão João Leite. O ribeirão João Leite foi represado para o armazenamento de água a fim de aumentar o seu potencial de abastecimento (Campos, 2009).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos estabelece regras para o saneamento básico, a universalização ao seu acesso e que o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo de resíduos sejam feitos de forma adequada à saúde pública e preservação do meio ambiente (Machado, 2009).

Os Estados foram incentivados pelo governo federal a produzir planos próprios para cuidar de suas águas. A legislação brasileira reafirma a água como um bem de domínio público, um recurso limitado e as bacias hidrográficas são unidades territoriais onde se deve programar uma política nacional para esse setor (Machado, 2009).

As principais fontes poluidoras das bacias hidrográficas são: industriais, agroindustriais, agropecuárias, urbanas, mineração. Todas essas fontes tornam-se mais ou menos expressivas em função do grau de poluição ou contaminação de seus efluentes (Guerino, 2009).

Em nosso Estado ainda existe um alto índice de desmatamentos, áreas de solo impermeabilizado, contaminação com agrotóxicos, queima de combustível fóssil, consumo indiscriminado de óleos, lubrificantes, produção de lixo eletrônico, químicos e outros. O desmatamento ocasionado pela ação humana ao longo do tempo já provocou a destruição de grande parte das matas nativas (típicas do

cerrado) atingindo áreas de preservação como topos de morros, nascentes e matas ciliares (Costa, 2009).

O crescimento das cidades da região metropolitana de Goiânia segue em direção aos mananciais e às captações de água e vem causando sérios transtornos aos cursos hídricos, tais como: esgotos clandestinos, erosões e assoreamento, lançamento de lixo e animais mortos nas águas, depredação das matas ciliares e margens dos córregos o que gera mais poluição, e pode até inviabilizar o tratamento da água (Guerino, 2009).

Como parte do trabalho realizado pela Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais (CPRM) nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) do Estado de Goiás, neste trabalho está sendo feita a análise dos resultados referentes a 11 municípios da região metropolitana de Goiânia-Go, com o objetivo de verificar os parâmetros físico-químicos e a composição multielementar da água tratada a ser comparada com possíveis problemas de saúde da população.

Para garantir melhor qualidade de vida e saúde para população é preciso desenvolver ações de intervenção que contribuam com a preservação de nossos mananciais com campanhas educativas, controle do uso de agrotóxicos, recomposição das matas ciliares, proteção das nascentes, destino adequado para o lixo, entre outras. A nossa saúde depende da qualidade da água, o que é resultado de um ambiente em equilíbrio.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Verificar a qualidade da água tratada nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) de 11 (onze) municípios da região metropolitana de Goiânia: Goiânia, Aparecida de Goiânia, Senador Canedo, Trindade, Abadia de Goiás, Guapó, Goianira, Santo Antonio de Goiás, Goianápolis, Nerópolis e Terezópolis, através de análise multielementar geoquímica e pontuar possíveis problemas de saúde relacionados com o excesso de alguns elementos químicos presente na composição da água que abastece esses municípios.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- Analisar a potabilidade da água distribuída para consumo em 11 municípios da região metropolitana de Goiânia-GO.
- Quantificar o percentual de elementos químicos contidos na composição da água que abastece esses municípios.
- Classificar os elementos químicos segundo a ordem de significância e o seu potencial de toxicidade.
- Identificar possíveis problemas de saúde que os elementos químicos podem provocar pelo excesso ou carência no organismo do homem.
- Relacionar as alterações ambientais com as doenças que são causadas pelo desequilíbrio quantitativo de elementos químicos na composição da água.
- Identificar problemas a fim de desenvolver ações de saneamento básico e consciência ambiental nos municípios mais afetados pela ação antrópica.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Geoquímica Ambiental**

O termo geomedicina foi identificado como aquele onde os métodos geográficos e cartográficos podem ser utilizados na pesquisa médica. Há muito tempo que a representação cartográfica da distribuição das moléstias humanas e animais vem sendo utilizada pelo homem (Lâg, 1990).

Devido à necessidade da integração entre médicos, biólogos, geógrafos, meteorologistas, ecologistas e geólogos no avanço e desenvolvimento das pesquisas geoquímicas, surgiram as conexões entre a saúde humana e a ocorrência de diversos elementos na água, para a existência de regiões com excesso ou carência de determinados elementos químicos (Vinogradov, 1959).

A relação entre a distribuição de elementos químicos no ambiente e a saúde humana torna-se mais forte à medida que aumenta a contaminação antrópica das águas por resíduos domésticos e industriais. Assim, surge a necessidade de buscar instrumentos informativos que ajudem a encontrar indicadores de áreas degradadas (Costa, 2009).

No fim de século XX as sociedades começaram a sofrer grandes transformações com o fenômeno de “globalização” e de uma nova ordem econômica mundial impondo novos paradigmas à sociedade, não só no aspecto econômico, mas também nos planos sociais, políticos e culturais (Stigson, 1998).

Nos últimos anos, foi despertada a consciência mundial para as grandes ameaças representadas pela explosão populacional, pelo esgotamento dos recursos naturais do planeta, pela perda da biodiversidade, pela poluição crescente da atmosfera e da hidrosfera, pelas aglomerações urbanas vulneráveis a desastres naturais e tecnológicos (Cordani, 1997).

A relação entre o ambiente contaminado e a saúde é fornecida diretamente pela cadeia alimentar e por inalação de poeiras e gases atmosféricos ou pelo contato direto com a pele. Muitas doenças possuem um substrato casual, condicionante ou desencadeante de caráter ambiental, e podem ocorrer através de contaminações agudas ou crônicas (MS, 2002).

Os problemas de saúde associados aos riscos toxicológicos por poluição ambiental afetam principalmente os ambientes de trabalho, mas também são causados por desequilíbrios nutricionais, de ingestão e poluição ambiental. A preocupação com riscos ambientais deve estar voltada tanto para as populações expostas ocupacionalmente como também para as populações de modo geral, expostas a ambientes que possam oferecer riscos de contaminação (MS, 2002).

As contaminações ambientais podem ser de origem natural ou antrópica. As principais contaminações naturais são causadas por vulcanismo e atividades que lançam os elementos do interior da Terra para a superfície. Alguns fenômenos geológicos como intemperismo e terremoto também ameaçam a saúde quando provocam deslizamentos de terra, remobilizam elementos químicos disponibilizando-os à biota em diferentes concentrações (Selenius *et al*, 2005).

Os ambientes que caracterizam situação de risco mais marcante para a saúde e a qualidade de vida são aqueles que foram modificados pelo homem. Eles apresentam situações de risco que estão relacionadas com o desenvolvimento econômico e industrial e trazem conseqüentemente a poluição e a degradação do meio ambiente (Câmara, 1997).

Os problemas mais graves que afetam a qualidade da água são provenientes de esgotos domésticos tratados de forma inadequada ou lançados naturalmente nos córregos e rios, descontrole de efluentes industriais, perda e

destruição da bacia de captação, localização imprópria de unidades industriais, desmatamento, agricultura migratória, impermeabilização do solo, exploração mineral inadequada e práticas agrícolas deficientes (Agenda 21, 1992).

No Brasil, as fontes de contaminação da água por elementos químicos de origem antrópica, estão associadas a atividades industriais e de mineração, da geração de efluentes municipais (Guilherme *et al*, 2005), ação de garimpos clandestinos com contaminação de mercúrio (Pinheiro *et al*, 2000), plantações que utilizam agrotóxicos e inseticidas com a presença de metais pesados (Ramalho *et al*, 2000), lixões e depósitos de lixo que recebem baterias de carro, telefone celular, material eletrônico entre outros (Pereira & Lima, 2007).

Todos os seres vivos fazem parte da natureza. A Terra nos sustenta com seus nutrientes químicos e a água é o elemento responsável por transportar esses nutrientes por toda biosfera. Cuidar da água é cuidar da nossa saúde, da saúde de todos os seres vivos, do equilíbrio ecológico. Para ter uma vida saudável o homem precisa viver em conjunto com todos os elementos da natureza em harmonia.

### **3.2. Geologia Médica**

A Geologia Médica é o estudo das relações entre os fatores geológicos e a saúde, enfatizando o impacto dos metais e os processos geológicos na saúde pública, especialmente os materiais nocivos de origem natural ou antrópica presentes no ambiente (Silva *et al*, 2006). Estuda a influência das condições climáticas e ambientais sobre a saúde, principalmente em relação aos impactos epidemiológicos desses fatores na distribuição e prevalência das epidemias (Cortecci, 2003).

Há uma grande conexão entre a concentração dos elementos no ambiente e a saúde dos seres vivos. Existe uma dependência entre províncias biogeoquímicas e doenças endêmicas especificamente evidentes em regiões com excesso ou carência de alguns elementos químicos (Licht, 2001).

Vários exemplos de doenças causadas pelo desequilíbrio da concentração de elementos químicos no organismo já foram identificados, caracterizando um relacionamento direto entre ambiente geoquímico e saúde. Na Tabela 1 estão relacionados alguns exemplos como a ocorrência de bócio endêmico relacionado à deficiência de iodo, a ocorrência de cárie dentária relacionada à deficiência de flúor, a ocorrência de fluorose dentária e do esqueleto por excesso do flúor. O cretinismo e hipertrofia da tireóide relacionada à geodisponibilidade do iodo (Selenius *et al*, 2005).

**Tabela 1.** Conseqüências na saúde causadas pelo excesso ou carência de elementos químicos presentes no organismo dos seres humanos.

<b>Desordem</b>	<b>Consequência</b>	<b>Local do relato</b>
<b>Excesso de Hg</b>	Doença de Minamata	Japão
<b>Excesso de Cd</b>	Doença do Itai-itai	Japão
<b>Excesso de Cd</b>	Efeitos destrutivos nos rins e ossos	Diversos
<b>Excesso de F</b>	Fluorose dentária e nos ossos	Diversos
<b>Carência de Se</b> (selenose)	Keshan Moléstias nervosas	China Diversos
<b>Carência de Se</b>	Artrite devido à superprodução de peroxidase	Diversos
<b>Carência de Cu + Zn + Se</b>	Bócio	Diversos
<b>Carência de I</b>	Cáries dentária	Diversos
<b>Carência de F</b>	Osteoporose	Diversos
<b>Carência de P</b>	Nanismo	Diversos
<b>Carência de Zn</b>	Depressão e doenças nervosas	Diversos
<b>Carência de Mg</b>	Moléstias cardiovasculares e Cr-diabetes	Diversos
<b>Carência de Cr</b>		

Fonte: modif. Scharpenseel e Becker-Heidmann (1990 apud. Licht, 2001).

No entanto, as moléstias estão associadas principalmente à exposição anormal resultante de atividades industriais ou a deficiências alimentares relacionadas ao ambiente geoquímico. Correlações aparentes, na ausência de uma relação “causa/efeito”, são numerosas. Nesta categoria podemos citar a esclerose múltipla, hipertensão, arteriosclerose, mal de Alzheimer, cardiopatias e até mesmo o desenvolvimento de câncer à existência de níveis alterados de Co, Cd, Al, Hg, Se, As entre outros (Webb, 1975).

Os elementos químicos de importância para a biologia e medicina são os denominados macroelementos essenciais, sem os quais os organismos não conseguem sobreviver, e os microelementos essenciais necessários para a manutenção e funcionamento da vida. Em oposição a estes elementos estão os elementos tóxicos que, em concentrações elevadas ameaçam a vida ou o bom funcionamento metabólico (Komatina, 2004).

Os elementos químicos também podem ser classificados como elementos maiores, elementos menores e elementos traço. Os elementos maiores são conhecidos como elementos constituintes (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), que são os de maior quantidade no corpo humano e constituem a maior parte dos tecidos orgânicos, em média 96% do peso corporal. Os elementos menores ou macroelementos essenciais (cálcio, fósforo, potássio, enxofre, sódio, cloro e magnésio) constituem 3,8 % do peso corporal e são essenciais à manutenção da saúde, devendo ser ingeridos diariamente. Os outros 0,2% do peso corpóreo são representados por 73 dos 90 elementos relacionados na tabela periódica de Mendeleev. Devido à pequena quantidade são considerados elementos traço ou microelementos (Selenius *et al*, 2005).

Os elementos traço podem ser classificados como essenciais e não essenciais. Os microelementos essenciais são regulados por processos metabólicos equilibrados no organismo, enquanto os não essenciais não são regulados e podem ser armazenados em quantidades crescentes no organismo. Os elementos traço não podem ser sintetizados pelos seres vivos, eles ocorrem naturalmente no ambiente em limitadas faixas de concentração (Horovitz, 1988).

Os elementos são essenciais quando a insuficiência provoca uma deficiência no funcionamento orgânico, mas a suplementação pode prevenir ou curar essa deficiência. Alguns exemplos de microelementos essenciais são ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), iodo (I), molibdênio (Mo), cromo (Cr), selênio (Se) e cobalto (Co). Já o estrôncio (Sr), rubídio (Rb), vanádio (V), estanho (Sn), níquel (Ni), lítio (Li), boro (B), germânio (Ge), tungstênio (W), arsênio (As), prata (Ag), ouro (Au) e bismuto (Bi) ainda não foram comprovados como microelementos essenciais (Santana, 2003; Selenius *et al*, 2005).

A toxicidade dos elementos traço é uma questão de dose ou tempo de exposição, da forma física e química do elemento e da via de absorção (Santana, 2003). A ação tóxica é uma propriedade da estrutura química de uma substância que tem a capacidade de provocar lesões em um tecido orgânico (Licht, 2001).

Vários elementos-traço não essenciais são conhecidos como elementos tóxicos, entre eles estão o mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As), tálio (Tl), telúrio (Te), cobre (Cu), urânio (U), antimônio (Sb), berílio (Be), níquel (Ni), estanho (Sn), tungstênio (W) e vanádio (V) (Santana, 2003; Gellein, 2008). Dentre os microelementos essenciais o manganês (Mn), molibdênio (Mo), cromo (Cr), selênio (Se) e cobalto (Co) são tóxicos quando acima de certos limites (Lemes, 2001).

O problema de saúde causado por elementos químicos tem como responsáveis não apenas a presença dos elementos tóxicos, mas o balanço da quantidade ótima de elementos essenciais para cada organismo. Tanto a presença quanto a carência de elementos tóxicos ou o aumento de sua concentração essencial, podem causar um problema no funcionamento orgânico (Selinus *et al*, 2005).

Quando se considera o risco à saúde, é importante analisar a dose e o nível de exposição, pois alguns efeitos estão diretamente relacionados à dosagem e à biodisponibilidade e indiretamente a fatores químicos, geoquímicos e biológicos (Ge *et al*, 2000). A biodisponibilidade é a capacidade específica de solubilidade do mineral ou da substância que o contém. É a proporção da substância ingerida que é absorvida, transportada ao sítio de ação, e convertida a espécies fisiológicas ou tóxicas ativas (Horovitz, 1988).

A biodisponibilidade dos elementos químicos para os organismos é condicionada pela composição química da água e pelas propriedades específicas de cada elemento. Análises comparadas de metais em água e tecidos biológicos mostraram que a assimilação e a acumulação por plantas e animais podem variar de um ambiente a outro indicando que os riscos à saúde podem variar juntamente com o ambiente (Cortecci, 2003).

O estudo multielementar da composição da água nas ETA's oferece condições para analisar-mos o nível de conservação e a qualidade das bacias hidrográficas sujeitas aos diferentes tipos de ação antrópica. O conhecimento da qualidade da água e a preservação dos mananciais hídricos contribuem para o desenvolvimento sustentável, o controle de doenças e a qualidade de vida.

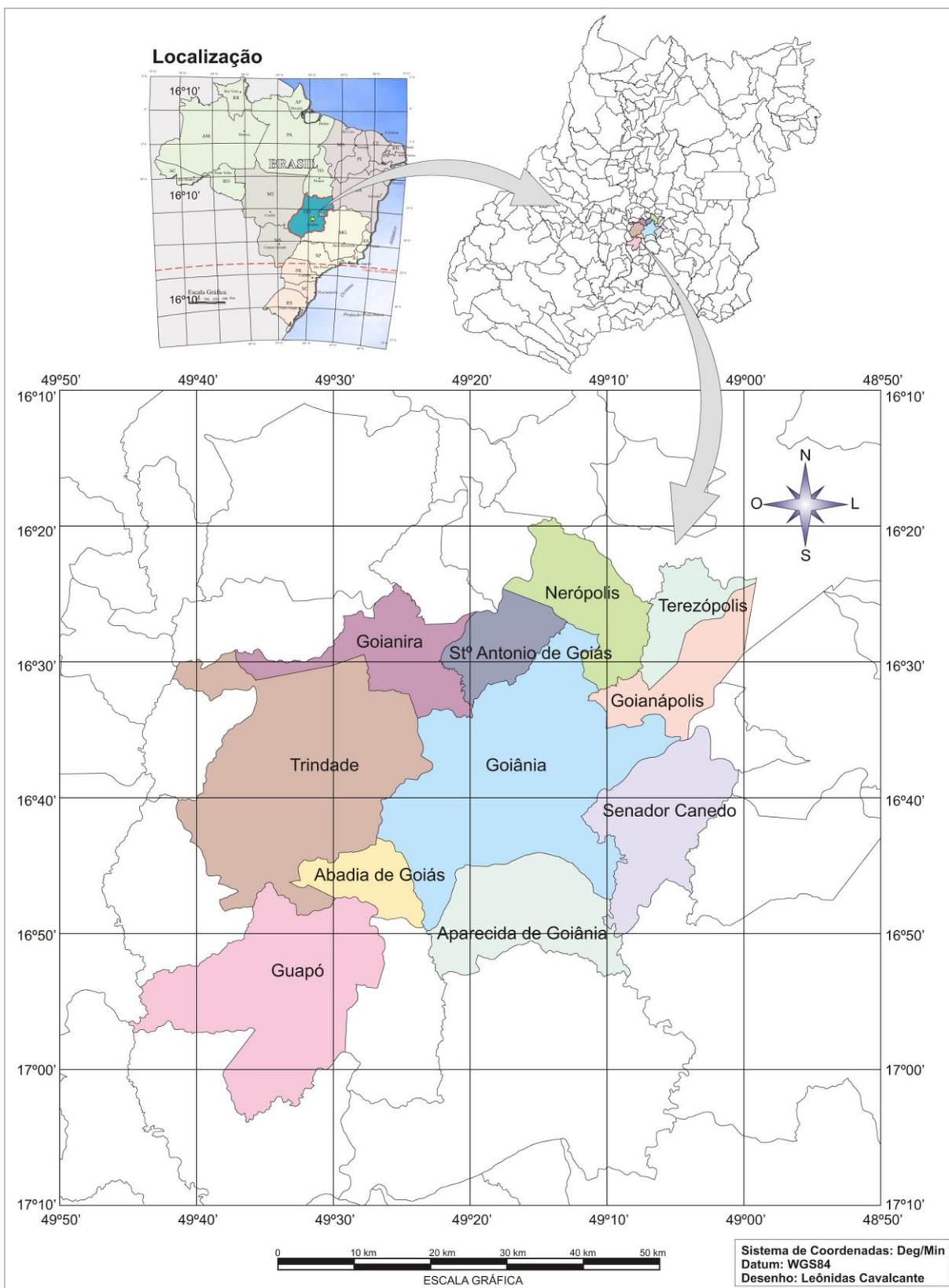
## **4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1. Localização**

O Estado de Goiás está situado na região leste do Centro-Oeste do Brasil. Ocupa uma superfície de 341.189,5 Km<sup>2</sup>. É formado por terras planas integrantes do planalto central limita-se ao norte com o Estado do Tocantins; a leste, com a Bahia; a oeste com Mato Grosso; a sudeste com o Estado de Mato Grosso do Sul e a sudoeste com Minas Gerais (SEPIN, 2009).

O Estado de Goiás conta com 242 municípios. As cidades mais populosas são Goiânia, Anápolis, Rio Verde, Luziânia e Aparecida de Goiânia. O Estado de Goiás tem como Capital a cidade de Goiânia, localizada no centro do Brasil, próximo à Capital Federal, Brasília (SEPLAN, 2009).

Como parte do trabalho realizado pela Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais (CPRM) nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) do Estado de Goiás, neste trabalho analisou-se os resultados referentes aos municípios da região metropolitana de Goiânia: Goiânia, Aparecida de Goiânia, Senador Canedo, Trindade, Abadia de Goiás, Guapó, Goianira, Santo Antonio de Goiás, Goianápolis, Nerópolis e Terezópolis (Figura 01).



**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Modificado de SANEAGO (2009).

## 4.2. Hidrologia

A principal bacia hidrográfica do Estado de Goiás é a bacia do Paraná que abrange o Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. O rio Paranaíba recebe uma extensa rede de rios que permeiam grande parte do território goiano como os rios Corumbá, rio Turvo, rio dos Bois, rio Verde, rio São Marcos, rio Claro, rio Aporé, rio Corrente e o rio Meia Ponte que atravessa o Estado de Goiás no sentido norte-sul (Bayer, 2009).

O Rio Meia Ponte percorre 415 km das suas nascentes localizadas na Serra dos Brandões, município de Itauçu-Go, até a sua foz no Rio Paranaíba, município de Cachoeira Dourada, divisa do Estado de Goiás com o Estado de Minas Gerais, drenando 37 municípios do Estado de Goiás (Bayer, 2009).

Os principais responsáveis pelo abastecimento da população da região metropolitana e entorno de Goiânia, que consiste na área mais densamente populosa do Estado são o rio Meia Ponte e o ribeirão João Leite. O ribeirão João Leite é um dos principais afluentes do rio Meia Ponte, percorrendo 61 km ocupa o território dos municípios de Ouro Verde de Goiás, Campo Limpo, Anápolis, Goianápolis, Terezópolis de Goiás e Goiânia; a Figura 2 mostra a bacia do rio Meia Ponte e os principais tipos de cultivo e atividade agrária dessa região (SANEAGO, 2009).

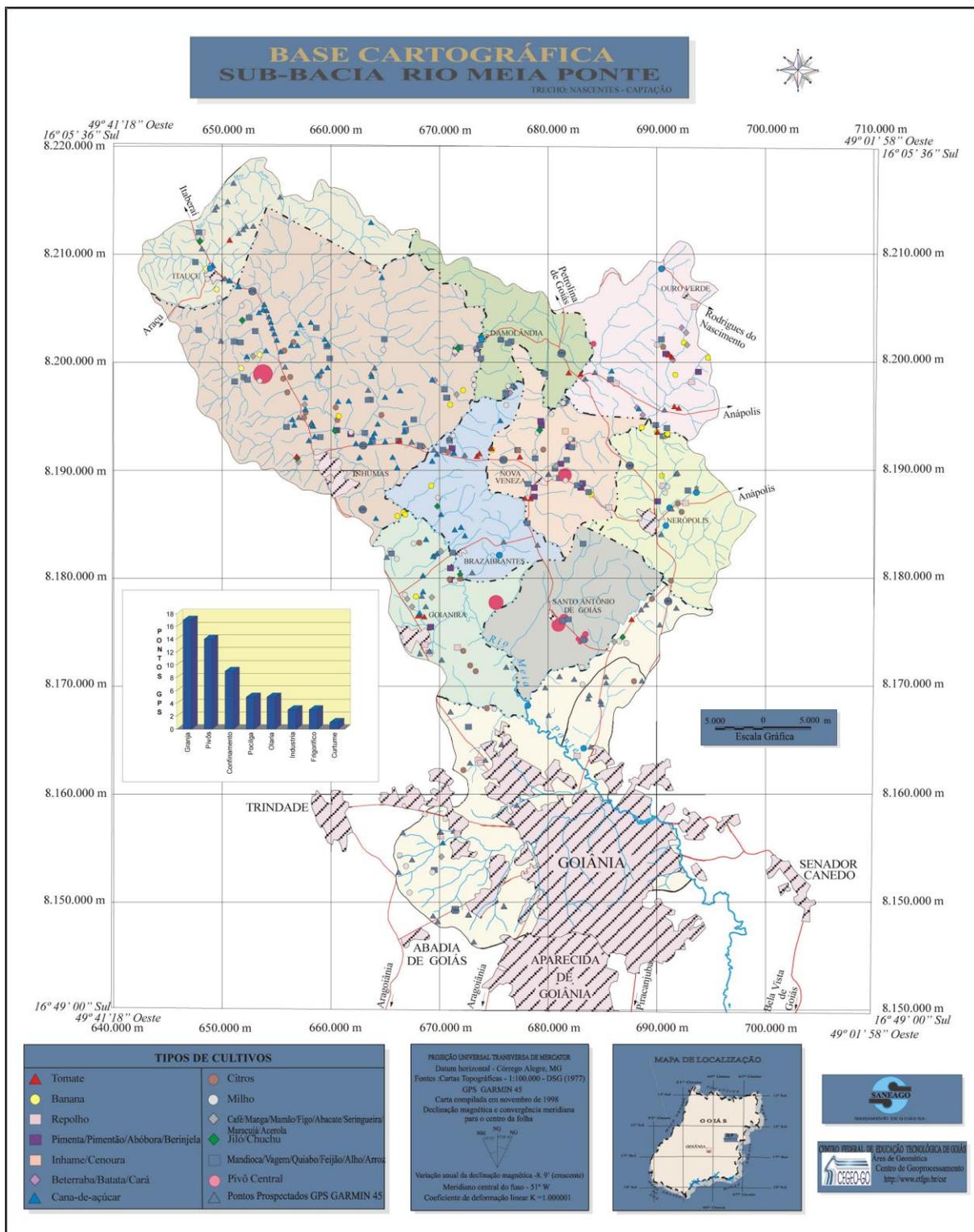


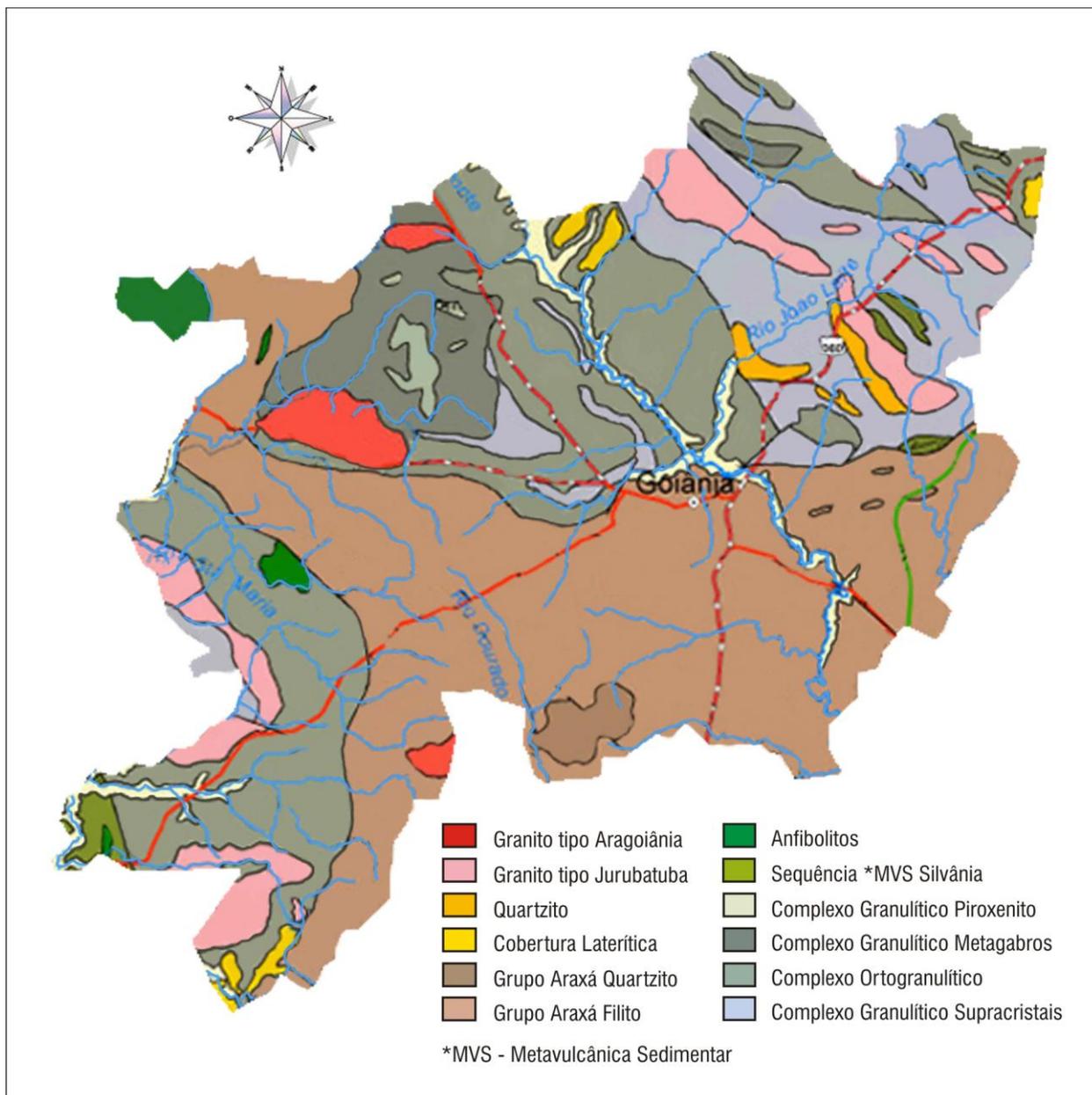
Figura 2: Mapa da bacia do rio Meia Ponte. Fonte: Modificado de SANEAGO (2009).

### **4.3. Aspectos Geológicos**

A maior área do Estado de Goiás encontra-se inserido no contato entre as estruturas arqueanas do complexo Goiano correspondente à metade setentrional da área, e as estruturas metassedimentares do Proterozóico Médio, relativas ao grupo Araxá. O Complexo Goiano é composto por um conjunto de rochas cristalinas submetidas a metamorfismo de grau médio a alto, e o grupo Araxá ocorre na porção meridional do município (Goiânia, 2009).

A presença do Grupo Araxá Sul é predominante na região metropolitana de Goiânia, e está dividido em duas principais unidades. A unidade C, composta principalmente por granada-clorita-muscovita, quartzos, xistos, feldspatos e calcíferos com intercalações subordinadas de gnaisses paraderivados e muscovita xistos, e uma Unidade D constituída principalmente de quartzitos micáceos, com intercalações subordinadas de quartzo-muscovita xistos, sericita xistos, filitos e quartzitos ferruginosos (Moreton, 1994).

A área estudada encontra-se representada pelo complexo granulítico Anápolis-Itauçu. Essas rochas foram inicialmente posicionadas no domínio dos terrenos arqueanos-paleozóicos do embasamento cristalino, denominado Complexo Basal (Figura 3) (Lacerda Filho, 1999).



**Figura 3:** Mapa Geológico da área de estudos. Fonte: Modificado do Mapa Geológico do Estado de Goiás CPRM/SIC (2008).

#### **4.4. Aspectos Econômicos**

A água própria para o consumo humano deve atender a determinados requisitos de qualidade para que seja considerada potável e não se torne tóxica para o organismo. A qualidade da água depende da litologia da região, da vegetação circundante, do ecossistema aquático e terrestre e da influência do homem (Padua, 2002).

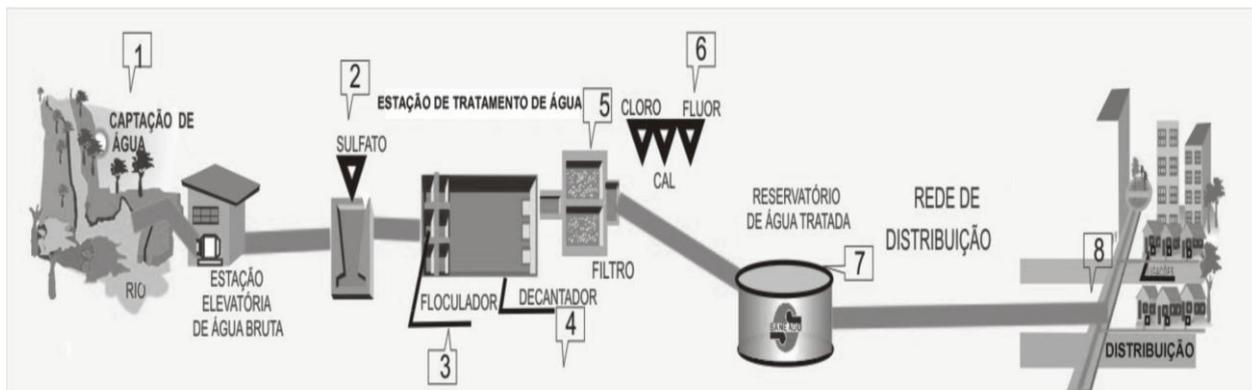
Com a contínua depredação ambiental promovida pela ação antrópica as reservas hídricas do mundo inteiro tem se reduzido consideravelmente. As populações de muitos países sofrem com a falta de água potável própria para consumo e higiene. Aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas vivem no planeta sem condições aceitáveis de saneamento e mais de um bilhão de pessoas não tem acesso a um abastecimento adequado de água (OPAS, 2001).

É dever do Estado e dos Municípios desenvolver ações políticas para preservação e recuperação dos mananciais. É mais viável investir recursos públicos para prevenir a contaminação e depredação dos rios e nascentes do que gastar com a recuperação desses ambientes e com o tratamento da água.

A Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) é a concessionária autorizada pelo poder público que assume a responsabilidade pelo abastecimento de água tratada, coleta e tratamento de esgoto sanitário na maior parte do Estado de Goiás. Atua em 223 dos 246 municípios, atende cerca de 4.619.000 (quatro milhões seiscentos e dezenove mil) habitantes. A água utilizada pela população é captada em rios e córregos (mananciais de superfície) ou em poços (mananciais subterrâneos). Os mananciais são as fontes de onde a água é retirada para o abastecimento e consumo da população (SANEAGO, 2009).

#### **4.5. Métodos e Técnicas das ETA's**

Seguindo o exemplo da Eta de Nerópolis-GO, observamos que a água captada em mananciais de superfície passa pelo tratamento em uma ETA simplificada (Figura 4 e 5). A água bruta é dosada por Sulfato de Alumínio para iniciar o processo de floculação. Em seguida é conduzida para o floco-decantador no Tanque em formato Cone onde inicia o processo de decantação, a água decantada fica na parte superior do tanque e os flóculos com sedimentos se depositam na parte inferior (Figura 6). Em seguida a água passa pelo processo de filtração em unidades filtrantes com camadas de areia e cascalho que retém as impurezas entre os poros (Figura 7). A partir da filtração a água bruta já é considerada tratada e no Tanque de Contato é fluoretada e clorada (Figura 8). A partir daí a água está pronta para abastecer a população e é enviada para um reservatório interno à ETA (Figura 9) em seguida para o reservatório na parte alta da cidade a fim de que possa ser distribuída para os consumidores através da força gravitacional.



1	CAPTAÇÃO	Água bombeada para estação de tratamento	4	DECANTAÇÃO	Processo físico de remoção das partículas.	6	PRODUTOS QUÍMICOS I	Adição de cal para ajuste de pH, desinfecção e fluoretação de água.
2	PRODUTOS QUÍMICOS I	Adição de sulfato de alumínio para remover impurezas.						
3	COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO	Processo físico-químico de remoção das impurezas pela formação de partículas.	5	FILTRAÇÃO	Retenção de partículas em camadas filtrante.	7	RESERVAÇÃO	Armazenamento em reservatórios elevados e apoiados.
						8	DISTRIBUIÇÃO	Sistemas de tubulações que conduzem a água às residências.

**Figura 4:** ETA simplificada. Fonte: modificado de SANEAGO (2009).



**Figura 5:** ETA de Nerópolis-GO.



**Figura 6:** Tanque cone.



**Figura 7:** Filtros de cascalho e areia.



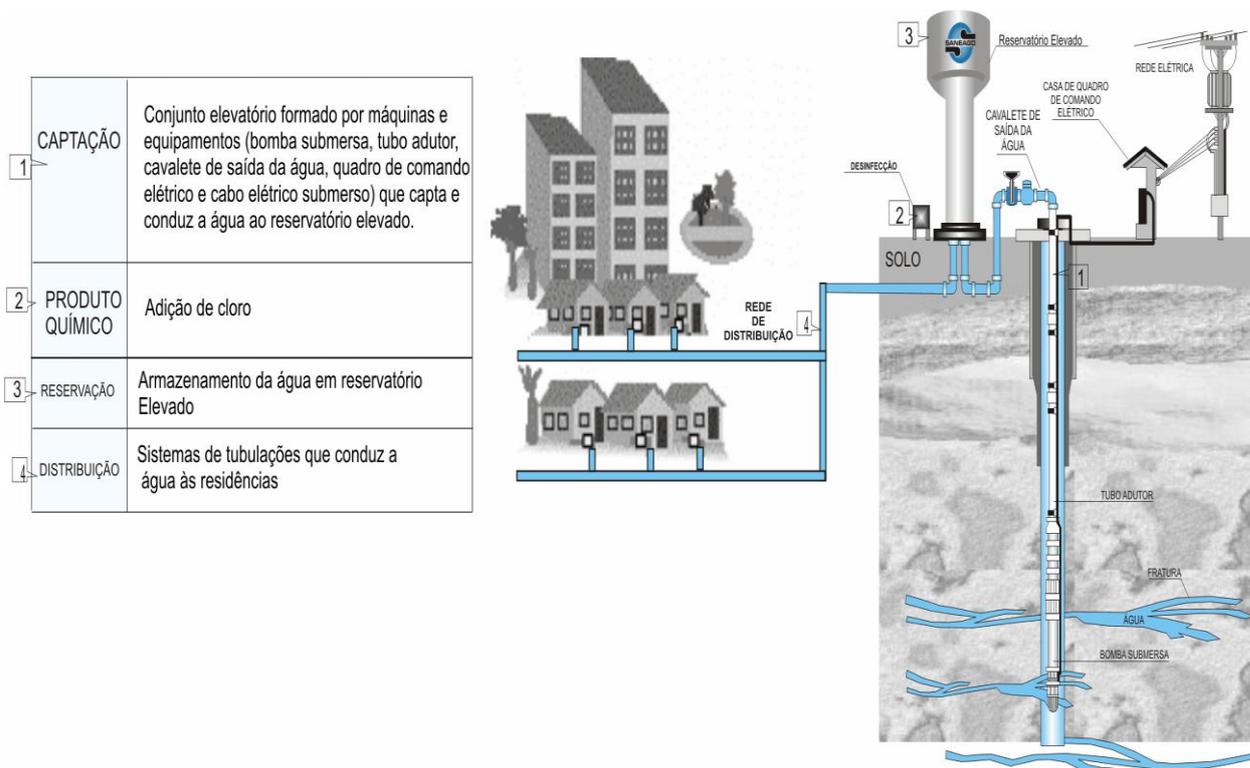
**Figura 8:** Reservatório de contato.



**Figura 9:** Reservatório de Água tratada (capacidade para 200.000 L).

Em cidades que utilizam água subterrânea, como é o caso do município de Goianira, o processo é simplificado (Figura 10). A água é captada em poços artesianos (Figura 11) em seguida é enviada para caixa de reunião (Figura 12), que envia para unidades de tratamento onde é Fluoretada e Clorada (Figura 13). Em seguida a água é transportada para caixa elevada e distribuída diretamente para o consumidor.

Antes de abastecer a população, a água tratada passa por um processo de controle de qualidade onde são realizadas análises físico-químicas e bacteriológicas de duas em duas horas para garantir o índice de potabilidade. São observados os seguintes parâmetros: coliforme total-NMP/100ml; coliforme termotolerante-NMP/100ml; pH-potencial hidrogeniônico; cor aparente-mg/l PtCo; turbidez-NTU; flúor-mg/l e cloro residual livre-mg/l. Os valores abaixo de cada parâmetro são recomendados pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (SANEAGO, 2009).



**Figura 10:** Tratamento de água por captação subterrânea Fonte: modificado de SANEAGO (2009).



**Figura 11:** Poço de captação de água subterrânea no município de Goianira.



Figura 12: Caixa de reunião no município de Goianira



Figura 13: Sub-sistema núcleo central de Goianira-GO

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1. Planejamento Preliminar**

Realizou-se um estudo de análise química multielementar de amostras de água das ETA's em 11 municípios da região metropolitana de Goiânia-GO. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica a partir de livros, periódicos, dissertações de mestrados, mapas, arquivos de órgãos públicos, textos informativos, jornais, sites e outros tipos de materiais considerados relevantes para pesquisa científica.

### **5.2. Parâmetros para definição da área de estudo**

A área de estudo é parte de um projeto maior em desenvolvimento pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-Goiás) no Programa de Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde (MCAS), que tem por objetivo verificar a qualidade da água consumida pela população goiana a partir da análise multielementar de amostras de água tratada coletada nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) no Estado de Goiás. Este trabalho optou pelo estudo dos municípios da região metropolitana de Goiânia: Goiânia, Aparecida de Goiânia, Senador Canedo, Trindade, Abadia de Goiás, Guaporé, Goianira, Santo Antonio de Goiás, Goianópolis, Nerópolis e Terezópolis.

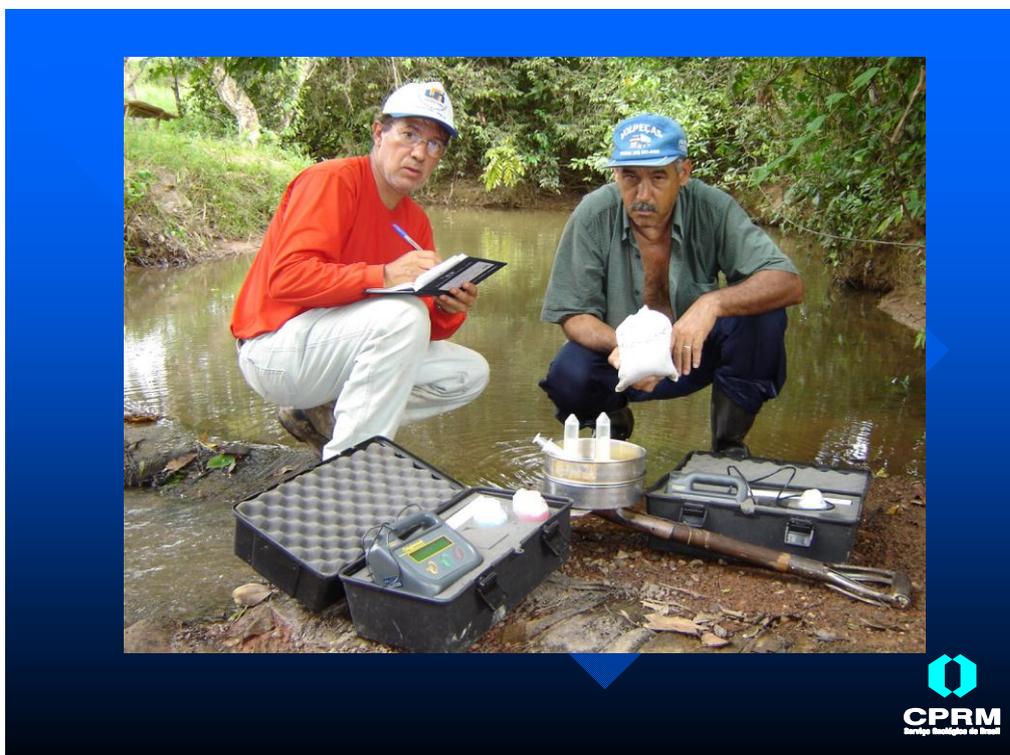
### **5.3. Sistemática de numeração das amostras**

Cada estação de amostragem recebeu uma numeração formada da sigla do nome dos técnicos do Programa de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM) / Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais (CPRM) responsáveis pela coleta das amostras (Figura 14), José (J) e Pedro Ricardo (PR), referenciando as amostras de água e seguidas do número da amostra

correspondente a ETA de cada município, totalizando 11 (onze) amostras. Também foram preparados equipamentos para medida das coordenadas geográficas das estações de amostragem (GPS) (Tabela 2) e kits para coleta de água (Figura 15).

**Tabela 2:** Coordenadas dos pontos de amostragem e toponímia da região de estudo.

Amostra	LAT(dec)	LONG(dec)	Toponímia	Metodologia Abastecimento
JA-5147	-16.693218	-49.104188	Senador Canedo	Reservatório - Poço
JA-5157	-16.652154	-49.245124	Goiânia	ETA completa
JA-5161	-16.743165	-49.427676	Abadia de Goiás	ETA captação
JA-5163	-16.836034	-49.538846	Guapó	ETA simplificada
JA-5177	-16.615933	-49.462419	Trindade	ETA superfície
PR-5137	-16.487373	-49.082802	Terezópolis de GO	ETA captação
PR-5140	-16.501417	-49.003002	Goianópolis	ETA captação
PR-5153	-16.471709	-49.306524	Stº Antonio de GO	Poço
PR-5157	-16.506442	-49.415431	Goianira	Poços e caixa de reunião
JA-5155	-16.844439	-49.257483	Ap. de Goiânia	ETA captação
PR-5152	-16.400277	-49.209748	Nerópolis	Poço



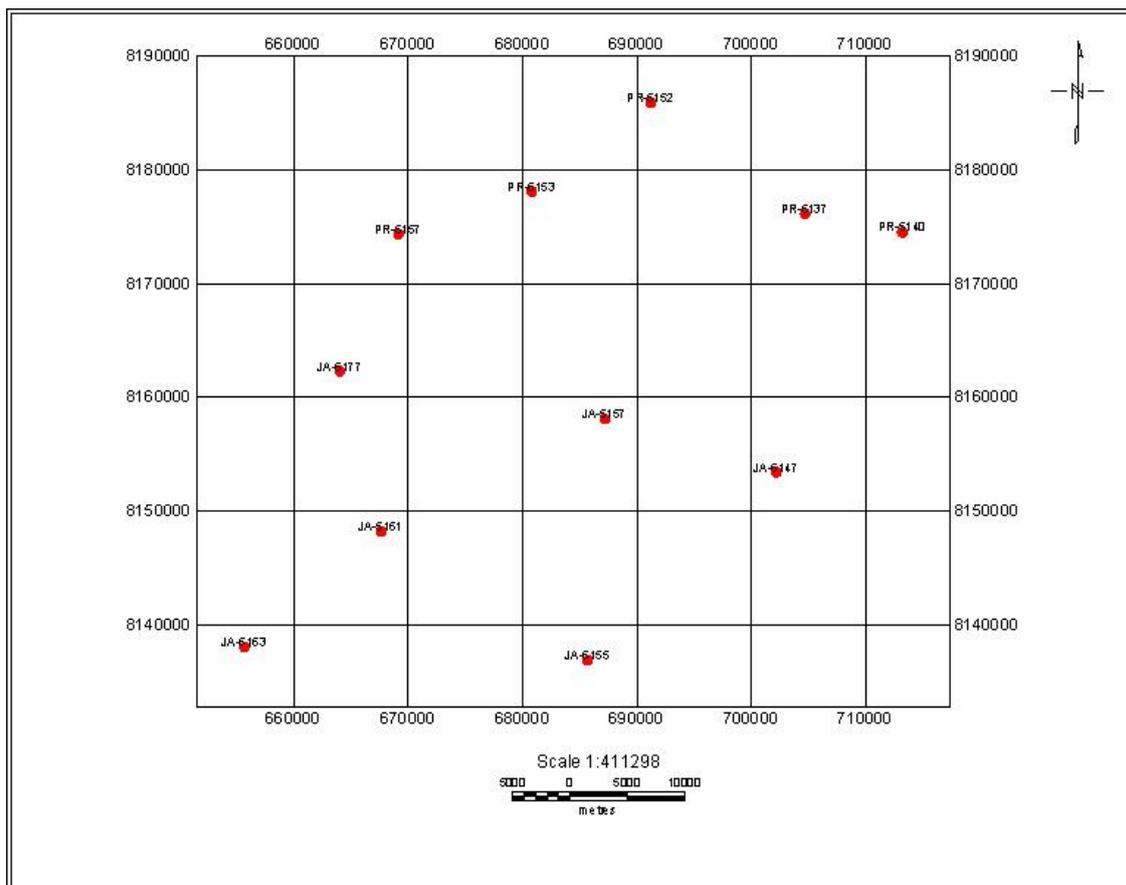
**Figura 14:** Técnicos do CPRM em trabalho de coleta em campo. Fonte: CPRM 2005.



**Figura 15:** Materiais e aparelhos utilizados para coleta de água em campo. Fonte: CPRM 2005.

#### **5.4. Elaboração do Mapa de Amostragem**

O mapa de amostragem (Figura 16) foi elaborado em escala 1:411.298 sugerida pelo programa Software OASIS 6.1 – módulo Chimera, obedecendo os padrões de conveniência para o adensamento proposto, contendo o município, a distribuição e a numeração das ETA's. A correlação dos elementos geoquímicos foi realizado com o Software OASIS 6.1 – módulo Chimera.



**Figura 16:** Mapa de localização dos pontos de amostragem.

## 5.5. Atividades de Campo

As atividades de campo seguiram as orientações do Manual Técnico do Programa de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica PGAGEM-Brasil (CPRM, 2003). Além dos parâmetros físico-químicos medidos em campo, foram obtidas as coordenadas geográficas, com GPS, e feitas observações gerais sobre a estação de amostragem (nome, número, relevo, geologia) e sobre as condições da água (cor, profundidade, movimentação superficial). Todas as informações foram tabuladas em planilha ou ficha de campo.

Estas informações são exemplificadas com amostras de água de uma corrente livre da carga em suspensão de partícula dos sólidos eliminados por filtragem. Depois de preparadas, as amostras são submetidas a ataques ou extrações que visam liberar os elementos químicos de modo a permitir sua quantificação. A seleção do ataque ou técnica de extração dependerá da forma de ocorrência ou especiação dos elementos químicos na amostra sob análise.

Os elementos podem estar presentes na forma de minerais resistentes ao intemperismo, de elementos fracamente ligados à fração orgânica ou então, ligados à fração de óxidos mal cristalizados de Fe, Mn e Al. Em cada estação, a amostra de água coletada é transferida para duas garrafas de polietileno de 1 litro. A partir dessas garrafas, várias alíquotas serão obtidas gerando várias sub-amostras, segundo o tipo de análise requerida, para determinação dos principais constituintes iônicos das águas. Como as amostras não podem ser expostas a temperaturas muito altas e à radiação solar, utilizou-se embalagens de isopor com gelo, para uso no campo, à medida que as amostras forem preparadas devem ser acondicionadas no isopor.

## **5.6. Atividades Laboratoriais**

No Laboratório de Espectroscopia Atômica (LEA) da Universidade Católica de Brasília (UCB), foram realizadas as análises químicas multielementar por ICP-OES, nas amostras de água, para os seguintes elementos: Al, B, Ba, Ca, Fe, Mn, Mg, Pb, Zn, Na, K. Também foram realizados testes por cromatografia para: F, Cl, NO<sub>2</sub>, Br, NO<sub>3</sub>.

### **5.7. Tratamento dos Dados e Apresentação dos Resultados**

O tratamento estatístico de correlação dos elementos geoquímicos foi realizado com o Software OASIS 6.1 – módulo Chimera. A primeira determinação realizada foi a obtenção individual dos parâmetros estatísticos de cada elemento químico (média aritmética, desvio padrão e valores anômalos de 1ª, 2ª e 3ª ordens) e a construção das matrizes de correlação destes elementos. A partir destas determinações foram definidas as associações geoquímicas (afinidades entre os elementos) que constituíram a base para a confecção dos mapas de distribuição dos elementos químicos selecionados.

Para confecção dos mapas de distribuição dos elementos foi utilizado o Geosoft Mapping and Processing System (GMPS), associado a um software de modelamento da empresa canadense Geosoft. Estes mapas são apresentados em formas de figuras de acordo com as associações estabelecidas através das matrizes de correlação.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. Dosagem Química Multielementar da Água

As amostras de água foram analisadas de forma multielementar através das metodologias relacionadas na tabela 3. Após a coleta, as amostras foram filtradas, refrigeradas a 4°C em frascos âmbar, e encaminhados para dosagem no Laboratório de Espectroscopia Atômica da Universidade Católica de Brasília (UCB).

**Tabela 3:** Elementos e compostos químicos dosados nas amostras das ETA's dos 11 municípios em estudo, acrescidos de suas respectivas análises metodológicas.

<b>Metodologia</b>	<b>Elementos e Compostos Químicos</b>
<b>ICP-OES</b>	Al, B, Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn, Na, K.
<b>CROMATOGRAFIA</b>	F, Cl, NO <sub>2</sub> , Br, NO <sub>3</sub>

As concentrações dos elementos químicos (obtidos por método ICP-OES) passaram por tratamento estatístico onde foram calculados seus valores máximos, mínimos, média aritmética e desvio padrão. Para tanto, foi utilizado o programa OASIS montaj v. 6.1 – módulo Chimera. As Tabelas 4 e 5 mostram os valores de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens de cada elemento e composto químico dosado a partir dos dados do sumário estatístico.

**Tabela 4:** Valor mínimo e máximo e sumário estatístico das concentrações dos elementos químicos.

<b>Elemento</b>	<b>mínimo</b>	<b>máximo</b>	<b>X</b>	<b>S</b>
<b>Al</b>	0,1	0,4	0,127	0,09
<b>B</b>	0,002	0,508	0,177	0,221
<b>Ba</b>	0,003	0,094	0,034	0,027
<b>Ca</b>	0,77	19	7,414	5,655
<b>Fe</b>	0,006	0,101	0,027	0,027
<b>K</b>	0,8	2,3	1,763	0,52
<b>Mg</b>	0,26	10,4	3,531	2,949
<b>Mn</b>	0,001	0,041	0,012	0,013
<b>Na</b>	0,8	6,3	3,054	1,856
<b>Pb</b>	0,005	0,052	0,01	0,014
<b>Sr</b>	0,003	0,144	0,054	0,045
<b>Zn</b>	0,001	0,145	0,032	0,042
<b>Br</b>	0,1	0,36	0,041	0,105
<b>Cl</b>	0,367	3,969	1,695	1,172
<b>F</b>	0,011	1,688	0,367	0,524
<b>No2</b>	0,01	2,289	0,057	0,08
<b>No3</b>	0,05	1,187	0,628	0,38

X – Média Aritmética      S – Desvio Padrão.

A partir destes dados foram calculados os valores de primeira, segunda e terceira ordens. Os Valores de 3ª ordem estão entre o valor médio mais um desvio padrão e o valor médio mais dois desvios padrão ( $X+S - X+2S$ ). Os valores de 2ª ordem estão entre os valores maiores que o valor médio menos dois desvios padrão e o valor médio mais três desvios padrão ( $X+2S - X+3S$ ). Os valores de 1ª ordem são maiores que o valor médio mais três desvios padrão ( $>X+3S$ ). Desta forma os valores de 1ª ordem correspondem às maiores concentrações encontradas.

O valores encontrados estão relacionados nas tabelas 5 e 6 onde serão comparados com os Padrões Brasileiros e Internacionais de Qualidade da Água com Valor médio Padrão (VMP) em mg/L conforme a resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); com a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde do Brasil (MS); Com normas da Organização Mundial de Saúde (OMS) e Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA).

**Tabela 5:** Sumário estatístico e valores de 1ª, 2ª e 3ª ordens de cada elemento e composto químico dosados nas amostras acrescidos de seus respectivos VMP pelo Padrão Brasileiro e Internacional de Qualidade da água (em mg/L) dos elementos químicos analisados.

Elemento	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem	MS	CONAMA	EPA	OMS
	>X+3S	X+2S – X+3S	X+S – X+2S	518, 2004	357, 2005		
<b>Al</b>	>00,40	00,31 – 00,40	00,22 – 00,30	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>B</b>	>00,84	00,62 – 00,84	00,40 – 00,61	-	0,5	1,4	0,5
<b>Ba</b>	>00,11	00,09 – 00,11	00,06 – 00,08	0,7	0,7	2	0,7
<b>Ca</b>	>24,38	18,72 – 24,38	13,07 – 18,71	-	-	-	-
<b>Fe</b>	>00,11	00,08 – 00,11	00,05 – 00,07	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>K</b>	>03,32	02,80 – 03,32	02,28 – 02,79	-	-	-	-
<b>Mg</b>	>12,38	09,43 – 12,38	06,48 – 09,42	-	-	-	-
<b>Mn</b>	>00,05	00,04 – 00,05	00,02 – 00,03	0,1	0,1	0,05	0,4
<b>Na</b>	>08,62	06,76 – 08,62	04,91 – 06,75	-	-	-	-
<b>Pb</b>	>00,05	00,04 – 00,05	00,02 – 00,03	0,01	0,01	0,015	0,01
<b>Sr</b>	>00,19	00,14 – 00,19	00,10 – 00,13	-	-	4	-
<b>Zn</b>	>00,16	00,12 – 00,16	00,07 – 00,11	5	0,18	5	3
<b>Br</b>	>00,36	00,25 – 00,36	00,15 – 00,24	0,025	-	0,01	0,01
<b>Cl</b>	>05,21	04,04 – 05,21	02,87 – 04,03	5	0,01	-	5
<b>F</b>	>01,94	01,41 – 01,94	00,89 – 01,40	1,5	1,4	4	1,3
<b>No2</b>	>00,30	00,22 – 00,30	00,14 – 00,21	1	1	1	3
<b>No3</b>	>01,77	01,39 – 01,77	01,01 – 01,38	10	10	10	50

VMP – Valor Máximo Permitido. X – Média Aritmética. S – Desvio Padrão

MS – Ministério da Saúde. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos EUA. OMS – Organização Mundial de Saúde.

Fonte: CONAMA, 2008. MS, 2004. OMS, 2006. EPA, 2008. EPA *apud* ATDSR, 2004.

**Tabela 6:** Valores anômalos de 1ª (vermelho), 2ª (azul), e 3ª (verde) ordens dos elementos químicos dosados nas amostras, segundo níveis e limites de concentrações (mg/L).

Município	Al	B	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Pb	Sr	Zn	Na	K	F	Cl	NO2	Br	NO3
Senador Canedo	0,1	0,002	0,019	4,21	0,039	2,62	0,007	0,005	0,029	0,013	2,8	2,3	0,08	2,61	0,03	0,01	0,94
Goiânia	0,1	0,002	0,035	9,9	0,015	5,58	0,017	0,005	0,063	0,031	4,8	2,2	0,03	0,99	0,09	0,01	1,19
Abadia	0,1	0,002	0,016	2,42	0,012	0,7	0,041	0,005	0,015	0,145	2	2,2	0,84	3,97	0,01	0,01	0,38
Guapó	0,4	0,002	0,018	2,67	0,101	1,07	0,017	0,005	0,023	0,073	2,4	2	1,69	2,40	0,01	0,01	0,63
Trindade	0,1	0,002	0,019	6,65	0,006	4,03	0,002	0,005	0,06	0,001	3,1	1,6	0,63	2,63	0,01	0,01	1,05
Terezópolis	0,1	0,478	0,064	19	0,031	10,4	0,006	0,016	0,076	0,036	0,8	1,7	0,10	0,38	0,29	0,36	0,05
Goianópolis	0,1	0,22	0,023	3,88	0,019	1,53	0,036	0,005	0,02	0,005	1,5	1	0,03	1,75	0,04	0,01	0,29
Stº Antonio	0,1	0,492	0,094	12,6	0,012	5,05	0,001	0,005	0,126	0,007	6,3	1,9	0,05	0,79	0,01	0,01	0,98
Goianira	0,1	0,508	0,063	13,4	0,041	5,09	0,004	0,052	0,144	0,017	5,6	1,4	0,08	0,37	0,07	0,01	0,53
Ap.de Goiânia	0,1	0,002	0,003	0,77	0,016	0,26	0,006	0,005	0,003	0,03	0,8	0,8	0,01	0,56	0,04	0,01	0,17
Nerópolis	0,1	0,245	0,027	6,06	0,009	2,52	0,003	0,005	0,04	0,001	3,5	2,3	0,51	2,19	0,03	0,01	0,71

\*Resultado das análises realizadas no Laboratório de Espectroscopia Atômica UCB.

Após a obtenção dos valores de 1ª, 2ª e 3ª ordens (utilizando o software OASIS) foram confeccionadas as matrizes de correlação dos cátions e ânions dosados nas amostras de água através de ICP para Al, B, Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, Pb, Sr e Zn e Cromatografia para F, Cl, NO<sub>2</sub>, Br e NO<sub>3</sub> em diferentes níveis de significância (muito fortes, fortes, moderados, fracos, muito fracos e nulos) (figuras 16 e 17). Neste trabalho, os níveis de significância muito forte e forte foram utilizados para determinação das correlações dos elementos e compostos químicos. A partir da elaboração destas matrizes, tornou-se possível a confecção dos mapas geoquímicos.

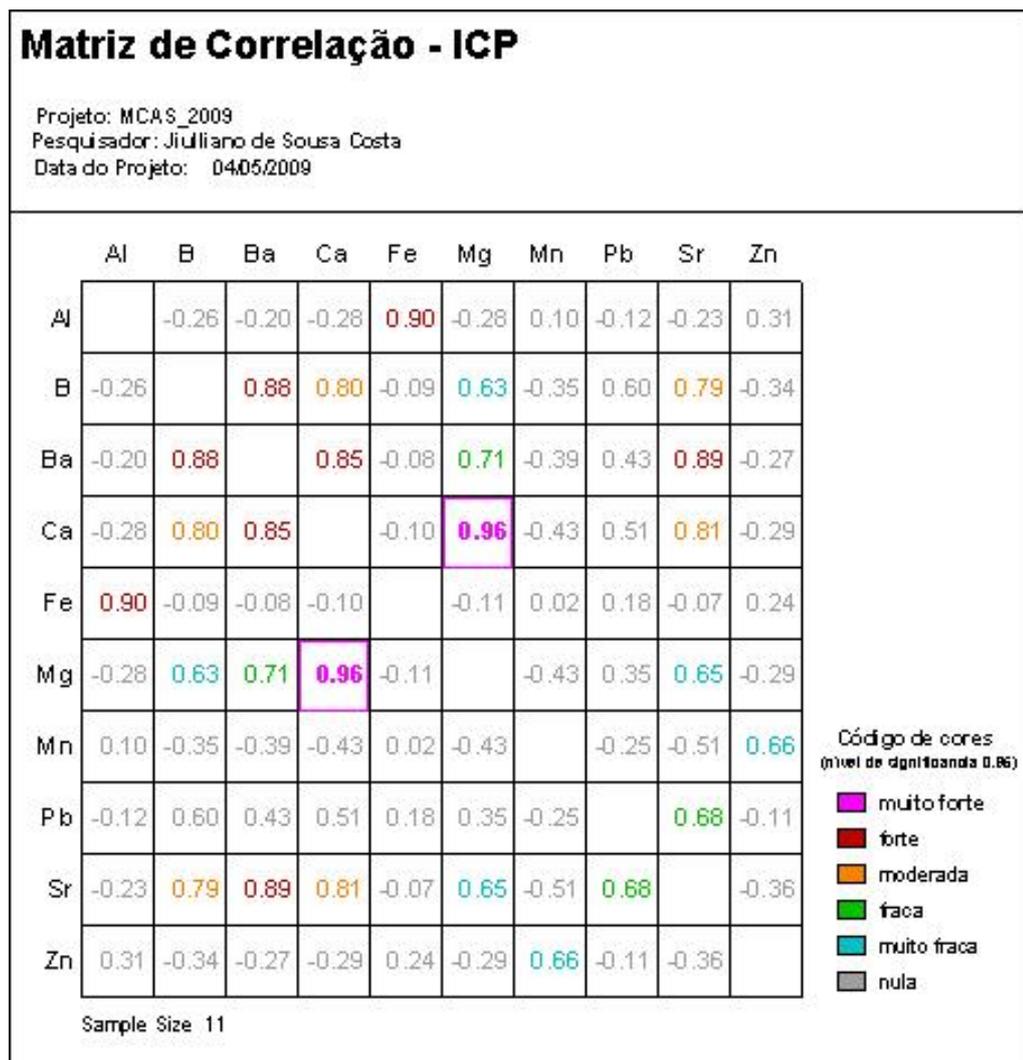


Figura 17: Matriz de correlação – ICP-OES.

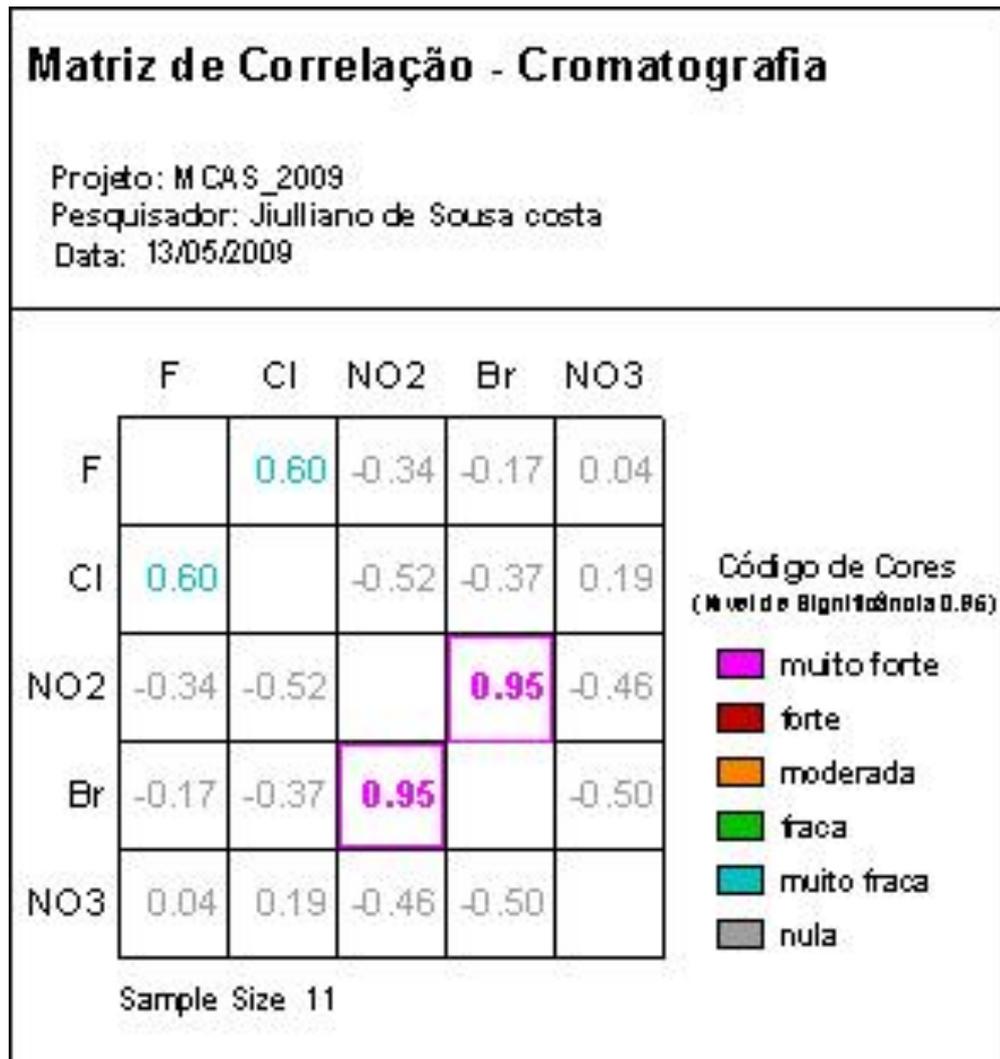


Figura 18: Matriz de correlação - Cromatografia.

## 6.2. Associação dos Elementos

Conforme um dos princípios da petrologia, metalogenia e geoquímica, em condições naturais, os elementos químicos agrupam-se segundo regras de comportamento e afinidade que possibilitam identificar a presença de um elemento quando detectada a presença de outro com o qual tenha afinidade de ligação molecular. Dessa relação surgiu o conceito dos elementos “farejadores” (Warren & Delavalut, 1958).

Esse conceito é extremamente eficiente quando aplicado sob condições naturais, mas sofre sérias restrições quando utilizado em situações onde o ambiente

sofreu interferência humana. Na tecnosfera poderão ocorrer situações elementares imprevisíveis, como no caso de uma região agrícola submetida à aplicação de fertilizantes fosfatados apresentando uma anomalia de urânio, mesmo que o substrato geológico seja constituído de basalto (Souza, 1998). A associação basalto-urânio não é razoável se forem consideradas apenas as variáveis naturais. Porém, se for adicionada uma variável antrópica (como a adição de fertilizantes fosfatados, produzidos naturalmente com matéria prima rica em urânio) os resultados adquirem coerência (Licht, 2001).

A matriz de correlação dos elementos em estudos revela a associação de afinidade entre alguns elementos, assim foi possível determinar as correlações mais significativas apresentados na tabela 7.

**Tabela 7:** Correlações mais significativas entre os elementos selecionados.

<b>CORRELAÇÃO</b>	<b>NIVEL DE SIGNIFICÂNCIA</b>
<b>Mg - Ca</b>	Muito Forte
<b>Ba - B - Ca - Sr</b>	Forte
<b>Fe - Al</b>	Forte

Os mapas geoquímicos são utilizados tanto na detecção de áreas com excesso de elementos químicos potencialmente tóxicos como também na revelação de regiões onde há uma deficiência de elementos essenciais à saúde (Maia, 2004).

Visando uma melhor análise das associações mais significativas entre os elementos químicos presentes nos municípios em estudo, e a visualização da distribuição geográfica, foram confeccionados mapas geoquímicos para os elementos associados.

### 6.3. Ação Biológica e Mapas de Distribuição dos Elementos Selecionados

Associação 1: Mg – Ca (Figuras 18 e 19). Os elementos químicos assumem uma tendência de distribuição nas direções NE e NO. A amostra PR-5137 (Terezópolis) apresentou concentrações em nível de significância de 2ª ordem para o Ca – 19 mg/L e Mg 10,4 mg/L. Altos teores de Ca também foram encontrados na amostra PR-5157 (Goianira) em concentração com nível de significância de 3ª ordem, 13,4 mg/L.

O *Magnésio (Mg)* é o quarto cátion mais abundante no organismo humano e o segundo mais concentrado no meio intracelular. É essencial para composição óssea, ativação de sistemas enzimáticos, transporte celular, contração muscular e transmissão de impulsos nervosos. Sua deficiência está relacionada à desordem no metabolismo de cálcio, potássio, fósforo e pode causar confusão mental, convulsão, tremor, náuseas, vômitos, diarreia, taquicardia, hipertensão arterial. O excesso provoca hipocalcemia, sintomas neuromusculares (arreflexia, fraqueza muscular generalizada, insuficiência respiratória por paralisia muscular) e cardiotoxicidade com alterações eletrocardiográficas e risco de parada cardíaca (Motta, 2000).

O *Cálcio (Ca)* é um elemento essencial para o ser humano. É encontrado principalmente nos ossos, dentes, tecidos e fluidos corporais. É fundamental para o controle dos impulsos nervosos, ação muscular, coagulação do sangue e permeabilidade celular. Sua deficiência no organismo provoca raquitismo, falhas na coagulação sanguínea, distúrbios nervosos e fadigas musculares (Cortecci, 2003). O excesso de cálcio no organismo também é prejudicial à saúde, podendo provocar calcificações excessivas nos ossos e rins (Bigazzi, 1996).

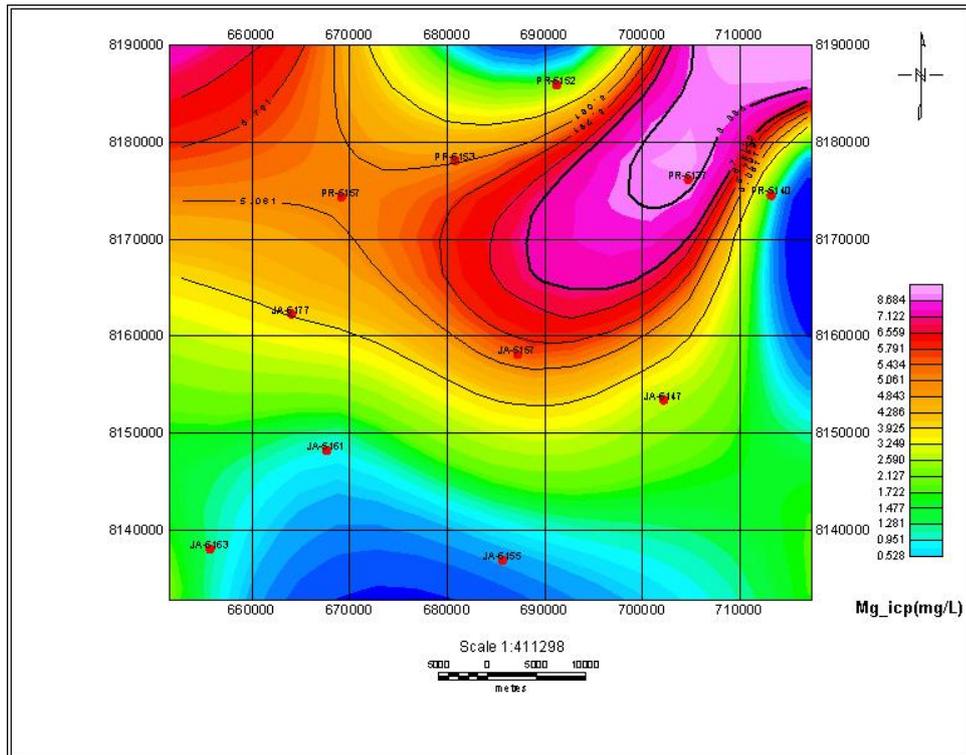


Figura 19: Mapa de distribuição Magnésio (Mg).

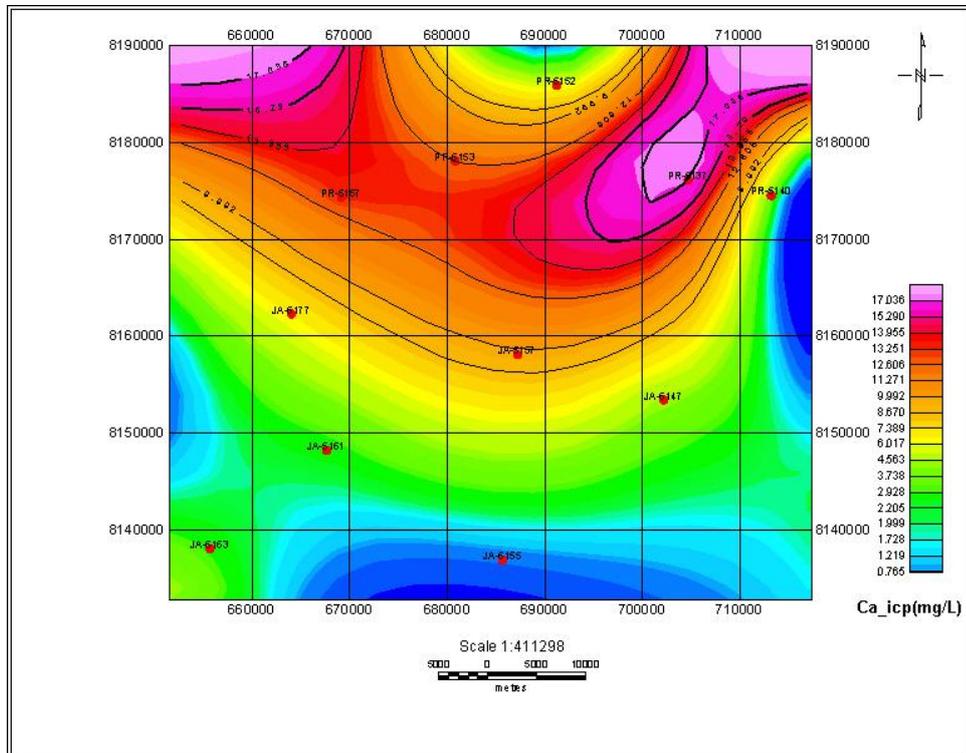


Figura 20: Mapa de distribuição Cálcio (Ca).

Associação 2: Ba - B - Ca – Sr (Figuras 20, 21, 22 e 23). Esses elementos químicos assumem uma tendência de distribuição nas direções N, NO e NE. O Bário (Ba) foi encontrado em nível de significância de 3ª ordem nas amostras: PR-5137 (Terezópolis) com 0,064 mg/L; PR-5153 (Stº Antônio de Goiás) com 0,094 mg/L e PR-5157 (Goianira) com 0,063 mg/L. O Boro (B) também foi encontrado em nível de significância de 3ª ordem nas mesmas amostras: PR-5137 (Terezópolis) com 0,478 mg/L; PR-5153 (Stº Antônio de Goiás) com 0,492 mg/L e PR-5157 (Goianira) com 0,508 mg/L. O Cálcio (Ca) apresentou nível de significância de 2ª ordem nas amostras PR-5137 (Terezópolis) com 19 mg/L e na amostra PR-5157 (Goianira) em concentração com nível de 3ª ordem 13,4 mg/L. O Estrôncio (Sr) foi encontrado em nível de 2ª ordem na amostra PR-5157 (Goianira) com 0,144 mg/L e em nível de 3ª ordem na amostra PR-5153 (Stº Antônio de Goiás) com 0,126 mg/L.

O *Bário (Ba)* é considerado por alguns pesquisadores como um elemento essencial, porém, sua função metabólica não está bem esclarecida. Níveis elevados de Ba podem interferir no metabolismo de Ca e retenção de potássio (Motta, 2000).

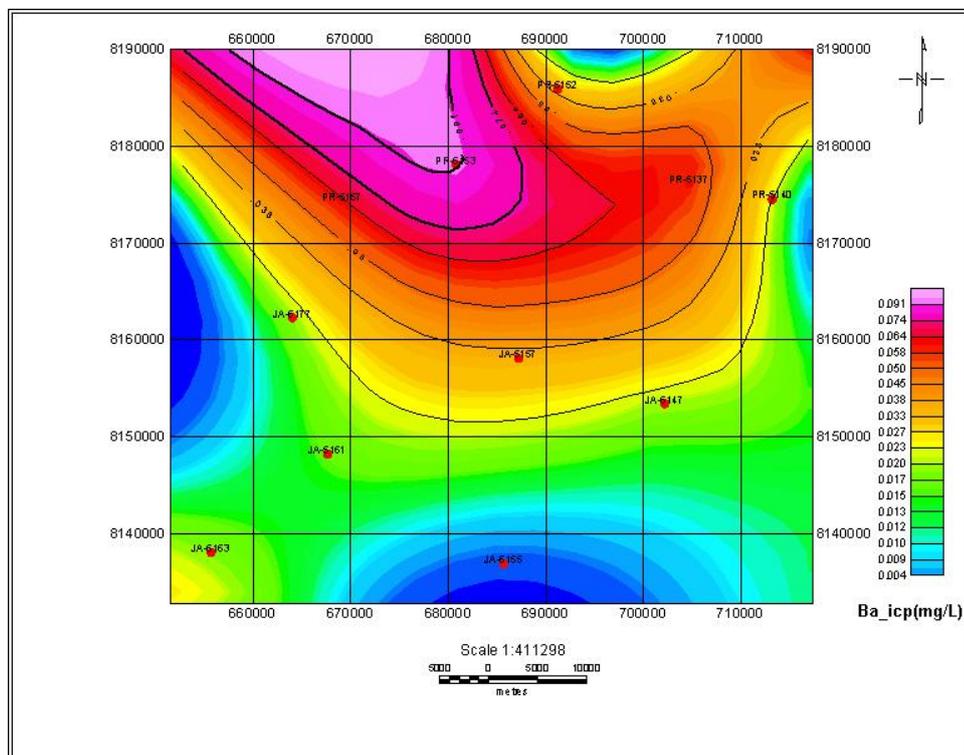
O íon bário é um estimulante muscular que é muito tóxico para o coração e pode causar a fibrilação ventricular. O consumo acima de 500mg é fatal para o ser humano. O seu excesso causa bloqueio no sistema nervoso e aumento da pressão sangüínea por vasoconstrição (UFRJ, 2003).

Os sintomas por intoxicação por bário são náuseas, vômito, diarreia, dor abdominal, sudorese, tremores, convulsão, arritmia cardíaca, fibrilação ventricular, fibrilação muscular, hipertensão, diminuição de potássio, paralisia muscular, dispnéia, insuficiência respiratória, hemorragias internas (CENEPI/FUNASA, 2003).

O *Boro (B)* é um elemento considerado como não tóxico à saúde humana. Ao ser acumulado no corpo age sobre o Sistema Nervoso Central podendo causar hipertensão, vômitos, diarreia e até mesmo o coma (Cortecci, 2003).

O *Cálcio (Ca)* é um macro-elemento essencial para o ser humano. A deficiência de cálcio sérico, afeta fisiologicamente o cálcio ionizado ativo, principalmente em relação ao teor de proteínas plasmáticas e pH sanguíneo (Motta, 2000). A falta do cálcio também resulta em osteoporose, fraturas ósseas, raquitismo, diarreia, câibras musculares, laringoespasmos, convulsões (Paula & Foss, 2003). O excesso de cálcio provoca disfunções renais, arritmias cardíacas e mal estar geral. O hiperparatireoidismo primário que afeta a função das glândulas paratireóides, também é resultado da hipercalcemia (Motta, 2000).

O *Estrôncio (Sr)* é um metal, e não possui aplicações diretas nas atividades fisiológicas do ser humano. O conteúdo de estrôncio presente no corpo humano está em média de 4,6 ppm do peso corporal, 99% desse total está localizado nos dentes e nos ossos (ATDSR, 2004). Os valores apresentados não expressaram riscos alarmantes.



**Figura 21:** Mapa de distribuição Bário (Ba).

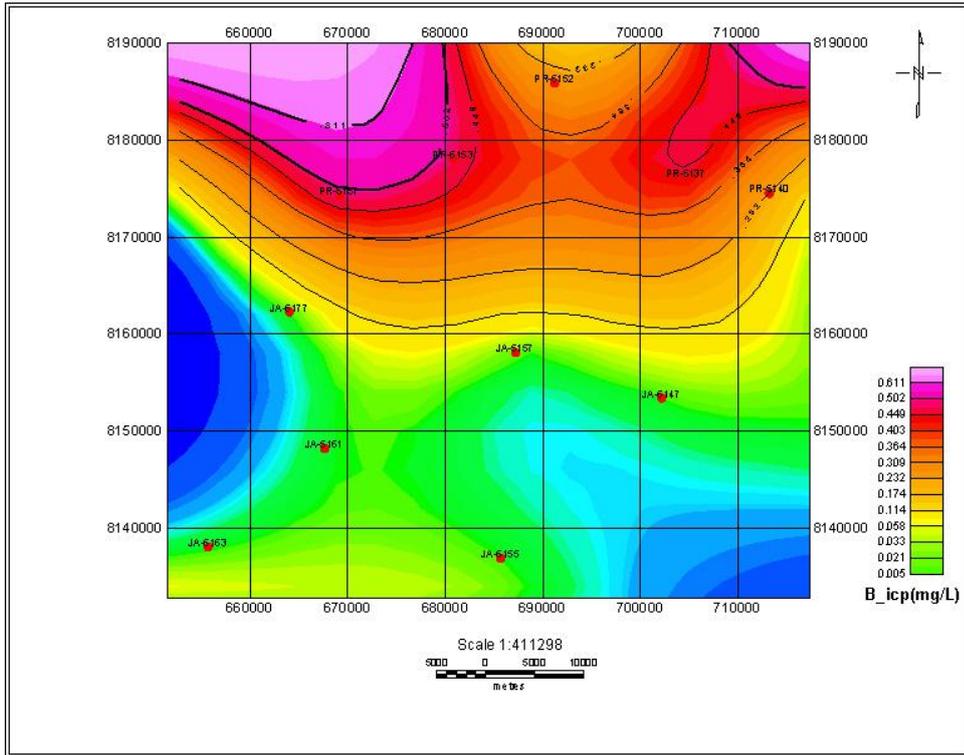


Figura 22: Mapa de distribuição Boro (B).

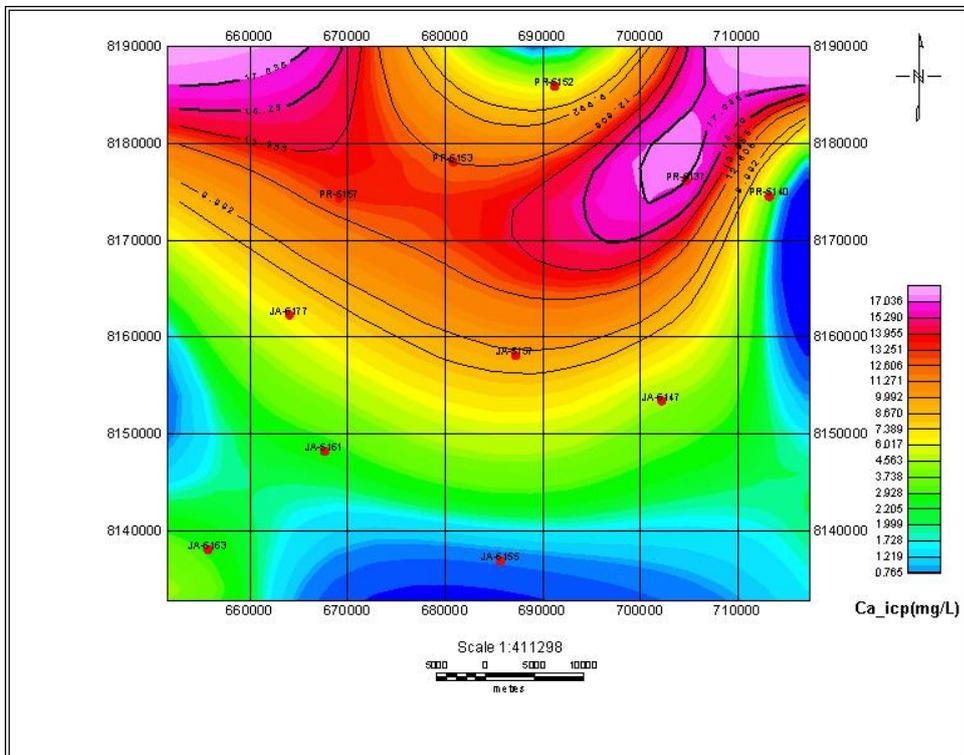
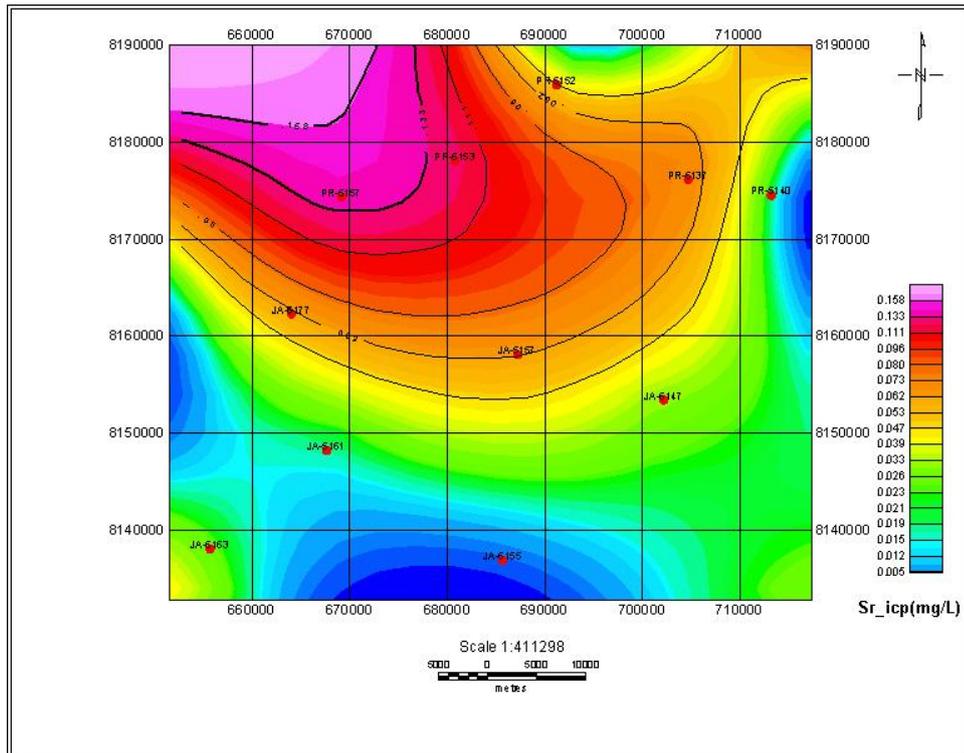


Figura 23: Mapa de distribuição Cálcio (Ca).



**Figura 24:** Mapa de distribuição Estrôncio (Sr).

Associação 3: Fe – Al (Figuras 24 e 25). Esses elementos químicos assumem uma tendência de distribuição no sentido NO e SE. A amostra JÁ-5163 (Guapó) foi a única que apresentou valores elevados na quantidade dos elementos com nível de significância de 2ª ordem sendo: Al com 0,4 mg/L e Fe com 0,101 mg/L.

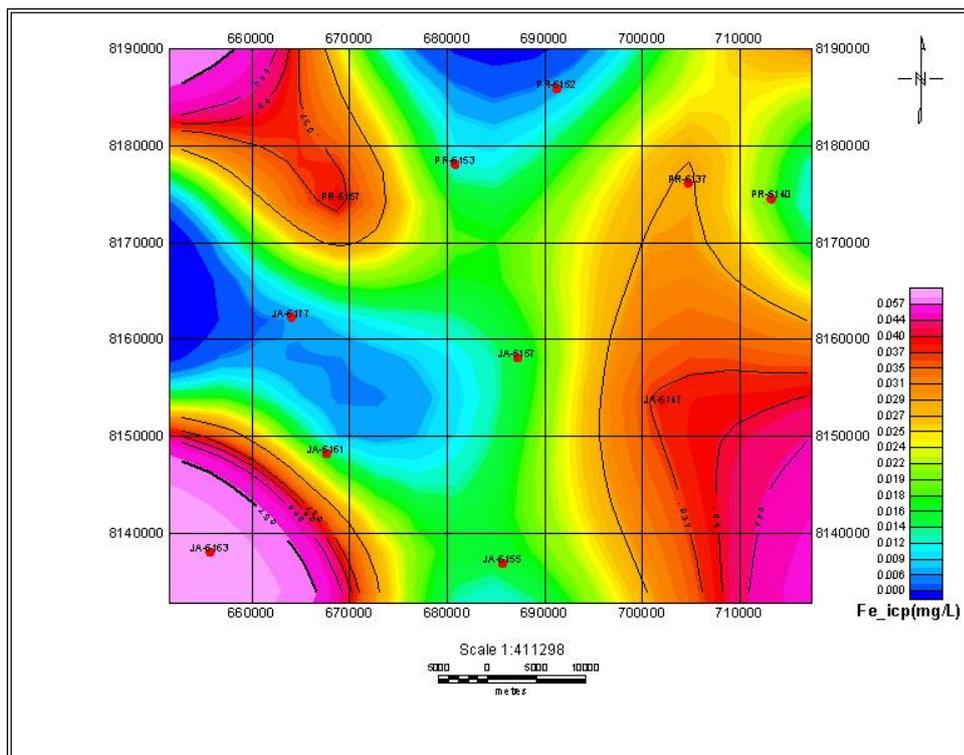
O *Ferro (Fe)* é o quarto elemento químico mais abundante na crosta terrestre. É muito importante para o metabolismo da respiração pulmonar e celular fornecendo energia para o corpo nas mais diversas atividades através da combustão e transporte de oxigênio. A molécula de ferro está presente em diversas proteínas como: hemoglobina, mioglobina, citocromos e outros (Lindh, 2005). Além disso, o ferro atua na produção de enzimas (flavoproteínas e hemoglavosproteínas), na síntese de DNA e na transferência de elétrons (Powell, 2002).

Sua carência pode desenvolver anemia ferropriva, baixa imunidade, deficiência respiratória, predisposição à infecções e, em alguns casos,

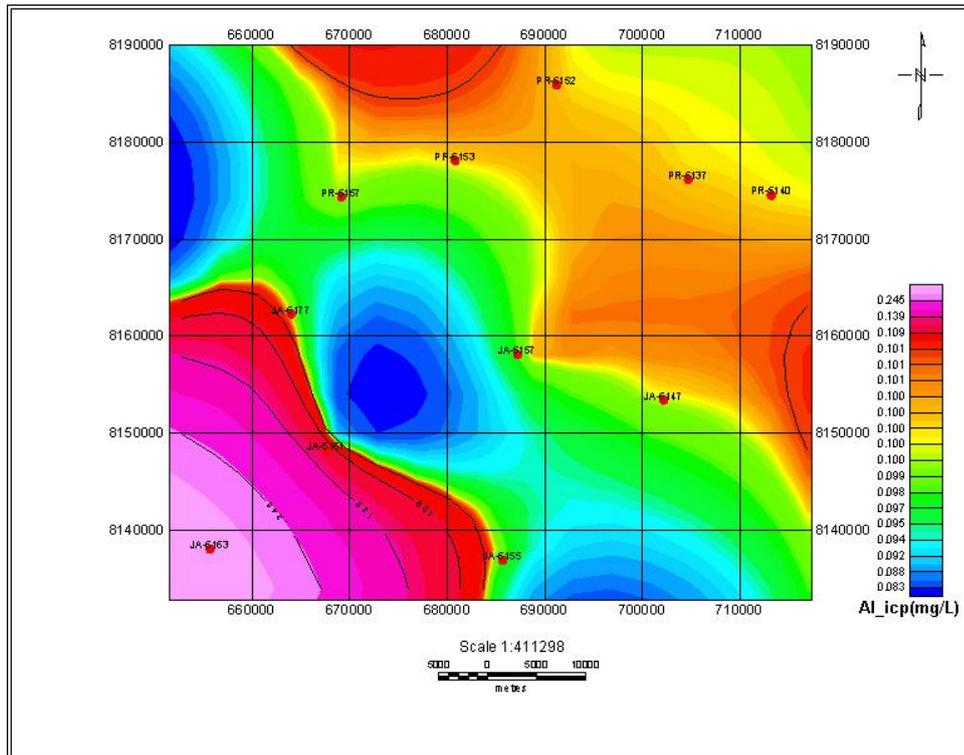
carcinogênese (Bigazzi, 1996). O excesso de ferro está relacionado à hemocromatose hereditária, uma doença desenvolvida a partir do consumo excessivo de ferro através da dieta (Powell, 2002).

O Alumínio (Al) é um elemento inerte para o corpo humano. Ao contrário de outros metais, o alumínio não acelera a perda de vitaminas nos alimentos, durante a cozedura. O seu uso em utensílios de cozinha está banalizado e não é prejudicial para a saúde (Motta, 2000).

O excesso de alumínio no organismo pode causar danos ao sistema nervoso, participação na doença de Alzheimer, câncer de pulmão, de pele e do trato urinário (UFRJ, 2003).



**Figura 25:** Mapa de distribuição Ferro (Fe).



**Figura 26:** Mapa de distribuição Alumínio (Al).

#### 6.4. Análise Integrada dos Resultados

A análise dos resultados das amostras de água coletadas nas ETA's dos 11 municípios da região metropolitana do Estado de Goiás mostrará a interpretação dos mapas geoquímicos em discussão, estudo e comparação com o nível de potabilidade da água que apresentam concentrações de compostos químicos com valores acima do máximo permitido conforme a resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); com a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde do Brasil (MS); Com normas da Organização Mundial de Saúde (OMS) e Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA). A tabela 8 destaca os municípios onde foram coletadas as amostras com valores anômalos e classificados em nível de significância de primeira, segunda e terceira ordem.

**Tabela 8:** Valores anômalos de 1ª (vermelho), 2ª (azul), e 3ª (verde) ordens dos elementos e compostos químicos dosados nas amostras, segundo níveis e limites de VMP em (mg/L).

Município	Al	B	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Pb	Sr	Zn	Na	K	F	Cl	NO2	Br	NO3
Senador Canedo												2,3					
Goiânia																	1,19
Abadia							0,041			0,145				3,97			
Guapó	0,4				0,101					0,073			1,69				
Trindade																	1,05
Terezópolis		0,478	0,064	19		10,4									0,29	0,36	
Goianópolis							0,036										
Stº Antonio		0,492	0,094						0,126			6,3					
Goianira		0,508	0,063	13,4				0,052	0,144			5,6					
Ap.de Goiânia																	
Nerópolis												2,3					

Discute-se a seguir sobre os resultados encontrados referentes às três associações geoquímicas que tiveram resultados relevantes (Mg - Ca / Ba - B - Ca - Sr / Fe - Al), e também sobre o elemento Pb que teve valor anômalo muito acima do normal. Os elementos (F, Mn, Zn, Br, Cl, Na, K, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>) não serão discutidos porque não apresentaram relevância significativa na matriz de correlação e não participam das associações geoquímicas encontradas.

A primeira associação (Mg - Ca) amostra PR-5137 no município de Terezópolis foi classificada em nível de significância de 2<sup>a</sup> (segunda) ordem e nível de associação muito forte entre os elementos, segundo a matriz de correlação.

O Magnésio é um elemento essencial para o homem. Participa da composição óssea, metabolismo, transporte celular, integridade da membrana celular, contração muscular, sinapse nervosa. Sua deficiência pode provocar confusão mental, convulsão, ataxia, tremor, distonia, mudanças de personalidade, anorexia, náuseas, vômitos, diarreia, dores abdominais, taquicardia, arritmia, hipertensão arterial. A intoxicação pelo magnésio pode provocar hipocalcemia, sintomas neuromusculares como: arreflexia, fraqueza, paralisia. Também pode causar problemas cardíacos como alterações eletrocardiográficas e risco de parada cardíaca (OMS, 2006; NWQMS, 2004).

Para o Cálcio não foi indicado, em nem uma das instituições estudadas (CONAMA, MS, OMS e EPA) o nível de Toxicidade para a saúde. Segundo Lemes (2001), o Ca contribui para a dureza da água e é proveniente de rochas sedimentares, sendo comum o teor médio de 100 mg/L presente no meio hídrico.

O Cálcio é um elemento essencial para o ser humano. Participa da composição óssea, coagulação sanguínea, sinapse nervosa, contração muscular, ativação enzimática, regulação de glândulas, permeabilidade da membrana celular. A falta de cálcio para o organismo pode causar osteoporose, fraturas ósseas,

raquitismo, diarreia, perda de peso, parestesia periférica e perioral, câibras musculares, laringoespasmas, convulsão, tetania e em casos extremos pode levar a óbito (OMS, 2006; NWQMS, 2004).

A segunda associação (Ba - B - Ca - Sr) foi encontrada nas amostras PR-5137 no município de Terezópolis, PR-5153 no município de Santo Antônio de Goiás e PR-5157 no município de Goianira. Segundo a matriz de correlação as concentrações de Ba e B tiveram nível de significância de 3ª (terceira) ordem, nos três municípios citados. As concentrações de Ca tiveram nível de 2ª (segunda) ordem no município de Terezópolis e de 3ª (terceira) ordem no município de Goianira. As concentrações de Sr tiveram nível de 2ª ordem no município de Goianira e de 3ª (terceira) ordem no município de Santo Antônio de Goiás.

O Bário ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, média de 0,7 mg/L (CONAMA; MS; OMS). Quantidades elevadas podem ser decorrentes de efluentes industriais ou de resíduos de mineração (Lemes, 2001). O Ba foi encontrado em valores elevados nas amostras PR-5153 no município de Santo Antônio de Goiás (0,126 mg/L) e PR-5157 no município de Goianira (0,144 mg/L). As alterações indicam um caso de poluição industrial que pode afetar a saúde dessa população. A ingestão do Ba pode causar o aumento transitório da pressão sanguínea por vasoconstrição, efeitos tóxicos no coração, vasos e nervos (OMS, 2006; NWQMS, 2004).

O Boro não é considerado um elemento tóxico, mas pode ser prejudicial para a saúde. O valor máximo tolerado em dissolução na água é de 0,5 mg/L (CONAMA; OMS). O Boro não é oncogênico, mas em testes laboratoriais com pequenos mamíferos mostrou que o excesso no organismo pode causar lesão nas gônadas masculina (Ferrini *et al*, 1990). Ao ser acumulado no corpo age sobre o

Sistema Nervoso Central podendo causar hipertensão, vômitos, diarreia e até mesmo o coma (Cortecci, 2003).

O B é um elemento comum na composição geológica dessa região. As amostras PR-5137 no município de Terezópolis, PR-5153 no município de Santo Antônio de Goiás e PR-5157 no município de Goianira apresentaram valores de 3ª (terceira) ordem menor que 0,5 mg/L, dentro da média de tolerância (CONAMA, MS, OMS e EPA), indicando não se tratar de um caso alarmante. O Boro é encontrado naturalmente em aquíferos com esse valor de tolerância. Segundo Lemes (2001) o excesso pode ser provocado por esgotos doméstico, visto que o B entra na composição de sabão, detergente.

O Estrôncio é um elemento-traço que ocorre naturalmente em rochas, solo, poeira, carvão, petróleo, águas superficiais e subterrâneas, ar, plantas e animais. Não ocorre naturalmente em forma livre (Lemes, 2001). A sua presença nas amostras PR-5153 no município de Santo Antônio de Goiás e PR-5157 no município de Goianira foi encontrado em concentrações toleráveis. A EPA indicou 4 mg/L como VMP para o estrôncio.

O Sr é importante na mineralização óssea e dental, coagulação sanguínea, excitabilidade nervosa, contração muscular e secreção hormonal. A sua deficiência está relacionada à osteoporose senil. Não há indícios de toxicidade para saúde (OMS, 2006; NWQMS, 2004).

A terceira associação (Fe - Al) foi encontrada na amostra JA-5163 no município de Guapó onde as amostras tiveram nível de significância de 2ª (segunda) ordem, segundo a matriz de correlação.

O Ferro foi encontrado na amostra JA-5163 no município de Guapó em concentrações de 0,101 mg/l o que está dentro do VMP indicado (0,3 mg/L) pelos padrões (CONAMA, MS, OMS e EPA). Segundo Lemes (2001) o Fe existe em

grandes quantidades na natureza, sendo encontrado em solos e minerais principalmente na forma de óxido e sulfeto férrico, carbonato de ferro e outros complexos orgânicos e minerais. Pode ocorrer em maiores concentrações devido à mineração, efluentes industriais, metalúrgicos, ou de processamentos de metais. Segundo Bigazzi (1996) a deficiência provoca anemia ferropriva, baixa imunidade, deficiência respiratória, predisposição à infecções e, carcinogênese.

O Alumínio foi encontrado na amostra JA-5163 no município de Guapó em valor muito elevado (0,4 mg/L) indicando um caso sugestivo de contaminação antrópica, uma vez que segundo os padrões (CONAMA, MS, OMS e EPA) o VMP é de 0,2 mg/L. O Al é abundante nas rochas e minerais dessa região, mas o seu teor elevado nas águas pode ser decorrente do lançamento de efluentes industriais, esgoto doméstico, mineração, produtos agrícola, metalúrgica (Ferrani et al, 1990). O Al não é considerado tóxico, mas foi detectado em neurônios de pacientes com doença de Alzheimer (Martin, 1997).

O elemento Chumbo foi encontrado em nível de significância de 1ª (primeira) ordem, sendo considerado de muita relevância, na amostra PR-5157 no município de Goianira com valor de 0,052 mg/L, uma vez que segundo o padrão (CONAMA, MS, OMS e EPA) o VMP é de 0,01 mg/L. Esta foi a única amostra que apresentou valores elevados de Pb, indicando um caso sugestivo de contaminação antrópica que pode colocar em risco a saúde dessa população.

Em condições naturais apenas traços de Pb são encontrados na água com menos de 0,1 mg/L, conforme os padrões estabelecidos. Concentrações elevadas são decorrentes de efluentes industriais, mineração, metalúrgica, depósitos de lixo com: bateria automotiva, de telefone celular, pilhas, lixo eletrônico (Lemes, 2001).

O Pb é um metal tóxico e apresenta poder cumulativo no organismo levando a uma série de perturbações no Sistema Nervoso central podendo ocasionar

em epilepsia, convulsões e paralisia; redução na capacidade intelectual em crianças; deficiência no sistema imunológico; anemia; intoxicações crônica e o saturnismo (OMS, 2006; NWQMS, 2004).

A amostra PR-5157 no município de Goianira apresentou a maior concentração de elementos químicos com alteração excessiva levantando discussão para os elementos: B, Ba, Ca, Sr, Na e Pb. Alerta-se para a importância do planejamento de ações de intervenção sanitária, ambiental, educacional, fiscalização e ação de políticas públicas no município de Goianira-GO onde apresentou o maior índice de alteração ambiental e risco para saúde pública.

Os poços de captação de água subterrânea deveriam estar em áreas com mata nativa, protegidas e preservadas pela ação da prefeitura, para que possam garantir a qualidade da água dos mananciais. A intervenção e a presença do homem com ações urbanas ou até mesmo rurais podem contaminar o lençol freático, como no exemplo mostrado na figura 26, onde se presencia pastagem e bovinocultura próximas a dois poços da SANEAGO. Observamos também uma área que está sendo loteada com autorização da prefeitura incentivando a ocupação comercial e instalação de indústrias em uma área onde está instalado mais três dos principais poços que abastecem o município de Goianira-GO (Figuras 27, 28 e 29).



**Figura 27:** Dois poços de bombeamento de água subterrânea.



**Figura 28:** Um dos onze poços que abastecem a caixa de reunião.



**Figura 29:** Loteamento e obras que ameaçam área de preservação.



**Figura 30:** Placa de anúncio da empresa responsável pela comercialização dos lotes próximo aos poços da SANEAGO.

Quando a administração pública de um município não se preocupa com as questões ambientais, coloca em risco a saúde da população. O excesso de chumbo encontrado na água que abastece o município de Goianira pode estar sendo causado pela ação antrópica devido a ocupação desordenada no loteamento Parque dos Girassóis. Foi registrado a instalação de oficinas mecânicas que trabalham com o elemento chumbo, presente em baterias automotiva (Figura 30 e 31). Também foi encontrado lixo eletrônico lançado ao solo (Figura 32), ferro-velho com pequenos depósitos de sucata e lixo reciclável em acomodações irregulares (Figura 33). Uma série de eventos que revelaram a falta de controle para legalização do loteamento no Parque dos Girassóis que é uma área que deveria ser preservada e está resultando em alteração do meio ambiente e contaminando da água.



**Figura 31:** Placa indicadora da oficina mecânica que trabalha com bateria automotiva próximo ao poço de captação de água.



**Figura 32:** Oficina e moradores que ocupam o loteamento próximo ao poço de captação de água.



**Figura 33:** Lixo eletrônico jogado livremente no solo próximo ao poço de captação de água da SANEAGO.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho levantou dados hidrogeoquímicos em amostras de água tratada de 11 municípios da região metropolitana de Goiânia-GO correlacionando a sua composição química com possíveis problemas de saúde e alterações ambientais mostrando eficiência na metodologia para coleta de amostras, obtenção, tratamento dos dados, na representação espacial dos elementos químicos através de mapas geográficos e na relação destes com o ambiente natural. Com base nos resultados encontrados foi possível concluir que:

1. Dentre os municípios estudados na região metropolitana de Goiânia, em Goianira foi encontrado o maior número de elementos químicos em concentrações elevadas, acima do VMP indicado pelas instituições em estudo levantando discussões para os elementos B, Ba, Ca, Sr, Na e Pb.

2. A elevada concentração de Pb (chumbo) no município de Goianira é o resultado mais alarmante, com nível de significância de primeira ordem e, por estar presente apenas em um município, não sendo representado na matriz de correlação com outros elementos mostrou tratar-se de uma alteração de origem antrópica.

3. No município de Goianira foi comum a observação de práticas de desmatamento, queimadas, lixo jogado nas ruas, ferros-velho e oficina mecânica clandestina sem preocupação com os impactos ambientais, ocupação e uso do solo em área que deveria ser preservada.

4. Em Goianira o loteamento Parque dos Girassóis está sendo implantado em uma área imprópria que deveria ser preservada, onde se encontram três dos principais poços que abastecem a cidade. O

planejamento político da prefeitura não considerou as condições do uso e ocupação do solo em relação aos impactos ambientais com conseqüentes problemas para a saúde da população.

5. As cidades que utilizam água de poço subterrâneo para o abastecimento da população, como é o caso de Goianira, devem se preocupar mais com a preservação do lençol freático que está submetido á qualidade do solo e subsolo.

6. A desocupação do loteamento Parque dos Girassóis ao redor dos poços que abastecem Goianira com a conseqüente recuperação da mata nativa e intervenções com educação ambiental no município trará mais qualidade de vida e saúde para população.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21. *Proteção d qualidade e do abastecimento de recursos hídricos: aplicações de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos*. Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Cap 1, p. 14-41. 1992.

ATDSR. *Toxicological profile: strontium*. Acesso em 22/03/2010. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts159.html>. 2004.

BAYER, M. *Análise Geomorfológica da Bacia do Meia Ponte*. Artigos, Revista Brasileira de Geomorfologia. União da Geomorfologia Brasileira, 2009.

BIGAZZI, P. E. *Autoimmunity induced by metals*. In: *Toxicology of Metals*. MA USA, CRC Press, 1996. p. 835 – 852.

BRANCO, S. M. *Água: origem, uso e preservação*. Ed. Moderna, São Paulo-SP.71 p. 2000.

CAMARA, V. M. *Produção e Ambiente: aspectos conceituais e metodológicos para a saúde coletiva*. In: V Congresso Brasileiro de Saúde Coletiva; Águas de Lindóia. MG, 1997.

CAMPOS, J. E. G. *Caracterização do Meio Físico, dos Recursos Minerais e Hídricos do Município de Aparecida de Goiânia*. Goiânia: Superintendência de Geologia e Mineração, 2009. 103 p. il.

CENEPI/FUNASA - Centro Nacional de Epidemiologia. *Investigação de surto de reações adversas ao sulfato de bário*. Notícias. FUNASA, Ministério da Saúde: Brasília, 18.06.03. In: URL: <http://www.funasa.gov.br/not/not436.htm> acesso em 28.02.10.

CONAMA. *Resoluções do Conama*. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2005. 808 p.

CORDANI, U.G. *A formação do geólogo brasileiro numa sociedade em transformação – a proposta da Universidade de São Paulo*. A Terra em revista, Belo Horizonte. V. 3, n. 3, 1997.

CORTECCI, G. *Geologia e Saúde*. Tradução Wilson Scarpelli. Ed. Lisboa. São Paulo, 2003.

COSTA, H. S. *A Geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de regiões de risco para a saúde nos municípios do sudoeste do Estado de Goiás*. Programa de pós-graduação (mestrado) em Ciências Ambientais e Saúde. Universidade Católica de Goiás. Goiânia-GO. 67 p. 2009

CPRM Serviço Geológico do Brasil. *Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Química*. CPRM/DNPM, Goiânia-GO. 15 p. 2003.

CPRM/SIC - Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Org. por Maria Luiza Osório Moreira, Luiz Carlos Moreton, Vanderlei Antônio de Araújo, Joffre Valmório de Lacerda Filho e Heitor Faria da Costa. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008. 143 p. il.; + mapa.

EPA. Drinking water contaminants. Acesso em 11/11/2009. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#1>.

FERRINI, M. T., BORGES, V. C. & WAITZBERG, D. L. Minerais: oligoelementos e elementos traço. In: WAITZBERG, D. L. (Org). *Nutrição enteral e parenteral na prática clínica*. Livraria Atheneu, Rio de Janeiro. PP. 52-74. 442p. 1990.

FLEURY, J. M. *Curso de Geologia Básica*. Ed. da UFG, Goiânia-GO. 261 p. 1995.

GE, Y. et AL. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. *Environmental Pollution*, n. 107, p. 137-144, 2000.

GELLEIN, K. High resolution inductively coupled plasma mass spectrometry: Some applications in biomedicine. Tese de Doutorado, Faculty of Natural Sciences and Technology, Norwegian University of Science and Technology. 2008.

GOIÂNIA – Prefeitura de Goiânia. acesso em 22/03/2010. Disponível em: <http://www.goiania.go.gov.br>. 2009.

GUERINO, Mário Cezar. *A quem interessa o reservatório João Leite?* Jornal Diário da Manhã, página 03, 21/01/2009.

GUILHERME, L. R. G., MARQUES, J. J., PIERANGELE, M. A. P., ZULIANI, D. Q., CAMPOS, M. L. & MARCHI, G. Elementos-Traço em solos e Sistemas aquáticos. *Tópicos em Ciências do Solo*. 4: 345-390. 2005.

HOROVITZ, C. T. *Is the major part of the periodic system really inessential for life?* J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis, v, 2, p. 135-144, 1988.

KOMATINA, M. M. *Medical Geology: Effects of geological environments on human health*. Amsterdam: Elsevier. 488p. ISBN: 0-444-51615-8. 2004.

LACERDA FILHO, J. V. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal* Conv. CPRM/METAGO/UnB. 200 p. il.; + mapas, 1999.

LÂG, J. *General survey of geomedicina*. In: LÂG, j. *Geomedicine*. Boca Raton: CRC Press. p. 1-23. 1990.

LEMES, M. J. L. *Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogiguaçu e Pardo, São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. 2001.

LICHT, O.A.B. *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*. Curitiba: UFP, 2001, tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná. 236p. 2001.

LINDH, U. *Medical Geology: impacts of the natural environment on public health*. Amsterdam: Elsevier. p. 115-156. 2005.

MACHADO, José. *Políticas Públicas – A lei das águas*. Jornal O Popular, caderno especial. Dia mundial da água. 22/03/2009.

MAIA, Y. L. M. Análise multielementar em água e sedimentos de corrente da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte na região metropolitana de Goiânia e sua relação com a saúde. Programa de pós-graduação (mestrado) em Ciências Ambientais e Saúde. Universidade Católica de Goiás. Goiânia-GO. 108 p. 2004.

MARTIN, C. N. aluminium concentrations in drinking water and risk of alzheimer's disease. *Epidemiology*, v. 8, n. 3, p. 281-286, 1997.

MORETON, L. C. *Programa de Levantamento Geológico Básico do Brasil – OLG*, folha SE.22-X-B-IV-Goiânia. Escala 1:1000.000. Goiânia; CPRM/DNPM, 1994.

MOTTA, V. T. *Bioquímica Clínica: Princípios e Interpretações*. Editora Médica Missau, Porto Alegre. 358p.2000.

MS. Portaria n. 518/2004. Acesso em 13/11/2009. Disponível em <http://e-legis.anvisa.gov.br/legisref/public/show>. 2004.

NWQMS. Australian Drinking Water Guidelines. Acesso em 18/11/2009. disponível em: [http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/files/adwg\\_11\\_06.pdf](http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/files/adwg_11_06.pdf)

OMS. Guidelines for Drinking-water quality. Acesso em 15/11/2009. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals)

OPAS. Água e Saúde. Acessado em 15/11/2009. Disponível em: <http://www.bra.ops-oms.org/ambiente/UploadArq/agua.pdf>. 2001.

PÁDUA, H. B. *Química Bioinorgânica*. Acesso em 13/11/2009. Disponível em: <HTTP://www.ruralnet.com.br/upload/artigos/quimica%2520BIOINORGANICA%2520PARTE%2520XVIII%2520S%25C3%2589RIE%2520%253%2581GUA>

PAULA, F. J. A. & FOSS, M. C. *Tratamento da hipercalcemia e hipocalcemia*. Medicina, Ribeirão Preto. 36:370-374. 2003.

PEREIRA, P. A. & LIMA, O. A. L. *Estrutura Elétrica da Contaminação Hídrica Provocada por Fluidos Provenientes dos Depósitos de Lixo Urbano e de um Curtume no Município de Alagoinhas, Bahia*. Revista Brasileira de Geofísica. 25(1): 5-19. 2007.

PINHEIRO, M. C. N., NAKANISHI, J., OIKAWA, T., GUIMARÃES, G., QUARESMA, M., CARDOSO, B., AMORAS, W. W., HARADA, M., MAGNO, C., VIEIRA, J. L. F., XAVIER, M. B. & BACELAR, D. R. *Exposição Humana ao Metilmercúrio em Comunidades Ribeirinhas da Região do Tapajós, Pará, Brasil*. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical. 33(3): 265-269. 2000.

POWELL, L. W. *Diagnosis of hemochromatosis*. *Semin. Gastrointest. Dis.* 13 (2): 80-8. 2002.

RAMALHO, J. F. G. P., SOBRINHO, N. M. B. A. & VELLOSO, A. C. X. *Contaminação da microbacia de Caetés com Metais Pesados Pelo Uso de Agroquímicos*. Pesquisa agropecuária Brasileira. 35(7): 1289-1303. 2000.

SANEAGO – Saneamento de Goiás S/A 2009. Disponível em: <http://www.saneago.go.gov.br> . Acessado em: 13 de novembro de 2009.

SANTANA, E. Q. *Determinação de macroelementos, oligoelementos e contaminantes metálicos em própolis por espectrofotometria de absorção atômica em chama e em forno de grafite*. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. 2003.

SELENIUS, O., ALLOWAY, B., CENTENO, J. A., FINKELMAN, R. B., FUGE, R., LINDH, U. & SMIDLEY, P. *Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*. Academic Press, New York. 832p. 2005.

SEPIN – Superintendência de Pesquisa e Informação. Acesso em 22/03/2010. Disponível em: <http://www.seplan.go.gov.br/sepin/>. 2009.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento de Goiás. Acesso em 22/03/2010. Disponível em: <http://www.seplan.go.gov.br>. 2009.

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

SOUZA, J. L. *Anomalias aerogamaespectrométricas (K, U e Th) na quadrícula de araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados*. Curitiba: UFPR. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) – Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. 1998.

STIGSON, B. *Sustainable business: performing against the triple bottom line*. Newsletter of the International Council on Metals and the Environment. London, v. 6, n. 3, p. 1-2, 1998.

THIEL, R. *O romance da Terra*. Edições Melhoramentos, São Paulo-SP. 1964. 172p.

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Bário: história, ocorrência, aplicações, ação biológica e propriedades*. In: URL: <http://www.if.ufrj.br/teaching/elem/e05610.html> acessado em 28.02.10.

VINOGRADOV, A. P. *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils*. 2 ed. New York: Consult. Bureau, 1959.

WARREN, H. V.; DELAVault, R. E. *Pathfinding elements in geochemical prospectin*. In: CONGRESSO GEOLOGICO INTERNACIONAL (20 : 1958 : Ciudad de Mexico). SIMPOSIO DE EXPLORACION GEOQUIMICA (1958 : Ciudad de Mexico). Anais ... Ciudad de Mexico, 1958. v. 1, p. 255-260.

WEBB, J. S. *Evironmental problems and the exploration geochemist*. In : ELLIOT, I. L.; FLETCHER, W. K. (ed) *Geochemical Exploration 1974*. Amsterdam: Elsevier, 1975. p. 5-17 (Developments in Economic Geology, 1).

WILLIAMS, S. R. *Fundamentos de nutrição e dietoterapia*. Artes Médicas, Porto Alegre, 1997. 664p.