



MESTRADO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E SAÚDE

**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 MULTI-ELEMENTAR DE AMOSTRAS DE  
ÁGUA TRATADA E ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA DE  
MUNICÍPIOS DA MESORREGIÃO SUL DE GOIÁS**

**AURÉLIO DE MELO BARBOSA**

**Goiânia-Goiás**

**Março de 2009**



MESTRADO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E SAÚDE

**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 MULTI-ELEMENTAR DE AMOSTRAS DE  
ÁGUA TRATADA E ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA DE  
MUNICÍPIOS DA MESORREGIÃO SUL DE GOIÁS**

**AURÉLIO DE MELO BARBOSA**

**Orientador: Prof. 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 Universidade Católica de Goiás,  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Mestre em Ciências  
Ambientais e Saúde.**

**Goiânia-Goiás**

**Março de 2009**

B238a Barbosa, Aurélio de Melo.

Análise química multi-elementar de amostras de água tratada e aspectos de saúde pública de municípios da mesorregião sul de Goiás / Aurélio de Melo Barbosa. – 2009.

108 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Goiás, 2009.

“Orientador: Prof. Dr. Eric Santos Araújo”.

1. Água – saneamento básico – qualidade da água – geologia médica. 2. Análise geoquímica multi-elementar – estação de tratamento de água – região sul – Goiás. I. Título.

CDU: 628.193:543.31(817.3)(043.3)  
628.193:546.175(817.3Quirinópolis)  
628.193:546.815(817.3Cromínia)



DISSERTAÇÃO DO MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE  
DEFENDIDA EM 30 DE MARÇO DE 2009 E  
CONSIDERADA APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:

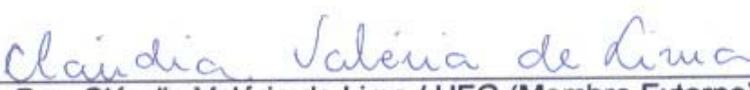
1)

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

2)

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Maira Barberi / UCG (Membro)

3)

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Cláudia Valéria de Lima / UFG (Membro Externo)

4)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Julio Cezar Rubin de Rubin / UCG (Suplente)

# DEDICATÓRIA

**À Deidade,  
acima de tudo**

Aos meus pais Virmondes e Rosa,  
por seu amor e educação

Ao Professor Eric,  
por sua paciência e dedicação

Aos caros professores e colegas do MCAS,  
por seu companheirismo, respeito e amizade

A Rafael, Elias, Renata, Vinícius, Marcos e tantos outros amigos e amores,  
por seu carinho, paciência, orientação e apoio

Aos meus alunos e à UEG,  
motivação para seguir adiante

## RESUMO

A água, essencial para a vida, tem influência direta sobre a saúde, qualidade de vida e desenvolvimento do ser humano. Entretanto, devido a causas naturais e antrópicas, a água pode sofrer contaminação de várias espécies, especialmente por elementos químicos. Assim, realizou-se um estudo de análise química multi-elementar de amostras de água tratada colhidas em Estações de Tratamento de Água de vinte e dois municípios da Mesorregião Sul Goiano. Também foram coletados dados sobre saneamento básico e morbidade hospitalar e mortalidade da área de estudo. Como resultado foram encontradas duas associações geoquímicas (Cl-Zn-SO<sub>4</sub>-Mn e Ca-Sr-Mg), sendo apresentados os mapas de distribuição geoquímica de cada elemento. Também descobriu-se concentrações anômalas, acima dos Valores Máximos Permitidos, de nitrato nas amostras de Quirinópolis e Morrinhos, e de chumbo na amostra de Cromínia, com possível impacto sobre a morbimortalidade dos referidos municípios.

**Palavras-chave:** qualidade de água, Estação de Tratamento de Água, saneamento básico, análise geoquímica multielementar, Geologia Médica

## **ABSTRACT**

Water, essential for life, has a direct influence on health, quality of life and development of mankind. However, due to natural and human causes, water may suffer contamination from various species, especially for chemical elements. Thus, this paper appears the results of a study of multi-elemental chemical analysis of samples of treated water collected in Water Treatment Plants of twenty-two cities of South Region of Goiás State. It was also exposes data on sanitation and hospital morbidity and mortality of the study area. It was found two geochemical associations (SO<sub>4</sub>-Cl-Zn-Mn and Ca-Sr-Mg), that were presented in maps of distribution of each element geochemistry. Also it was found anomalous concentrations above the maximum permitted values of nitrate in samples of Quirinópolis and Morrinhos, and lead in the sample of Cromínia, with possible impact on the morbidity and mortality of these municipalities.

**Keywords:** water quality, water treatment plant, sanitation, geochemical multi-elemental analysis, Medical Geology

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	v
GLOSSÁRIO .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
2.1. Água .....	4
2.2. Qualidade da água para uso humano .....	5
2.3. Geologia Médica e Geomedicina .....	9
2.4. Elementos maiores, menores e traço .....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
3.1. Atividades de campo .....	19
3.2. Atividades laboratoriais .....	21
3.3. Tratamento dos dados .....	22
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	24
4.1. Localização .....	24
4.2. Clima .....	24
4.3. Hidrografia .....	26
4.4. Aspectos físicos .....	28
4.5. Aspectos sócio-econômicos .....	36
5. RESULTADOS .....	40
5.1. Resultados da Análise Geoquímica da Água .....	40
5.2. Resultados Epidemiológicos .....	50
6. DISCUSSÃO .....	62

6.1. Associação 1 (Cl-Zn-SO <sub>2</sub> -Mn) .....	62
6.1.1. Cloreto .....	62
6.1.2. Zinco .....	66
6.1.3. Sulfato .....	69
6.1.4. Manganês .....	71
6.2. A Associação 2 (Ca-Sr-Mg) .....	75
6.2.1. Cálcio .....	75
6.2.2. Estrôncio .....	79
6.2.3. Magnésio .....	81
6.3. Chumbo .....	84
6.4. Nitrato e Nitrito .....	88
6.5. Saneamento Básico e Quadro Epidemiológico da Área de Estudo .....	93
6.6. Concentrações anômalas de nitrato e chumbo na água e seu impacto na morbimortalidade da Área de Estudo .....	94
7. CONCLUSÕES .....	96
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
APÊNDICES .....	107
Apêndice I .....	108

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b>	Classificação das águas doces superficiais, conforme o Conama .....	7
<b>TABELA 2.</b>	Classificação das águas subterrâneas, conforme o Conama .....	8
<b>TABELA 3.</b>	Padrões Brasileiros e Internacionais de Qualidade da Água com VMP (em mg/L) de elementos químicos.....	9
<b>TABELA 4.</b>	Classificação dos elementos de acordo com a toxicidade e ocorrência.....	11
<b>TABELA 5.</b>	Características de alguns elementos químicos encontrados em água potável.....	12
<b>TABELA 6.</b>	Amostras coletadas na área de estudo.....	21
<b>TABELA 7.</b>	Sensibilidade dos métodos de análise química multielementar da água .....	22
<b>TABELA 8.</b>	População estimada, área total, densidade demográfica estimada, lei de criação e município de origem dos municípios da área de estudo .....	37
<b>TABELA 9.</b>	IDH-M, PIB e PIB <i>per capita</i> de cada município da área de estudo.....	38
<b>TABELA 10.</b>	Concentrações (mg/L) dos elementos químicos de amostras de água das ETAs de 22 municípios da Mesorregião Sul Goiano e referência nacional e internacional de VMP respectivo a cada elemento.....	41
<b>TABELA 11.</b>	Sumário estatístico das concentrações de cada elemento químico dosado nas amostras de água das ETAs de vinte e dois municípios da Mesorregião Sul de Goiás .....	42
<b>TABELA 12.</b>	Valores de primeira, segunda e terceira ordens de cada elemento químico dosado nas amostras de água das ETAs de vinte e dois municípios da Mesorregião Sul de Goiás .....	43
<b>TABELA 13.</b>	Porcentagem da população atendida por redes de água tratada e esgoto em 2006, e destino do lixo em 2000, na área de estudo.....	50
<b>TABELA 14.</b>	Domicílios particulares permanentes, por forma de abastecimento de água, existência de banheiro ou sanitário e destino do lixo, segundo os municípios da área de estudo, em	

	2000.....	51
<b>TABELA 15.</b>	Mortalidade da área de estudo, ano 2006, por local de residência.....	52
<b>TABELA 16.</b>	Morbidade hospitalar da área de estudo, ano 2006, por local de residência.....	55

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b>	Mapa de amostragem da área de estudo.....	20
<b>FIGURA 2.</b>	Localização da área de estudo.....	25
<b>FIGURA 3.</b>	Mapa de hidrografia da área de estudo.....	27
<b>FIGURA 4.</b>	Mapa de unidades geotectônicas da área de estudo.....	28
<b>FIGURA 5.</b>	Mapa Litoestratigráfico da Área de Estudo.....	30
<b>FIGURA 6.</b>	Mapa de geomorfologia da área de estudo.....	34
<b>FIGURA 7.</b>	Mapa de solos da área de estudo.....	35
<b>FIGURA 8.</b>	Mapa do uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo.....	36
<b>FIGURA 9.</b>	Matriz de correlação dos elementos de 1ª, 2ª e 3ª ordem.....	44
<b>FIGURA 10.</b>	Mapa de distribuição do cloro.....	45
<b>FIGURA 11.</b>	Mapa de distribuição do zinco.....	45
<b>FIGURA 12.</b>	Mapa de distribuição do sulfato.....	46
<b>FIGURA 13.</b>	Mapa de distribuição do manganês.....	46
<b>FIGURA 14.</b>	Mapa de distribuição do cálcio.....	48
<b>FIGURA 15.</b>	Mapa de distribuição do estrôncio.....	49
<b>FIGURA 16.</b>	Mapa de distribuição do magnésio.....	49
<b>FIGURA 17.</b>	Mortalidade em 2006 por município e tipo de doença, em porcentagem.....	53
<b>FIGURA 18.</b>	Mortalidade total em 2006 da área de estudo por tipo de doença, em porcentagem.....	54
<b>FIGURA 19.</b>	Morbidade hospitalar em 2006 por município e tipo de doença, em porcentagem.....	56
<b>FIGURA 20.</b>	Morbidade hospitalar em 2006 da área de estudo por tipo de doença.....	57
<b>FIGURA 21.</b>	Morbidade (2007) e mortalidade (2005) por grupo de doenças em Cromínia.....	58

<b>FIGURA 22.</b>	Morbidade e mortalidade por grupo de doenças em Morrinhos...59
<b>FIGURA 23.</b>	Morbidade e mortalidade por grupo de doenças em Quirinópolis.....60

## LISTA DE ABREVIATURAS

**Anvisa** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil

**ATDSR** – Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças dos EUA (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

**Cetesb** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

**Conama** – Conselho Nacional do Meio Ambiente (MMA, Brasil)

**Datasus** – Departamento de Informática do SUS

**EPA** – Agência de Proteção Ambiental dos EUA (Environmental Protection Agency)

**ETA** – Estação de Tratamento de Água

**ETAs** – Estações de Tratamento de Água

**EUA** – Estados Unidos da América

**GPS** – Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)

**HSDB** - Banco de Dados de Sustâncias Venenosas da NLM (Hazardous Substances Data Bank)

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do Brasil

**IPCS** – Programa Internacional de Segurança Química da OMS (International Program for Chemical Safety)

**MMA** – Ministério do Meio Ambiente do Brasil

**MS** – Ministério da Saúde do Brasil

**NLM** – Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA (National Library of Medicine)

**NWQMS** – Estratégia Nacional de Administração da Qualidade da Água, Austrália (National Water Quality Management Strategy)

**OMS** – Organização Mundial de Saúde

**Opas** – Organização Pan-Americana de Saúde

**Saneago** – Saneamento de Goiás S/A

**Sepin** – Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informação do Estado de Goiás

**Seplan** – Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás

**Sieg** – Sistema de Informações Estatísticas e Geográficas do Estado de Goiás

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**SUS** – Sistema Único de Saúde (Brasil)

**VMP** – Valor(es) máximo(s) permitido(s)

## GLOSSÁRIO

**Alopecia:** É a redução parcial ou total de pêlos ou cabelos em uma determinada área de pele.

**Anorexia:** Diminuição do apetite.

**Bradicinesia:** Lentidão nos movimentos, com diminuição na gestualidade e expressão corporal.

**Cefaléia:** Dor de cabeça.

**Citrato:** É a designação genérica dos sais do ácido cítrico. É o principal nutriente produzido pela próstata como alimento dos espermatozóides.

**Constipação:** prisão de ventre ou obstipação intestinal, que é caracterizada pela dificuldade constante ou eventual da evacuação das fezes, que se tornam ressecadas.

**Dispepsia:** Indigestão, dificuldade na digestão dos alimentos.

**Espinélio:** Mineral aluminato de magnésio ( $MgAl_2O_4$ ).

**Greda:** Barro ou calcário muito macio e friável, de um amarelo esverdeado, que geralmente contém sílica e argila.

**Hipertonía:** Aumento do tônus muscular.

**Hipoalbuminemia:** Diminuição do nível de albumina no sangue.

**Hipofonia:** Voz baixa, num tom monótono, difícil de se distinguir as palavras que são ditas.

**Hipogeusia:** Redução do paladar.

**Hipogonadismo:** Função deficitária das gônadas.

**Hipomímia:** Diminuição na expressividade (mímica) facial.

**Hiposmia:** Redução do olfato.

**Hipospermia:** Redução na produção de espermatozóides.

**Laringoespasmó:** É a oclusão da glote devido à contração dos músculos laríngeos.

**Letargia:** É a perda temporária e completa da sensibilidade e do movimento por causa fisiológica, ainda não identificada, levando o indivíduo a um estado mórbido

em que as funções vitais estão atenuadas de forma tal que parece estarem suspensas, dando ao corpo a aparência de morte.

**Manganismo:** Síndrome de intoxicação por manganês.

**Nanismo:** Déficit no crescimento corporal, deixando o indivíduo anão.

**Nefrocalcinose:** Distúrbio do rim que envolve depósitos de cálcio e oxalato ou fosfato nos túbulos renais e interstícios (áreas entre os túbulos), podendo provocar a redução da função renal.

**Osteoporose:** A osteoporose é uma doença óssea metabólica que resulta da carência de cálcio nos ossos. Ocorre uma redução da quantidade de osso (massa óssea) e, portanto, há deterioração da sua qualidade. Estes ficam cada vez mais porosos e, após alguns anos, estão suficientemente frágeis para se fraturarem com facilidade.

**Parestesia:** Sensação cutânea subjetiva (ex., frio, calor, formigamento, pressão, etc.) que é vivenciada espontaneamente na ausência de estimulação.

**Parkinsonismo:** Síndrome secundária a alguma doença, com sintomas semelhantes aos da doença de Parkinson.

**Piruvato carboxilase:** É uma enzima da classe das ligases que catalisa a carboxilação irreversível do piruvato em oxaloacetato. Normalmente requer coenzima A, biotina e manganês ou magnésio como cofatores.

**Polidipsia:** Sintoma com sensação de sede em demasia.

**Poliúria:** Aumento da diurese (volume urinário), com aumento da frequência de micções (polaciúria).

**Raquitismo:** Distúrbio envolvendo o amolecimento e o enfraquecimento dos ossos em crianças, causado principalmente pela falta de vitamina D e/ou falta de cálcio e fosfato.

**Sérico:** Relativo ao soro, componente líquido do sangue. Ex: dosagem do cálcio sérico – mensuração da concentração do cálcio sanguíneo.

**Superóxido dismutase:** É uma enzima que catalisa a dismutação do superóxido em oxigênio e peróxido de hidrogênio. Devido a isto, é uma importante defesa antioxidante na maioria das células expostas ao oxigênio.

**Tetania:** Espasmos involuntários dos músculos.

## 1. INTRODUÇÃO

A água potável de boa qualidade é essencial para a manutenção da vida e melhorar o acesso à água potável pode resultar em benefícios tangíveis para a saúde, por isto todo esforço possível deve ser feito para garantir-se a qualidade de água potável (NWQMS, 2004; OMS, 2006).

A água potável deve ser segura para o consumo de todas as pessoas, não apresentando risco significativo para a saúde, inclusive nas diferentes fases da vida humana (NWQMS, 2004). A água potável não deve conter concentrações nocivas de substâncias químicas ou microorganismos, deve ter aparência, sabor e odor agradável, além de ser adequada para todos os propósitos domésticos, incluindo a higiene pessoal (NWQMS, 2004; OMS, 2006). Aqueles com maior risco de doença provocada pelo consumo de água imprópria são os bebês e crianças, pessoas que estão debilitadas ou vivendo em condições insalubres, e os idosos (OMS, 2006).

O conhecimento da qualidade da água, a preservação de mananciais hídricos e o planejamento da ocupação do solo são recursos que muito contribuem para a qualidade de vida, desenvolvimento sustentável e para o controle de doenças (Vitor, 2006). Nesse contexto, a veiculação de elementos ou compostos químicos na água potável é de suma importância. As substâncias químicas presentes no solo, água e ar sofrem o efeito de fatores naturais (intemperismo, erosão, transporte por correntes aéreas ou aquáticas, etc.), bem como de fatores antrópicos, podendo assim ser transferidas da geosfera para a biosfera, com potencial para interferir na homeostase dos organismos vivos (Selinus *et al.*, 2005).

A contaminação de recursos hídricos por elementos químicos, com conseqüências para o equilíbrio ambiental e saúde humana, tem sido um problema contemporâneo comum que tem despertado atenção de pesquisadores, governo e sociedade civil (Cortecci, 2003). Segundo Licht *apud* Vitor (2006), especialmente a partir da década de 80, diversos países realizam diagnósticos ambientais através de técnicas de exploração geoquímica, tentando estabelecer o potencial e a viabilidade de aquíferos e controlar a poluição aquática.

O estudo multi-elementar da composição química da água possibilita a quantificação de elementos químicos em bacias hidrográficas sujeitas a diferentes tipos de contaminação e auxilia a compreensão da realidade ambiental dessas bacias (Vitor, 2006). No Brasil, já foram realizados vários estudos de análise química multi-elementar, pesquisando a qualidade da água de bacias fluviais, aquíferos ou mesmo da água tratada, entre os quais se cita os de: Côrte *et al.* (2006), D'Aguila *et al.* (2000), Lemes (2001), Maia (2004), Pádua (2002), Pereira & Lima, (2007), Pinheiro *et al.* (2000), Ramalho *et al.* (2000) e Vitor (2006).

Maia (2004) encontrou contaminação por cromo, de provável causa antrópica, na drenagem do córrego Macambira (Goiânia-Go), estando o elemento em concentrações acima do VMP preconizado pela EPA. Vitor (2006) não encontrou concentrações de elementos químicos acima dos VMP preconizados nacional ou internacionalmente em seu estudo de análise multi-elementar de amostras de água tratada de municípios da Região de Desenvolvimento Sudeste Goiano.

Fundamentando-se na problemática acima exposta, realizou-se uma pesquisa geoquímica de análise comparativa da presença de vinte e oito elementos químicos em água tratada pelas ETAs e sua possível influência na saúde das populações de municípios da Mesorregião Sul do Estado de Goiás. Este estudo

faz parte de um grande projeto implantado no Programa de Mestrado de Ciências Ambientais e Saúde da Universidade Católica de Goiás: “Pesquisa nas ETAs, análise de metais pesados, qualidade de vida e saúde no Estado de Goiás”.

O objetivo geral do estudo foi realizar uma análise química multi-elementar de amostras de água colhidas nas ETAs da Região Sul de Goiás e análise do quadro epidemiológico dos municípios estudados, numa tentativa de estabelecer dados comparativos que permitam identificar os níveis de qualidade da água e sua influência na saúde da população.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A água para ser segura para o consumo humano não necessita ser absolutamente pura, até porque ela é um bom solvente e dificilmente encontra-se pura na natureza (NWQMS, 2004). Assim, a água potável apresenta vários elementos químicos dissolvidos em sua forma catiônica ou aniônica.

As doenças relacionadas à contaminação da água potável constituem-se num grande desafio para a Saúde Pública. Intervenções que melhoram a qualidade da água potável promovem significantes benefícios à saúde. A grande maioria das enfermidades relacionadas à qualidade da água consumida resulta de contaminação por micróbios, entretanto um número apreciável de sérias doenças ocorre como resultado da contaminação química da água potável (OMS, 2006).

Nesse contexto, discute-se a seguir sobre a água potável e sua relação com a saúde humana e ambiental.

### 2.1. Água

A água é uma substância essencial para a manutenção da vida (D'Aguila *et al.*, 2000). Todos os seres vivos têm a água como parte fundamental constituinte de seus organismos. O ser humano adulto tem na sua composição corporal cerca de 50-60% de água (Guyton & Hall, 2002; McGeown, 2002) e em média necessita de uma ingestão hídrica diária mínima de 2 litros, sendo que a sede mata mais rápido que a fome (Guyton & Hall, 2002; McArdle *et al.*, 2007). A água tem influência direta sobre a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento do ser humano (Opas, 2001).

A hidrosfera conta com aproximadamente 1386 milhões de quilômetros cúbicos de água. As águas salgadas representam 97,5% do total da água planetária, contra 2,5% de águas doces. Destas, 1,74% representam calotas polares e geleiras, e 0,76% são águas subterrâneas, sendo que as águas doces disponíveis em rios, lagos, solos e atmosfera (na forma de vapor) perfazem 0,02% do total mundial (Saeijs & Berkel, 1997; Gleick, 2000). A água disponível para uso, seja para consumo humano ou aplicações econômicas, representa a mínima porção da água total que compõe a hidrosfera, cerca de 0,01% (Gleick, 2000).

A água tem sido considerada, há muitos séculos, um recurso infinito e renovável, entretanto com a contínua depredação ambiental promovida pela ação antrópica as reservas hídricas de potencial para consumo humano tem se reduzido consideravelmente (Castro & Câmara, 2004). Muitos países e populações sofrem com falta de água para consumo e higiene (Saeijs & Berkel, 1997; Gleick, 2000). Atualmente, 2,4 bilhões de pessoas no planeta vivem sem condições aceitáveis de saneamento, enquanto mais de um bilhão de pessoas não têm sequer acesso a um abastecimento adequado de água (Opas, 2001).

O potencial hídrico do Brasil excede os do Canadá e Estados Unidos somados, perfazendo um total de mais 6200 km<sup>3</sup>/ano (Gleick, 2000). Um décimo da água doce mundial está no Brasil, sendo que por volta de 80% desses recursos hídricos localizam-se na Amazônia (Aguiar *et al.*, 2003).

## **2.2. Qualidade da água para uso humano**

A água para consumo humano deve atender a determinados requisitos de qualidade para que não se torne tóxica e imprópria para uso (Agreste *et al.*, 2001). A qualidade das águas superficiais depende do clima e da litologia da

região, da vegetação circundante, do ecossistema aquático e da influência do homem (Pádua, 2002).

Determinados agentes patogênicos (vírus, bactérias, parasitas) ou poluentes químicos podem contaminar a água, que assim se torna de má qualidade e pode provocar doenças de veiculação hídrica (D'Águila *et al.*, 2000; Agreste *et al.*, 2001). A proteção de contaminações no fornecimento de água é a primeira linha de defesa contra essas morbidades, de forma a manter um grau aceitável de qualidade da água e proteção à saúde pública (D'Águila *et al.*, 2000).

O controle da qualidade de água destinada ao consumo humano, desde os sistemas produtores (mananciais, captação, tratamento) aos sistemas de distribuição (reservatórios, redes), normalmente é realizado pela empresa responsável de saneamento local e monitorado pelas agências estaduais (ou distrital) e municipais de Vigilância Sanitária. O monitoramento da água potável, instituído pela Portaria n. 518/2004 do MS (2004), estabelece números mínimos de amostras ou planos de amostragem, além dos padrões para a água potável restritos ao sistema de produção e distribuição.

O Conama (2006), em sua resolução n. 357 de 17 de março de 2005, classifica em cinco níveis de qualidade os corpos de água doce superficial (tabela 1) e, em sua resolução n. 396 de 3 de abril de 2008 (Conama, 2008), classifica as águas subterrâneas em 6 níveis de qualidade (tabela 2). Nessas resoluções o Conama regulamenta os VMP de alguns elementos químicos presentes na água doce superficial e subterrânea, disponível para consumo humano, animal e para outros usos. O MS (2004), em sua Portaria n. 518/2004, regulamenta os VMP de determinados elementos químicos presentes na água potável, seja proveniente de ETAs ou de fontes de água mineral.

Tabela 1. Classificação das águas doces superficiais, conforme o Conama.

<b>Classe Especial</b>	Destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
<b>Classe 1</b>	Destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (tais como natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas
<b>Classe 2</b>	Destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, e à aquicultura e à atividade de pesca
<b>Classe 3</b>	Destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário, e à dessedentação de animais
<b>Classe 4</b>	Destinadas à navegação e à harmonia paisagística

Fonte: Conama, 2006.

Tabela 2. Classificação das águas subterrâneas, conforme o Conama.

<b>Classe Especial</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial
<b>Classe 1</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeológicas naturais
<b>Classe 2</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeológicas naturais
<b>Classe 3</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeológicas naturais
<b>Classe 4</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo
<b>Classe 5</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso

Fonte: Conama, 2008.

Em nível internacional, citam-se duas entidades relevantes que recomendam os VMP para vários elementos químicos presentes na água potável: a EPA (2008a; EPA *apud* ATDSR, 2004) e a OMS (2006). Encontram-se na tabela 3 os referidos padrões nacionais e internacionais de qualidade da água.

Tabela 3. Padrões Brasileiros e Internacionais de Qualidade da Água com VMP (em mg/L) de elementos químicos.

Elemento	MS 518/2004 (água potável)	Conama 357/2005 (Água doce superficial)		Conama 396/2008 (água de aquíferos)		EPA	OMS
		Classes 1 e 2	Classe 3	Para consumo humano	Para dessedentação de animais		
Alumínio	0,2	0,1	0,2	0,2	5	0,2	0,2
Antimônio	0,005	0,005	—	0,005	—	0,006	0,02
Arsênio	0,01	0,01	0,033	0,01	0,2	0,01	0,01
Bário	0,7	0,7	1	0,7	—	2	0,7
Berílio	—	0,04	0,1	0,004	0,1	0,004	—
Boro	—	0,5	0,75	0,5	5	1,4	0,5
Bromato	0,025	—	—	—	—	0,01	0,01
Cádmio	0,005	0,001	0,01	0,005	0,05	0,005	0,003
Chumbo	0,01	0,01	0,033	0,01	0,1	0,015	0,01
Cloreto	250	250	250	250	—	250	250
Cloro livre	5	0,01	—	—	—	—	5
Cobalto	—	0,05	0,2	—	1	—	—
Cobre	2	0,009	0,013	2	0,5	1,3	2
Cromo	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,1	0,05
Dureza (magnésio e cálcio)	500	—	—	—	—	—	500
Estrôncio	—	—	—	—	—	4	—
Ferro	0,3	0,3	5	0,3	—	0,3	0,3
Fluoreto	1,5	1,4	1,4	1,5	2	4	1,3
Fosfato	—	—	—	—	—	—	—
Fósforo total	—	0,02	0,05	—	—	—	—
Lítio	—	2,5	2,5	—	—	—	—
Manganês	0,1	0,1	0,5	0,1	0,05	0,05	0,4
Mercurio	0,001	0,0002	0,002	0,001	0,01	0,002	0,006
Molibdênio	—	—	—	0,07	0,15	—	0,07
Níquel	—	0,025	0,025	0,02	1	—	0,07
Nitrato	10	10	10	10	90	10	50
Nitrito	1	1	1	1	10	1	3
Prata	—	0,01	0,05	0,1	—	0,1	0,1
Selênio	0,01	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,01
Sódio	200	—	—	200	—	60	200
Sulfato	250	250	250	250	1000	250	500
Titânio	—	—	—	—	—	—	—
Urânio	—	0,02	0,02	0,015	0,2	0,03	0,015
Vanádio	—	0,1	0,1	0,05	0,1	—	—
Zinco	5	0,18	5	5	24	5	3

Fonte: Conama, 2006 e 2008. MS, 2004. OMS, 2006. EPA, 2008a. EPA *apud* ATDSR, 2004.

### **2.3. Geologia Médica e Geomedicina**

A Geomedicina estuda a influência das condições climáticas e ambientais sobre a saúde, principalmente em relação ao impacto epidemiológico desses fatores na distribuição e prevalência das endemias e epidemias (Zeiss *apud* Lacaz, 1972; Cortecci, 2003). A Geologia Médica é o estudo das relações entre os fatores geológicos e a saúde, enfatizando o impacto dos materiais e processos geológicos na saúde pública, especialmente os materiais nocivos de origem natural ou antrópica presentes no ambiente (Silva *et al.*, 2006). Assim, ao investigar os riscos que substâncias químicas ou agentes infecciosos presentes no solo, água e ar podem oferecer à saúde coletiva, a Geologia Médica permite que ações preventivas ou corretivas possam ser implementadas, melhorando o nível de saúde humana e animal.

Fica evidente o papel da qualidade da água, em termos de composição química e biológica, na saúde pública. A água, contaminada por fontes naturais ou antrópicas, pode conter excesso ou falta de elementos químicos que, quando ingeridos e absorvidos no trato gastrintestinal, provocam doenças (OMS, 2006).

### **2.4. Elementos Maiores, Menores e Traço**

Elementos maiores ou elementos constituintes (carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio) são os de maior ocorrência no corpo humano e constituem a maior parte dos tecidos orgânicos, perfazendo um total de 96% do peso corporal (Santana, 2003; Selinus *et al.*, 2005). Os elementos menores ou macroelementos essenciais (cálcio, fósforo, potássio, enxofre, sódio, cloro e magnésio) representam 3,8% do peso corporal e são essenciais à manutenção da saúde e da vida, devendo ser ingeridos diariamente (Santana, 2003; Selinus *et al.*, 2005;

Peereboom *apud* Gellein, 2008). Na Tabela Periódica existem 90 elementos que ocorrem naturalmente no meio ambiente, sendo que 73 são classificados como elementos-traço, os quais, na Medicina Ortomolecular e na Nutrologia, são também chamados de microminerais ou oligoelementos (Santana, 2003).

Elementos-traço são os metais catiônicos e aniônicos presentes em baixas concentrações (menor que 1000 ppm) em solos e plantas, exceto o alumínio, ferro, manganês e titânio, que ocorrem em maiores concentrações na litosfera (Guilherme *et al.*, 2005; Côrte *et al.*, 2006). Elementos-traço são também freqüentemente definidos como aqueles elementos cuja concentração no corpo humano é menor que 100 µg/g (Peereboom *apud* Gellein, 2008). Outra definição de elemento-traço é todo elemento natural que ocorre na Tabela Periódica, exceto os gases nobres e os elementos maiores e menores (Selinus *et al.*, 2005).

Os elementos-traço também podem ser classificados como essenciais e não-essenciais (Santana, 2003; Guilherme *et al.*, 2005; Gellein, 2008). São essenciais quando a sua ingestão deficiente provoca uma redução ou alteração na função orgânica, que de ótima passa a ser sub-ótima, mas sua suplementação em níveis fisiológicos (50 µg a 18 mg por dia) pode prevenir ou curar esse déficit funcional orgânico (Mertz *apud* Gellein, 2008). Ferro, zinco, cobre, manganês, iodo, molibdênio, cromo, selênio e cobalto são oligoelementos essenciais (Santana, 2003). Já o estrôncio, rubídio, vanádio, estanho, níquel, lítio, boro, germânio, tungstênio, arsênio, prata, ouro e bismuto são elementos-traço que talvez sejam essenciais, necessitando-se de estudos adicionais para a comprovação de sua essencialidade (Santana, 2003; Selinus *et al.*, 2005). Os oligoelementos essenciais ou não essenciais podem ter efeito tóxico no organismo quando ultrapassam determinados limiares (Santana, 2003; Gellein, 2008).

Vários elementos-traço não-essenciais são conhecidamente tóxicos em doses bastantes pequenas e entre eles destacam-se o mercúrio, cádmio, chumbo, arsênio, tálio, telúrio, cobre, urânio, antimônio, berílio, níquel, estanho, tungstênio e vanádio (Lemes, 2001; Santana, 2003; Gellein, 2008). Dentre os microminerais essenciais, o manganês, o molibdênio, o cromo, o selênio e o cobalto são tóxicos quando acima de certos limites. 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 administração/absorção (Lemes, 2001; Gellein, 2008).

Os íons presentes nos sistemas aquáticos são abundantes na natureza na forma solúvel. A abundância genérica se restringe aos números atômicos  $\leq 40$ , alguns dos quais são praticamente impossíveis de ocorrer devido à baixa solubilidade de seus hidróxidos. Do ponto de vista da poluição ambiental, os elementos podem ser classificados (tabela 4) de acordo com três critérios: (1) não tóxico, (2) tóxico, muito insolúvel ou muito raro e, (3) muito tóxico e relativamente acessível (Lemes, 2001).

Tabela 4. Classificação dos elementos de acordo com a toxicidade e ocorrência.

Não Tóxico				Tóxico, muito insolúvel ou muito raro			Muito tóxico e relativamente acessível			
Na	C	F	K	Ti	Ga	Hf	Be	As	Au	Co
P	Li	Mg	Fe	La	Zr	Os	Se	Hg	Ni	Te
Rb	Ca	S	Sr	W	Rh	Nb	Tl	Cu	Pd	Pb
H	Cl	Al	O	Ir	Ta	Ru	Zn	Ag	Sb	Sn
Br	Si	N		Re	Ba		Cd	Bi	Pt	

Fonte: Wood *apud* Lemes, 2001.

Os elementos-traço, sejam essenciais ou não-essenciais, tóxicos ou não-tóxicos, podem ter impacto sobre a saúde das plantas, animais e seres humanos quando acumulados no solo, água ou ar em determinadas quantidades (Guilherme *et al.*, 2005). Assim, os vários organismos internacionais e nacionais, como a OMS, a EPA, o Conama e MS, recomendam os VMP para vários elementos químicos no solo, água e ar (Lemes, 2001), prevenindo contaminações ambientais de possível influência negativa na saúde animal, vegetal e humana. Na Tabela 5 são apresentados alguns dados sobre as fontes de origem na água e a toxicidade de alguns elementos químicos.

Tabela 5. Características de alguns elementos químicos encontrados em água potável.

<b>Elemento</b>	<b>Origem na água e fatores de alteração</b>	<b>Papel na saúde e toxicidade</b>
Al	É abundante nas rochas e minerais. Condições físico-químicas particulares favorecem ou não a solubilidade do íon. Aumento do seu teor nas águas é decorrente do lançamento de efluentes industriais, esgotos domésticos, resíduos industriais, de mineração e de produtos utilizados na agricultura, bem como através de fontes minerais.	Não é considerado tóxico ou prejudicial à saúde, mas há interesse em se controlar a concentração nas águas de abastecimento público e industrial, para prevenir precipitações e sedimentações
As	É um elemento-traço amplamente distribuído na crosta terrestre, sendo introduzido naturalmente na água a partir da dissolução de minerais e rochas.	A mais importante via de exposição é a ingestão oral de alimentos e líquidos contaminados. Provoca o desenvolvimento de câncer em vários órgãos, particularmente na pele, bexiga e pulmões.
B	É encontrado naturalmente em aquíferos, porém sua presença em água superficiais decorre da contaminação por esgotos com altos teores de detergentes (visto que entram na composição de sabões, detergentes, vidros e anti-inflamáveis).	Não é genotóxico ou cancerígeno, mas provoca lesão nas gônadas masculinas em ratos e cães quando ingerido no alimento ou na água.
Ba	Ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, de 0,7 a 900 µg L <sup>-1</sup> . Quantidades elevadas são decorrentes de efluentes industriais e de resíduos de minerações. Pode afetar os consumidores de águas residuárias e o sistema biológico de águas brutas.	A ingestão pode causar desde o aumento transitório da pressão sangüínea, por vasoconstrição, até sérios feitos tóxicos sobre coração, vasos e nervos. Ainda não se comprovou efeito acumulativo.

Continua...

Tabela 5. Continuação.

<b>Elemento</b>	<b>Origem na água e fatores de alteração</b>	<b>Papel na saúde e toxicidade</b>
Be	Sua concentração em rochas é baixa. É pouco solúvel em água. É amplamente utilizado em aplicações industriais. Pode contaminar a água superficial a partir de dissolução de rochas, deposição atmosférica e efluentes. Aqüíferos pré-cambrianos são ricos em berilo.	É cancerígeno e fetotóxico para seres humanos, sendo a via inalatória a de principal risco de absorção. É pouco absorvido no trato gastrintestinal.
Ca	Contribui para a dureza da água e é proveniente da dissolução de rochas sedimentares, sendo comum que corpos naturais de água tenham até 100 mg/L de cálcio.	É essencial para o ser humano, participando da composição óssea, coagulação sangüínea, transmissão dos impulsos nervosos, contração muscular, ativações enzimáticas, a regulação de glândulas, permeabilidade da membrana celular. O déficit resulta em osteoporose, fraturas ósseas, raquitismo, diarreia, perda de peso, parestesia periférica e perioral, câibras musculares e, nos casos mais graves, laringoespasma, convulsão, tetania e óbito. Não tem potencial tóxico aparente quando ingerido em grandes doses.
Cd	Em condições naturais é encontrado nas águas em níveis de traços. A ocorrência de concentrações mais elevadas nas águas está relacionada ao contato com recipientes e canalizações que contenham este elemento, inclusive plásticas, ao uso de fertilizantes e ao lançamento de despejos industriais de galvanoplastia, de mineração e metalurgia do zinco bem como de processos de combustão.	Tem elevado potencial tóxico, apresenta efeito cumulativo nos organismos aquáticos e não aquáticos com meia-vida da ordem de 10 anos, podendo integrar-se às cadeias alimentares. Em pequenas doses, afeta os órgãos reprodutores de alguns animais. No homem, provoca irritação gastrointestinal com ocorrência de vômitos, ataca a medula óssea conseqüentemente redução dos glóbulos vermelhos gerando anemia, causa hipertensão, doenças cardiovasculares, diminuição da massa óssea, retardo do crescimento em crianças, prejudica a capacidade excretora dos rins.
Cl <sup>1</sup>	Ocorrem em águas naturais em teores variados devido ao contato com depósitos minerais ou com a água do mar. Maiores concentrações decorrem da contaminação por esgotos domésticos, efluentes industriais diversos (químicos, de tintas, explosivos, fósforos, papel, de galvanoplastia, bebidas carbonatadas, processamento de alimentos) e do retorno de água de irrigação. As concentrações de cloretos são geralmente mais altas em águas residuárias do que em esgotos domésticos.	Embora em quantidades razoáveis não sejam prejudiciais à saúde humana, transmitem à água sabor salgado repulsivo. Quando inspirado pode causar irritação nas membranas mucosas dos olhos, nariz, garganta e traquéia.

Continua...

Tabela 5. Continuação.

<b>Elemento</b>	<b>Origem na água e fatores de alteração</b>	<b>Papel na saúde e toxicidade</b>
Cr	É raramente encontrado em águas naturais não poluídas. O cromo trivalente presente nas águas decorre principalmente do lançamento de despejos de curtumes. A presença do cromo hexavalente advém de despejos de indústrias que utilizam processos de cromagem de metais, galvanoplastias, indústria de corantes, explosivos, cerâmica, vidro, papel, etc.	Baixos teores do cromo III são necessários ao metabolismo humano e animal, porém a espécie hexavalente não tem função nenhuma no organismo humano, além de ser extremamente tóxica. A forma trivalente é menos tóxica que a hexavalente. Apesar de não ter efeito cumulativo, pode bloquear enzimas responsáveis por determinados processos metabólicos. Quando inspirado pode ser carcinogênico.
Cu	Ocorre em águas naturais em pequenas concentrações. Maiores teores são decorrentes de sua utilização como algicida, do lançamento de despejos industriais e do desgaste de canalização de cobre.	Em pequenas concentrações participa dos processos metabólicos e sua ausência pode causar anemia. Causa sabor às águas de abastecimento. Concentrações elevadas são danosas para os organismos aquáticos, podendo ocasionar problemas de fígado no homem (doença de Wilson).
F <sup>-1</sup>	Sua presença em águas naturais não poluídas se deve ao contato com rochas que o contêm. Maiores concentrações ocorrem devido ao lançamento de despejos de industriais químicas, de vidro, de beneficiamento de minérios, dentre outras.	São essenciais em águas para consumo humano em concentrações baixas (0,8 a 1,2 µg/L) para a prevenção de cáries infantis. Maiores concentrações são prejudiciais à saúde humana. Concentrações altas, entre 8-20 µg/L são prejudiciais à saúde por causarem fluorose dental em crianças e fluorose endêmica cumulativa, com conseqüentes lesões esqueléticas em crianças e adultos.
Fe	Existe em grande quantidade na natureza. Nas águas superficiais pode ser encontrado sob as formas bivalente e trivalente como solução, colóide, suspensão ou em complexos orgânicos e minerais. Em águas não poluídas, seu teor varia muito em função da litologia da região e do período chuvoso, quando pode ocorrer o carreamento de solos com teores de ferro mais elevados. Pode ocorrer em maiores concentrações devido à drenagem de áreas de mineração, ou ao lançamento de efluentes indústrias de metalurgia ou de processamento de metais.	Confere sabor e coloração avermelha às águas. Sua presença causa depósitos em tubulações. Pode causar manchas em aparelhos sanitários e em roupas durante a lavagem. Pode causar problemas no sistema de distribuição e promover o crescimento de ferrobactérias, causando vômito e prejudicar ao fígado e aos rins.
Mg	Ocorre em águas naturais devido a dissolução de rochas carbonáticas, silicatos, minérios e ferromagnesianos.	É essencial para o homem. Sua deficiência provoca sintomas neuromusculares e psiquiátricos, anorexia, náuseas, vômitos, diarreia, dores abdominais, taquicardia, arritmia, hipertensão arterial. A intoxicação provoca hipocalcemia transitória, sintomas neuromusculares, cardiotoxicidade, e risco de parada cardíaca.

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Elemento	Origem na água e fatores de alteração	Papel na saúde e toxicidade
Mn	Está presente em quase todos os solos, principalmente na forma de dióxido de manganês, insolúvel em águas que contenham dióxido de carbono. Sob condições anaeróbicas, o dióxido de manganês é reduzido para as formas solúveis. Em águas naturais podem ocorrer em pequenas concentrações devido à lixiviação de minerais e solos. Maiores concentrações decorrem dos lançamentos de efluente industriais. Confere sabor, coloração marrom e turbidez às águas, além de formar depósitos em tubulações.	É essencial e está associado à formação de tecido conjuntivo, ossificação, crescimento, reprodução, metabolismo glicídico e lipídico. A deficiência de provoca perda de peso, dermatite transiente, náusea, vômito, mudanças na cor e lentificação do crescimento do cabelo e barba. Quando em doses tóxicas, em efeito cumulativo, provoca o manganismo, uma síndrome de parkinsonismo secundário à intoxicação, com sintomas de fraqueza, anorexia, dor muscular, apatia, fala lentificada, hipofonia, hipomímia e bradicinesia, e tal quadro pode ser irreversível.
Mo	Está presente na água superficial ou profunda em baixas concentrações. Contaminações antrópicas de aquíferos e águas superficiais advêm do uso de fertilizantes ricos nesse elemento-traço.	É um elemento-traço essencial para seres humanos e animais. Não há significativa bioacumulação no corpo humano. Não existem dados de toxicidade a curto ou longo prazo desse elemento em seres humanos.
Ni	É utilizado na produção de várias ligas, na fabricação de moedas, magnetos, baterias de acumulação, etc. Maiores concentrações provêm de efluentes de fábricas de tintas e de processos de galvanoplastia.	A ingestão de sais solúveis pode provocar alergia, náuseas, vômitos, diarreia e desordem respiratória.
NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	Contém nitrogênio em um estado oxidativo de relativa instabilidade. O nitrito também pode ser formado quimicamente em canos de distribuição de água por bactérias <i>Nitrosomonas</i> durante a estagnação do conteúdo de nitrato, em água potável pobre em oxigênio dentro de canos de aço galvanizado ou em sistemas de tratamento de água em que a cloração é utilizada para desinfecção e o processo não está suficientemente bem controlado	Provoca meta-hemoglobinemia, que culmina em cianose e, em altas concentrações, asfixia. Os lactentes são mais suscetíveis à meta-hemoglobinemia provocada pelo nitrito.
NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	É o íon estável de nitrogênio combinado nos sistemas oxigenados. A concentração nos corpos de água é normalmente baixa. Contaminação de águas superficiais e profundas é consequência de atividade agrícola, devido ao excesso de aplicação de fertilizantes inorgânicos nitrogenados e adubos orgânicos (estrume), ou proveniente do tratamento de águas residuais e da oxidação de resíduos nitrogenados nas fezes humanas e animais, inclusive nas fossas sépticas.	O nitrato em si não tem efeito tóxico em seres humanos, mas pode ser reduzido a nitrito no sistema gastrointestinal. Parece existir relação entre câncer gástrico e esofágico com a ingestão de nitrato.

Continua...

Tabela 5. Continuação.

<b>Elemento</b>	<b>Origem na água e fatores de alteração</b>	<b>Papel na saúde e toxicidade</b>
Pb	Em condições naturais apenas traços são encontrados nas águas, da ordem de 0,01 µg mL <sup>-1</sup> ou menos. Maiores concentrações são decorrentes da contaminação por efluentes de indústrias ou minas, ou como resultado da ação corrosiva em tubulações contendo este metal.	É um metal tóxico ao homem e animais. A principal via de absorção é a inalatória. Apresenta poder cumulativo no organismo. Quando assimilado pode desencadear uma série de perturbações: danos ao sistema nervoso central, podendo ocasionar epilepsia, convulsões e paralisia; redução da capacidade intelectual em crianças; diminuição da resistência frente a infecções; anemia; intoxicação crônica ou saturnismo, que pode levar à morte.
Se	É amplamente distribuído na crosta terrestre, geralmente em associação com minerais sulfurados. A concentração desse elemento-traço em corpos de águas é baixa e depende da geoquímica local.	É essencial para seres humanos, sendo que sua deficiência provoca cardiopatias e câncer. A ingestão excessiva provoca selenose, com deformidades da unhas, distúrbios gastrintestinais, apatia, dermatites e hálito fétido.
SO <sub>4</sub> <sup>-1</sup>	Ocorre naturalmente em vários minerais, como a barita, epsomita e gipsita, que dissolvidos contribuem para o conteúdo mineral da água. Fontes de contaminação antrópica de águas superficiais são os efluentes de minas e fundições, curtumes, fábricas de têxteis, papel e celulose.	Altas concentrações na água provocam sabor ofensivo. Não existem evidências que o sulfato na água potável possa causar efeitos adversos na saúde humana, entretanto alguns estudos indicam que pode ter efeito laxativo em altas concentrações, porém não provoca diarreia, desidratação ou perda de peso.
Sr	É um elemento-traço que ocorre naturalmente em rochas, solo, poeira, carvão, petróleo, água superficiais e subterrâneas, ar, plantas e animais. Não ocorre naturalmente na forma livre, mas na combinada devido à sua alta reatividade. A exposição humana ao estrôncio estável ocorre primariamente pela ingestão de água e alimentos, e em menor grau pela inalação.	É importante na mineralização óssea e dental, coagulação sanguínea, excitabilidade nervosa, contração muscular e secreção hormonal. A deficiência de estrôncio está relacionada à osteoporose senil. Não há evidência direta de toxicidade do estrôncio em seres humanos sob exposição ambiental normal. Altas doses orais de estrôncio em animais de laboratório provoca raquitismo.
Zn	É um elemento-traço amplamente distribuído na natureza e ocorre em pequenas quantidades em quase todas as rochas ígneas. Ocorre nas águas superficiais ou subterrâneas em pequenas concentrações. A água de torneira pode conter altas concentrações de zinco provenientes da corrosão de canos e tubulações metálicas revestidas desse elemento.	É essencial para o ser humano. A deficiência de zinco pode provocar hipogonadismo, nanismo, hipospermia, hipogeusia, hiposmia, retardo na cicatrização, déficit imunológico, intolerância à glicose, alterações no comportamento, apatia, alopecia, alergia cutânea, lesões de pele, cegueira noturna e leve anemia. Os principais efeitos da exposição de longo termo ao zinco são deficiência de cobre, anemia e erosão gástrica. Efeitos tóxicos agudos provocam insuficiência respiratória, febre, calafrios e gastroenterites.

Fonte: Lemes, 2001; OMS, 2006; NWQMS, 2004; Ferrini *et al.*, 1990; Czajka-Narins, 1998; Williams, 1997.

A contaminação da água por elementos maiores, menores e traço, seja de causa natural ou mesmo antropogênica, com impacto na saúde pública, é um fenômeno relativamente comum (Cortecci, 2003; Opas, 2001). Os processos naturais que contribuem para o aparecimento de elementos químicos nos sistemas aquáticos são o intemperismo de rochas, a lixiviação no perfil do solo, vulcanismo e terremotos (Guilherme *et al.*, 2005; Selinus, 2005). Entretanto a ação antrópica é relevante. A poluição aquática é comum, causada por atividades econômicas humanas. Cita-se, por exemplo, o caso da Baía de Minamata no Japão, em que a água do mar foi contaminada por metilmercúrio oriundo de dejetos industriais, ou o caso de várias cidades brasileiras, que lançam seus efluentes municipais sem nenhum tratamento nos leitos dos córregos e rios (Harada, 1995; Silva, 1999).

No Brasil, as fontes antropogênicas de elementos químicos para contaminação dos corpos de água estão associadas, principalmente, a atividades industriais e de mineração (carvão e jazidas minerais), além da geração de efluentes municipais (Guilherme *et al.*, 2005). A ação de garimpos clandestinos provoca contaminação da água por mercúrio (Pinheiro *et al.*, 2000). Curtumes e frigoríficos também jogam seus dejetos no leito dos rios, aumentando a carga aquática de cromo (Pereira & Lima, 2007). O esgoto doméstico também leva para os corpos aquáticos vários elementos-traço provenientes de detergentes e outras substâncias químicas utilizadas na rotina da higiene do lar (Hespanhol, 2003). As plantações, com seus agrotóxicos e inseticidas que tem a presença de vários metais pesados como seus componentes, recebem as chuvas que carregam para os cursos d'água essas substâncias (Ramalho *et al.*, 2000). Os lixões, que recebem inclusive lixo inapropriado, como baterias de carro, produzem o xorume, que também contamina o lençol freático e o leito dos rios (Pereira & Lima, 2007).

Diante desse contexto, somente a intervenção do poder público é insuficiente, mas é necessária toda uma gama de ações, oriundas da sociedade civil organizada, empresários, pesquisadores e organizações não-governamentais, orientadas para o diagnóstico ambiental, prevenção e recuperação dos corpos de água.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foi realizado um estudo de análise química multi-elementar de amostras de água obtidos nas ETAs dos municípios Água Limpa, Aloândia, Bom Jesus, Buriti Alegre, Cachoeira Dourada, Castelândia, Cromínia, Edealina, Edéia, Goiatuba, Inaciolândia, Itumbiara, Joviânia, Mairipotaba, Maurilândia, Morrinhos, Panamá, Pontalina, Porteirão, Quirinópolis, Turvelândia e Vicentinópolis.

A área pesquisada foi delimitada a partir do fracionamento de um grande projeto em desenvolvimento no Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde da Universidade Católica de Goiás, cujo tema é “Pesquisa nas ETAs, Análise de metais pesados, Qualidade de vida e Saúde no Estado de Goiás”. Considerando a divisão regional a partir de características sócio-econômicas, optou-se por vinte e dois municípios localizados, em sua maioria, na Região de Desenvolvimento Sul Goiano, sendo quatro municípios localizados na Região de Desenvolvimento Sudoeste Goiano. A área pesquisada faz parte da Mesorregião Sul Goiano, que engloba um total de oitenta e dois municípios.

Também foi feita uma ampla pesquisa bibliográfica sobre a área de estudo, sendo coletados dados epidemiológicos de mortalidade e morbidade, aspectos demográficos, sócio-econômicos, climáticos, hidrográficos e físicos, além de informações sobre saneamento básico da água, esgoto e lixo. Todos os dados foram comparados.

#### **3.1. Atividades de campo**

As atividades de campo seguiram as orientações do Manual Técnico PGAGEM-Brasil (Lins *et al.*, 2003). Foram utilizados equipamentos (GPS) para

georreferenciamento das estações de amostragem e kits para coleta de amostras de água. As equipes de coleta foram compostas por técnicos da CPRM. Cada estação de amostragem recebeu uma codificação alfanumérica derivada da inicial do nome dos técnicos do PGAGEM/CPRM, José (J) e Paulo Roberto (PR), que realizaram a coleta, acrescidas da letra A, que indica que é amostra de água, seguidas do número da amostra correspondente a ETA de cada município.

As amostras foram obtidas nos reservatórios de água tratada em cada ETA estudada, num total de 22 amostras (figura 1 e tabela 6), em junho de 2006. As amostras dos municípios de Castelândia, Porteirão, Turvelândia e Vicentinópolis foram obtidas diretamente dos poços artesianos que provêm água para suas respectivas ETAs.

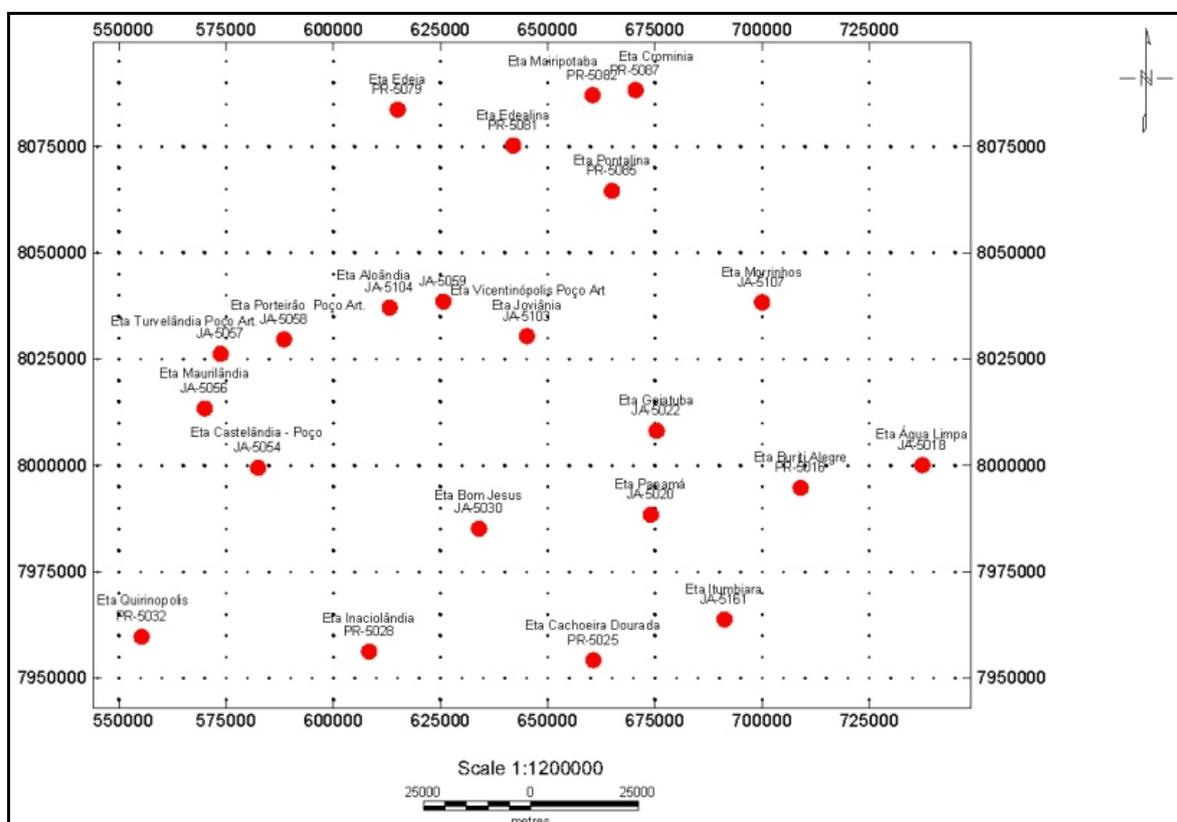


Figura 1. Mapa de amostragem da área de estudo.

Tabela 6. Amostras coletadas na área de estudo.

NumCampo	ZN	NumLabor.	X	Y	LAT(dec)	LONG(dec)	Toponímia
JA-5018	22	GHQ-502	737369	8000102	-18.074534	-48.757377	Eta Água Limpa
JA-5104	22	GHQ-534	613139	8037122	-17.750054	-49.932853	Eta Aloândia
JA-5030	22	GHQ-508	633985	7985174	-18.218303	-49.732917	Eta Bom Jesus
PR-5016	22	GHQ-574	708985	7994779	-18.125546	-49.024880	Eta Buriti Alegre
PR-5025	22	GHQ-577	660656	7954255	-18.495823	-49.478306	Eta Cachoeira Dourada
JA-5054	22	GHQ-526	582452	7999483	-18.091587	-50.220789	Eta Castelândia
PR-5087	22	GHQ-612	670465	8088250	-17.284407	-49.396337	Eta Cromínia
PR-5081	22	GHQ-606	641953	8075248	-17.403865	-49.663657	Eta Edealina
PR-5079	22	GHQ-604	614997	8083664	-17.329343	-49.917829	Eta Edéia
JA-5022	22	GHQ-506	675387	8008187	-18.007404	-49.343445	Eta Goiatuba
PR-5028	22	GHQ-580	608334	7956293	-18.480742	-49.973924	Eta Inaciolândia
JA-5161	22	GHQ-887	691224	7963820	-16.743165	-49.427676	Eta Itumbiara
JA-5103	22	GHQ-533	645132	8030440	-17.808559	-49.630686	Eta Joviânia
PR-5082	22	GHQ-607	660458	8087094	-17.295582	-49.490368	Eta Mairipotaba
JA-5056	22	GHQ-528	570010	8013445	-17.965839	-50.338837	Eta Maurilândia
JA-5107	22	GHQ-537	699966	8038376	-17.732561	-49.114259	Eta Morrinhos
JA-5020	22	GHQ-504	674020	7988422	-18.186084	-49.354687	Eta Panamá
PR-5085	22	GHQ-610	664971	8064563	-17.498841	-49.446201	Eta Pontalina
JA-5058	22	GHQ-530	588505	8029680	-17.818439	-50.164872	Eta Porteirão
PR-5032	22	GHQ-582	555270	7959762	-18.451446	-50.476587	Eta Quirinópolis
JA-5057	22	GHQ-529	573695	8026289	-17.849634	-50.304491	Eta Turvelândia
JA-5059	22	GHQ-531	627660	8038547	-17.736383	-49.795996	Eta Vicentinópolis

### 3.2. Atividades laboratoriais

Depois da coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Imunologia da Universidade Católica de Goiás, onde foram filtradas em papel Micropore 0,45 µm e refrigeradas a 4°C em frascos âmbar, sendo então encaminhadas para o Laboratório de Espectroscopia Atômica da Universidade Católica de Brasília.

No Laboratório de Espectroscopia Atômica foram realizadas as análises químicas de forma multi-elementar por ICP-AES (para os elementos Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, V, Zn, Be e Ti) e por cromatografia líquida (para brometo, cloreto, fluoreto, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato). Na tabela 7 apresenta-se o limite mínimo de detecção química elementar dos métodos usados para a análise geoquímica das amostras de água.

Tabela 7. Sensibilidade dos métodos de análise química multi-elementar da água

Elementos	Limite de Sensibilidade (mg/L)	Método
Al, Ca	0,1	ICP-AES
Ti	0,05	
Cr, Se, V	0,02	
As, Cu, Mg	0,01	
Mo, Pb	0,005	
Ba, B, Co, Fe, Ni	0,002	
Be, Cd, Li, Sr, Zn, Mn	0,001	
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,2	
NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-1</sup>	0,1	Cromatografia Líquida
Br <sup>-1</sup> , Cl <sup>-1</sup>	0,05	
F <sup>-1</sup>	0,01	

### 3.3. Tratamento dos dados

Os dados obtidos a partir da análise química das amostras de água foram submetidos ao tratamento estatístico usando-se o programa OASIS Montaj versão 6.1, com o módulo Chimera. Assim para cada elemento e composto químico estudado foram obtidos alguns parâmetros estatísticos como valores mínimos ( $x_{\min}$ ) e máximos ( $x_{\max}$ ) das concentrações, médias aritméticas (M) e desvio padrão (s), a partir dos quais foram calculados os valores de primeira, segunda e terceira ordens. Valores de terceira ordem são aqueles situados entre dois limites correspondentes respectivamente à média somada ao desvio padrão e à média somada ao dobro do desvio padrão. Valores de segunda ordem são aqueles situados entre o valores das somas da média e o dobro do desvio padrão e da média e o triplo do desvio padrão. Valores de primeira ordem, que correspondem às maiores concentrações encontradas, são aqueles acima do valor da média somada ao triplo do desvio padrão.

Após a obtenção dos parâmetros e limites estatísticos, foi confeccionada a matriz de correlação dos cátions e ânions dosados nas amostras de água utilizando-se o software OASIS. A matriz de correlação tem nível de significância de 95%. A partir

dessas determinações, foram definidas as associações geoquímicas (afinidades entre os elementos). Estas podem ser visualizadas através de mapas de distribuição que podem identificar áreas com excesso de elementos químicos potencialmente tóxicos, além de áreas com deficiência de elementos essenciais, sendo úteis para pesquisas tanto na área de geoquímica ambiental como da saúde (Maia, 2004). Dessa maneira, partindo das associações, foram confeccionados os mapas de distribuição dos elementos químicos selecionados, utilizando-se o *Geosoft Mapping and Processing System* (MPS), associado a um software de modelamento da empresa canadense Geosoft. Os mapas são apresentados em formas de figuras de acordo com as associações estabelecidas através das matrizes de correlação.

Os dados epidemiológicos foram processados em percentuais e apresentados em tabelas e gráficos. Também foi observada a correlação entre consumo de água e os agravos que acometem a população.

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

A área de estudo ocupa uma extensão de 23.809,423 Km<sup>2</sup> e tem uma população estimada em 326.388 habitantes, com densidade demográfica de 13,7 hab/Km<sup>2</sup> (IBGE, 2008a).

### **4.1. Localização**

A área de estudo (figura 2) compreende 22 municípios, que estão localizados na Mesorregião Sul de Goiás (IBGE, 2008b), incluindo a maioria dos municípios da Região de Planejamento Sul Goiano (Água Limpa, Aloândia, Bom Jesus, Buriti Alegre, Cachoeira Dourada, Cromínia, Edealina, Edéia, Goiatuba, Inaciolândia, Itumbiara, Joviânia, Mairipotaba, Morrinhos, Panamá, Pontalina, Porteirão e Vicentinópolis) (Sepin, 2008a) e quatro municípios da Região de Planejamento Sudoeste Goiano (Turvelândia, Maurilândia, Castelândia e Quirinópolis) (Sepin, 2008b).

### **4.2. Clima**

O clima da área de estudo é determinado por fatores dinâmicos que asseguram certa homogeneidade de clima característico de toda a região Centro-Oeste (Seplan, 2005). O clima caracteriza-se por possuir duas estações climáticas bem definidas, o que concorre para uma grande variação dos elementos climáticos (Seplan, 2007).

As estações climáticas são (Seplan, 2005 & 2007):

- Período chuvoso, nos meses de outubro a abril, com altos índices pluviométricos, onde ocorrem 95% das precipitações anuais (1100-2100 mm).

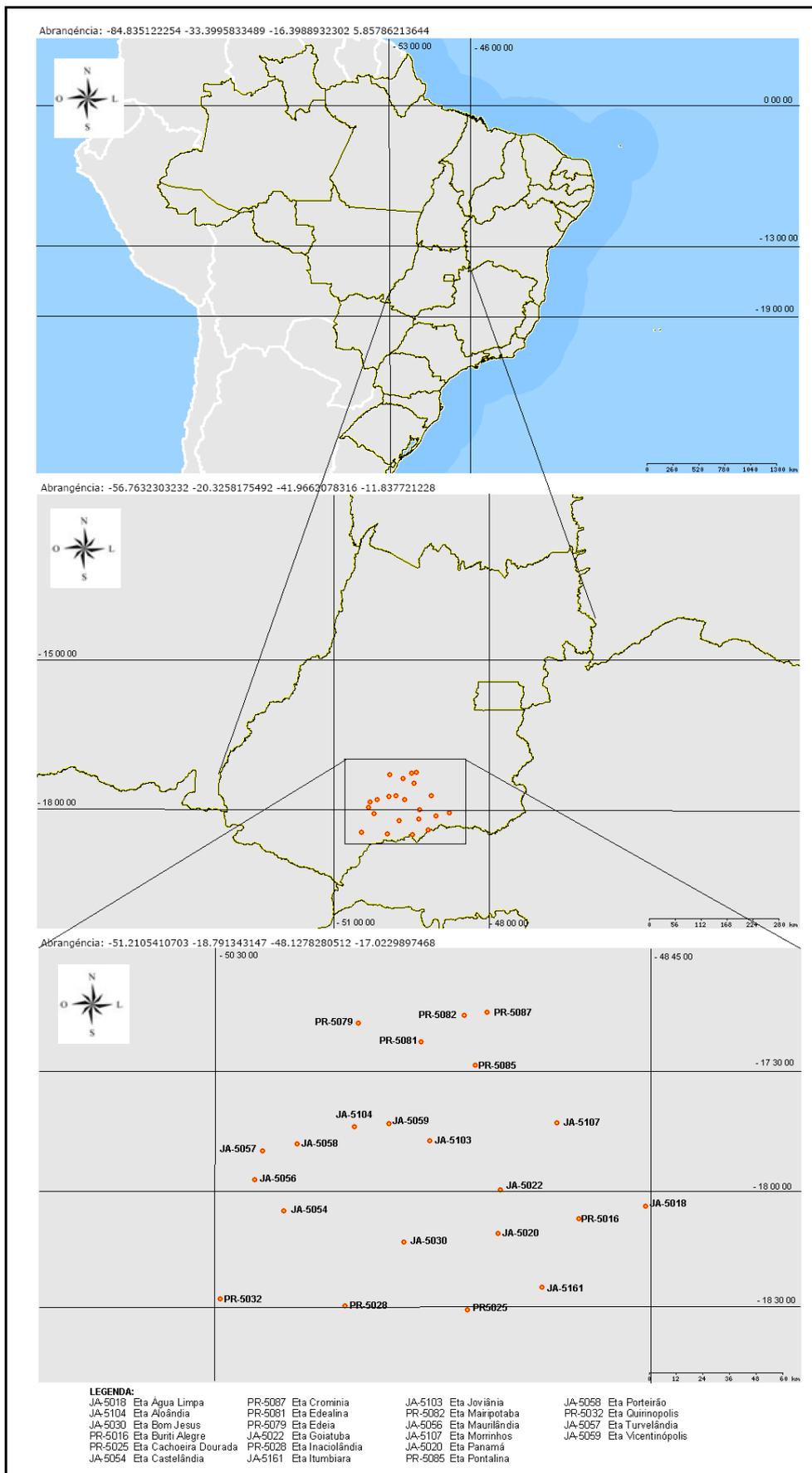


Figura 2. Localização da Área de estudo. (Modificado de Sieg, 2009).

- Período seco, com baixos índices pluviométricos (20-200 mm), representado pelos meses de junho, julho e agosto, com os meses de maio e setembro sendo os de transição entre as estações seca e úmida. Especialmente em agosto e setembro há grande quantidade de ventos e formação de redemoinhos, com circulação de muita poeira e cinza, esta derivada de queimadas.

A média anual de precipitação chuvosa é de 1.532mm (Seplan, 2007). O regime de chuvas na região deve-se quase que exclusivamente ao sistema de circulação atmosférica com pouca influência do relevo sobre as tendências gerais determinadas pelos fatores dinâmicos (Seplan, 2005).

As condições climáticas interferem na dispersão dos elementos químicos nos solos e sistemas aquáticos. O período chuvoso favorece a dispersão aquática dos elementos, lixiviados a partir dos solos pelo grande volume de água pluvial (Guilherme et al., 2005). O período seco favorece a dispersão dos elementos pelos ventos, levando a poluição atmosférica (OMS, 1989).

### **4.3. Hidrografia**

A área de estudo está incluída na Bacia do Paranaíba (Figura 3), que é a primeira em importância em Goiás quanto à área drenada, ocupação antrópica e importância econômica, abrigando 125 municípios goianos, entre eles Goiânia, Anápolis, Rio Verde, Jataí, Itumbiara e Santa Helena de Goiás. (Seplan, 2005).

A Bacia do Paranaíba localiza-se na porção centro-sul do Estado, ocupando 141.350,03 Km<sup>2</sup>. É representada pelos afluentes goianos da margem norte do Rio Paranaíba (Seplan, 2007).

O rio Paranaíba nasce na Serra da Mata da Corda no Estado de Minas Gerais a uma altitude de 1.140 m e percorre uma extensão de 1.120 Km até sua

desembocadura no rio Paraná. Os principais afluentes da Bacia do Paranaíba em Goiás são: rio Aporé, rio dos Bois, rio Claro, rio Corrente, rio Corumbá, rio Meia Ponte, rio Piracanjuba, rio São Marcos, rio Turvo, rio Verde, rio Verdão, rio Veríssimo (Seplan, 2005).

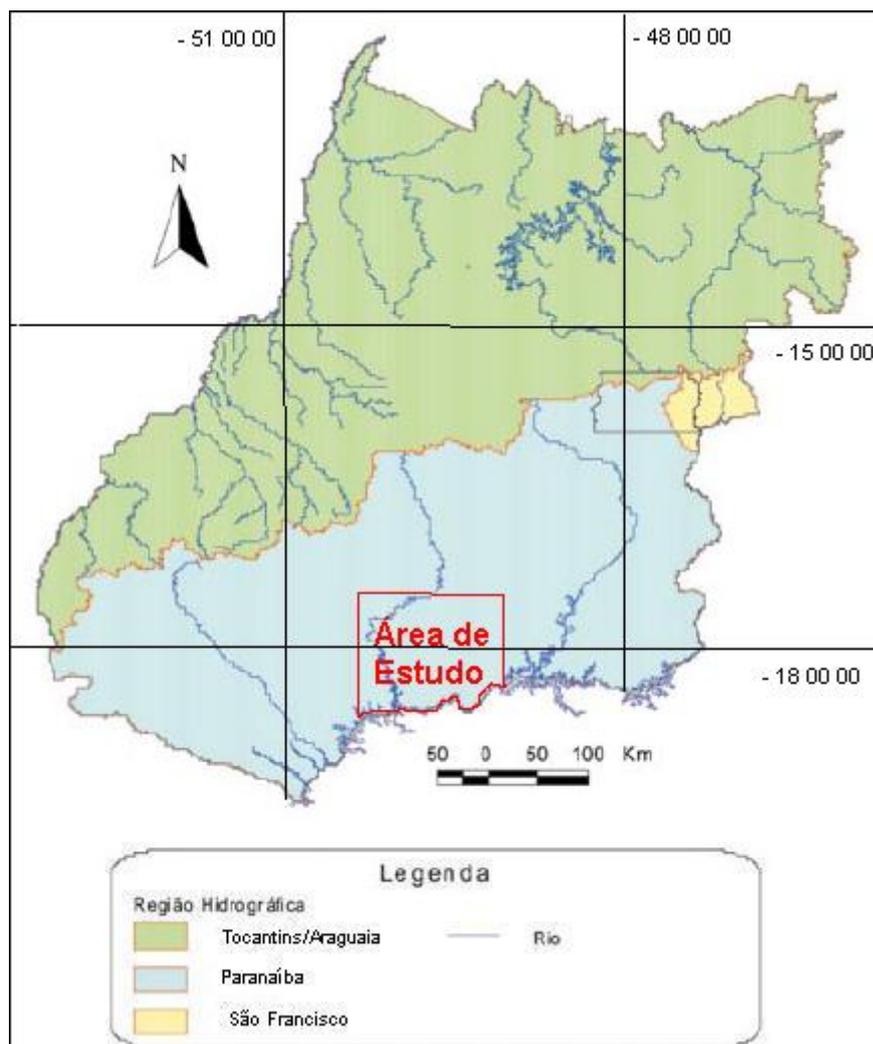


Figura 3. Mapa de hidrografia da área de estudo. (Modificado de Almeida *et al.*, 2006).

O Rio Paranaíba representa a maior força econômica de Goiás, com quatro hidrelétricas em operação, gerando perto de cinco milhões de quilowatts, com o melhor solo em aproveitamento e poucos trechos de navegabilidade (Seplan *apud* Vitor, 2006).

#### 4.4. Aspectos físicos

Observa-se na área de estudo (figura 4) que há duas grandes unidades geotectônicas: Bacia do Paraná, de idade Paleo-mesozóica, e a Faixa Brasília, de idade neoproterozóica (Moreira *et al.*, 2008).

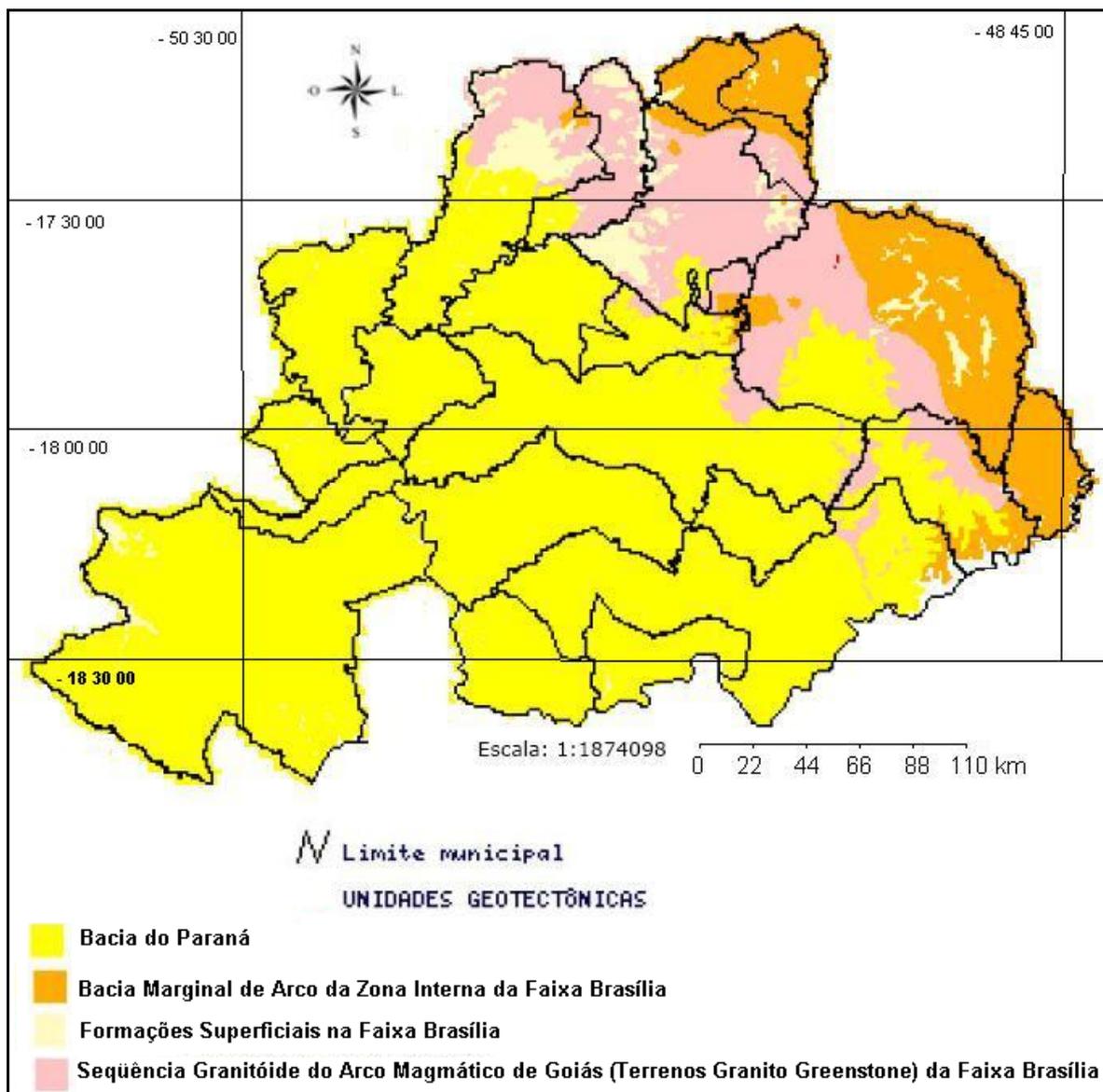


Figura 4. Mapa de unidades geotectônicas da área de estudo. (Fonte: Sieg, 2008a; Moreira *et al.*, 2008).

Há o predomínio da unidade geotectônica Bacia do Paraná, desde o extremo oeste (Vicentinópolis), sudoeste (Quirinópolis) e sul (Cachoeira Dourada) até o

centro da região (Morrinhos, Joviânia). No extremo norte (Cromínia, Mairipotaba) e leste (Morrinhos, Água Limpa) ocorre a Bacia Marginal de Arco da Zona Interna da Faixa Brasília. Numa faixa da área que vai desde norte (Edéia, Edealina) até o sudeste (Buriti Alegre) ocorrem compartimentações da unidade Faixa Brasília: Terrenos Granito Greenstone (Arco Magmático de Goiás) e Formações Superficiais.

A unidade litoestratigráfica B do Grupo Araxá, de idade Mesoproterozóica, é composta principalmente por xistos constituídos por calcita, clorita, biotita, quartzo, grafita e hornblenda (Mamede, 2000). Estes minerais tem em sua composição química principalmente cálcio, carbono, oxigênio, hidrogênio, alumínio e silício, além de magnésio, ferro, flúor, cromo, manganês, titânio, potássio e sódio (Machado *et al.*, 2009).

Uma grande faixa da unidade litoestratigráfica B do Grupo Araxá ocorre de nordeste a sudeste da área de estudo (figura 5) e está relacionada com a Zona Interna da unidade geotectônica Faixa Brasília. Essa grande unidade geológica engloba os pontos de amostragem dos municípios de Água Limpa e Cromínia.

A unidade litoestratigráfica Granitos Tipo Aragoiânia da Suíte Granitos Sintectônicos, de idade Neoproterozóica, é relacionada à Zona Interna da Faixa Brasília e compreende um conjunto de corpos graníticos a duas micas, peraluminosos do tipo S, de coloração cinza claro, granulação fina a média, às vezes com textura milonítica a ultramilonítica, constituídos principalmente de plagioclásio (oligoclásio), feldspato potássico, quartzo, biotita e granada, e caracterizados como biotita-muscovita metagranitos a metagranodioritos. Esses granitos encontram-se encaixados preferencialmente nas rochas do Grupo Araxá (Mamede, 2000).

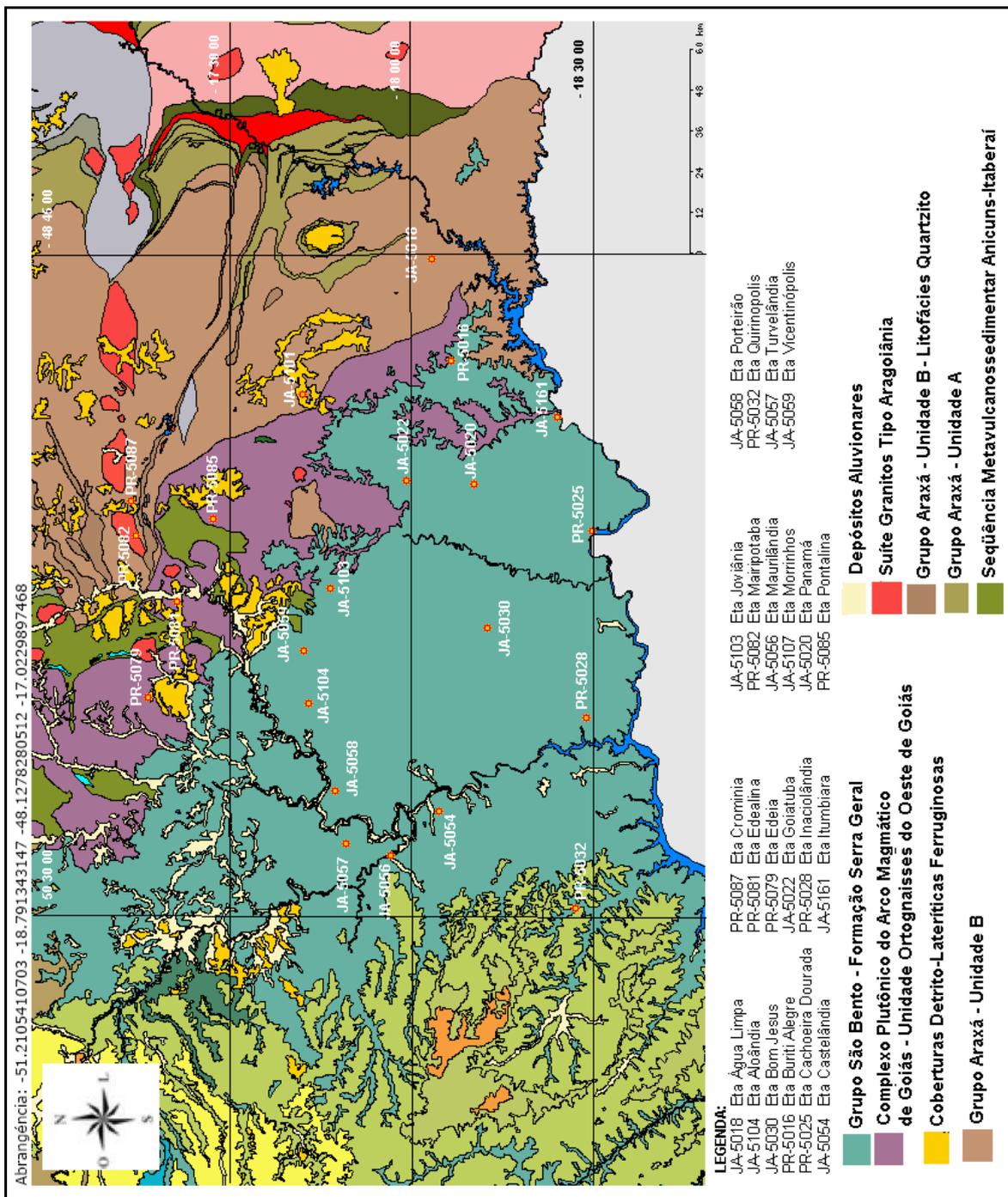


Figura 5. Mapa Litoestratigráfico da Área de Estudo (Modificado de: Sieg, 2009).

Os minerais que compõem as rochas da unidade Granitos Tipo Aragoiânia são quimicamente constituídos por alumínio, sílica, oxigênio, hidrogênio, flúor, ferro, potássio, cálcio, magnésio, cromo, manganês e titânio (Machado *et al.*, 2009).

Nesta unidade litoestratigráfica ocorre o ponto de amostragem de Mairipotaba (figura 5).

A unidade litoestratigráfica Ortognaisses do Oeste de Goiás, de Idade Neoproterozóica, é constituída por gnaisses granitóides neoproterozóicos, que apresentam natureza cálcica a calci-alcalina, coloração acinzentada a rosada, granulação média a grossa, textura granoblástica a porfirítica, e estrutura fitada resultante da alternância de bandas máficas ricas em hornblenda e biotita, e bandas félsicas formadas por quartzo e feldspato. Localmente, ocorrem migmatitos do tipo metatexito (Mamede, 2000).

Os minerais que constituem a unidade Ortognaisses do Oeste de Goiás tem em sua composição química principalmente oxigênio, hidrogênio, silício, alumínio, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, flúor, além de manganês e titânio (Machado *et al.*, 2009).

Uma grande faixa da unidade Ortognaisses do Oeste de Goiás (figura 5), que se relaciona à Seqüência Granitóide do Arco Magmático de Goiás, da unidade geotectônica Faixa Brasília (figura 4), ocorre do norte ao sudeste da área de estudo, incluindo os pontos de amostragem dos municípios de Edéia, Edealina e Pontalina.

A Formação Serra Geral do Grupo São Bento, de Idade Mesozóica (Período Juro-Cretáceo), compreende um espesso pacote de rochas vulcânicas de natureza basáltica, sendo associados *sills* e diques de diabásio. Sua importância econômica está restrita na utilização para fins da construção civil, na produção de brita, paralelepípedos e pedras de revestimentos (Mamede, 2000).

As rochas da Formação Serra Geral são constituídas pelos minerais plagioclásio, piroxênio, olivina, magnetita e ilmenita (Blatt *et al.*, 2006), tendo então em sua

composição química principalmente alumínio, silício e oxigênio, além de sódio, cálcio, ferro, magnésio, titânio, crômio, manganês, escândio, vanádio, zinco e lítio (Machado *et al.*, 2009).

Pode-se observar que na área de estudo a unidade litoestratigráfica predominante é a Formação Serra Geral (figura 5), e ela relaciona-se com a unidade geotectônica da Bacia do Paraná (figura 4). Os pontos de amostragem dos municípios de Turvelândia, Vicentinópolis, Porteirão, Joviânia, Maurilândia, Castelândia, Goiatuba, Aloândia, Bom Jesus, Quirinópolis, Panamá, Buriti Alegre, Itumbiara, Cachoeira Dourada e Inaciolândia ocorrem nessa grande unidade geológica.

A unidade Cobertura Detrito-Laterítica Ferruginosa, de idade supostamente terciária/quaternária, é caracterizada por latossolos vermelhos amarronzados, estrutura indefinida e textura areno-argilosa, com predominância de hidróxido de ferro (goethita) e subordinadamente caulinita e gibsita e mostra o desenvolvimento de perfis lateríticos maduros e imaturos, onde ocorrem níveis de linhas de pedras, com predominância de fragmentos angulosos de quartzo, geralmente dispostos na porção superior dos mesmos (Mamede, 2000).

Os elementos que fazem parte da composição mineral da Cobertura Detrito-Laterítica Ferruginosa são principalmente o ferro e oxigênio, além de hidrogênio, alumínio e silício (Machado *et al.*, 2009).

A unidade Cobertura Detrito-Laterítica Ferruginosa relaciona-se a ocorrência de Formações Superficiais Geotectônicas (figura 4), no norte e leste da área de estudo, no Arco Magmático e na Zona interna da Faixa Brasília. O ponto de amostragem do município de Morrinhos ocorre nesta grande unidade geológica.

Existem outras unidades litoestratigráficas, como os Depósitos Aluvionares, Grupo Araxá – unidade A, Grupo Araxá - Unidade B - Litofácies Quartzito, Seqüência Metavulcanossedimentar Anicuns Itaberaí, além de outras. Todavia, não existem ETAs nessas outras unidades litoestratigráficas, por isto elas não foram abordadas nesta pesquisa.

Na área de estudo, segundo Mamede (2000), em relação à geomorfologia, predomina em sua maior parte (sul, sudeste, oeste, noroeste e centro) a unidade Superfície do Planalto Rebaixado da Bacia Paraná, que é parte da Região dos Planaltos Areníticos – Basálticos Interiores (figura 6). Essa superfície tem caráter interdenudacional e reproduz paisagens muito homogêneas interrompidas por residuais de topos planos com bordas escarpadas que fazem parte da unidade Patamares da Serra do Aporé.

Ao norte, nordeste e leste da área de estudo (figura 6) ocorrem a unidade Planalto do Alto Tocantins – Paranaíba, que é parte da Região do Planalto Central Goiano, e a unidade Superfície de Goiânia, que é parte da Região das Superfícies Aplanadas (Mamede, 2000). A Região do Planalto Central Goiano apresenta intensa dissecação, com feições de relevo resultante da exumação de estruturas dobradas no decorrer de vários ciclos tectônicos, favorecida por fatores de origem climática (Mamede, 2000). A Superfície Goiânia, que tem altitudes entre 600 e 850 m, apresenta formas de relevo com amplos interflúvios, seguidos de setores com dissecação de topos convexos e tabulares de dimensões menores, com formações superficiais de textura argilosa e arenosa (Mamede, 2000).

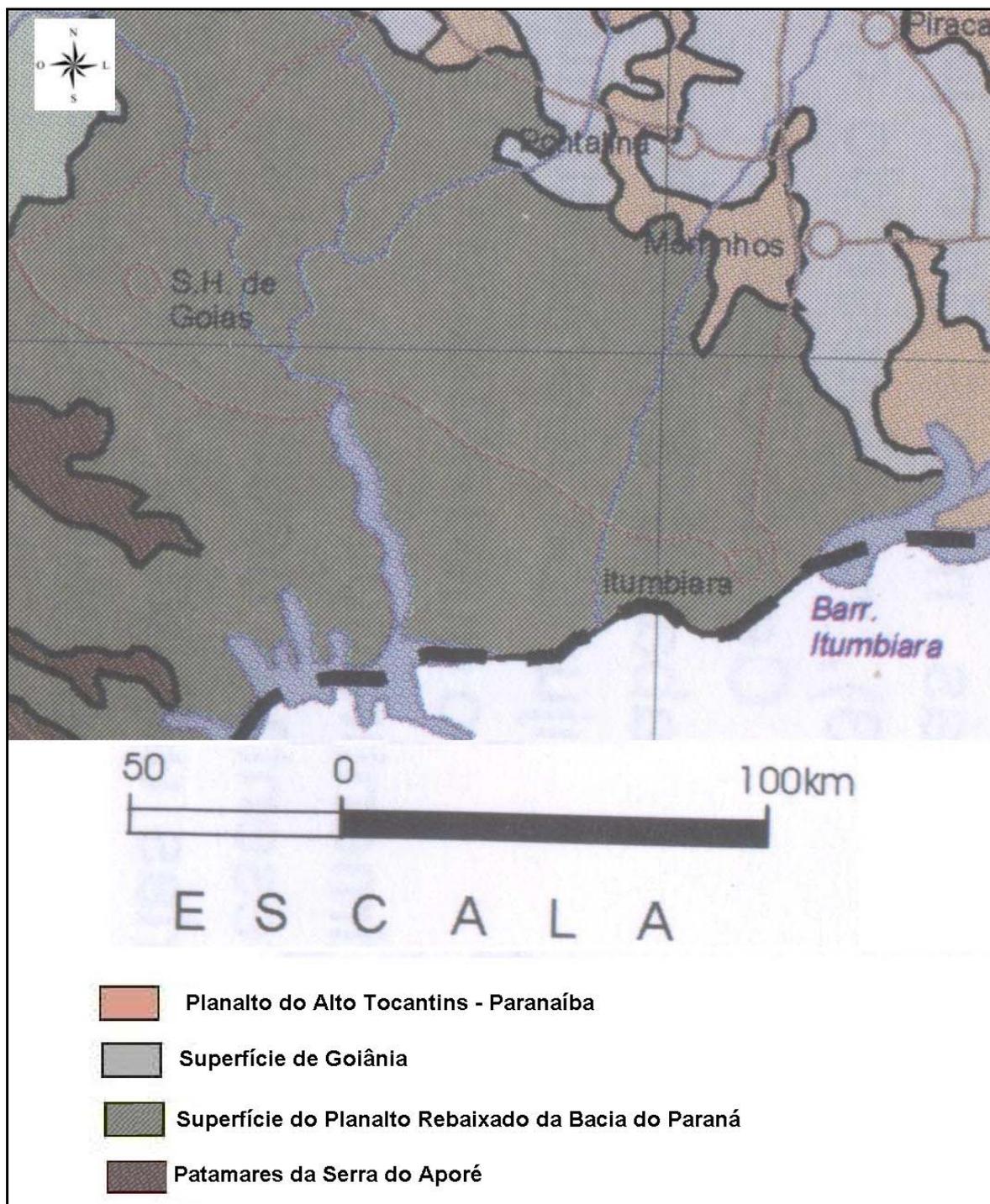


Figura 6. Mapa de geomorfologia da área de estudo (Modificado de Mamede, 2000).

Dentre os solos da área de estudo (Sieg, 2008b), predominam os latossolos, especialmente os de textura argilosa ou muito argilosa, que estão presentes numa grande faixa do norte ao sul da região. No extremo sudeste, norte e sudoeste, também ocorrem os cambissolos, argissolos, neossolos e gleissolos (ver figura 7).

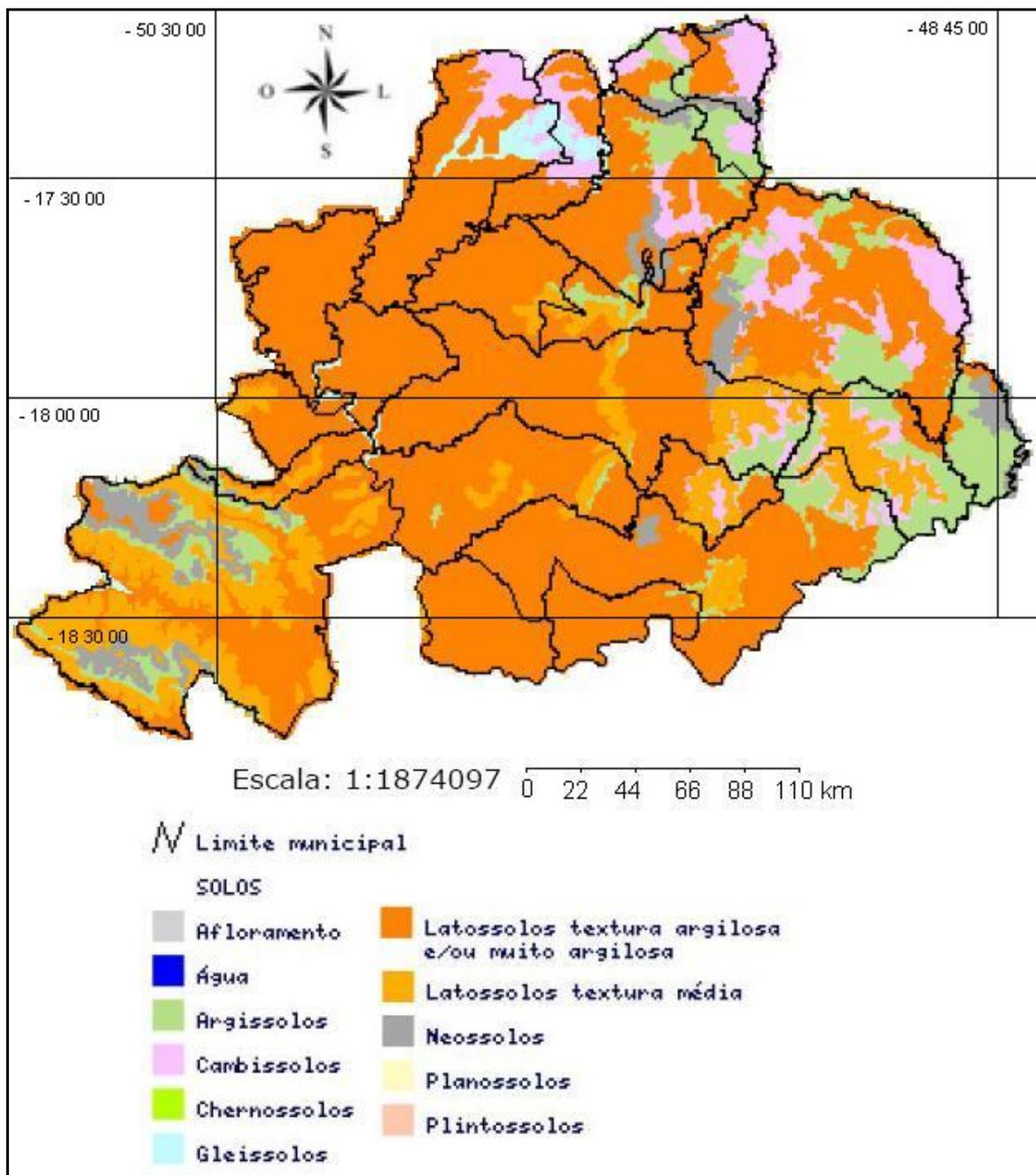


Figura 7. Mapa de solos da área de estudo. (Fonte: Sieg, 2008b).

Em relação ao uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo (Sieg, 2008b), verifica-se um predomínio de pastagens e culturas anuais (Figura 8). Em menor escala, ocorrem pequenas áreas de preservação de cerrado de vários tipos, espalhadas entre as pastagens e zonas de agricultura (Sieg, 2008b).

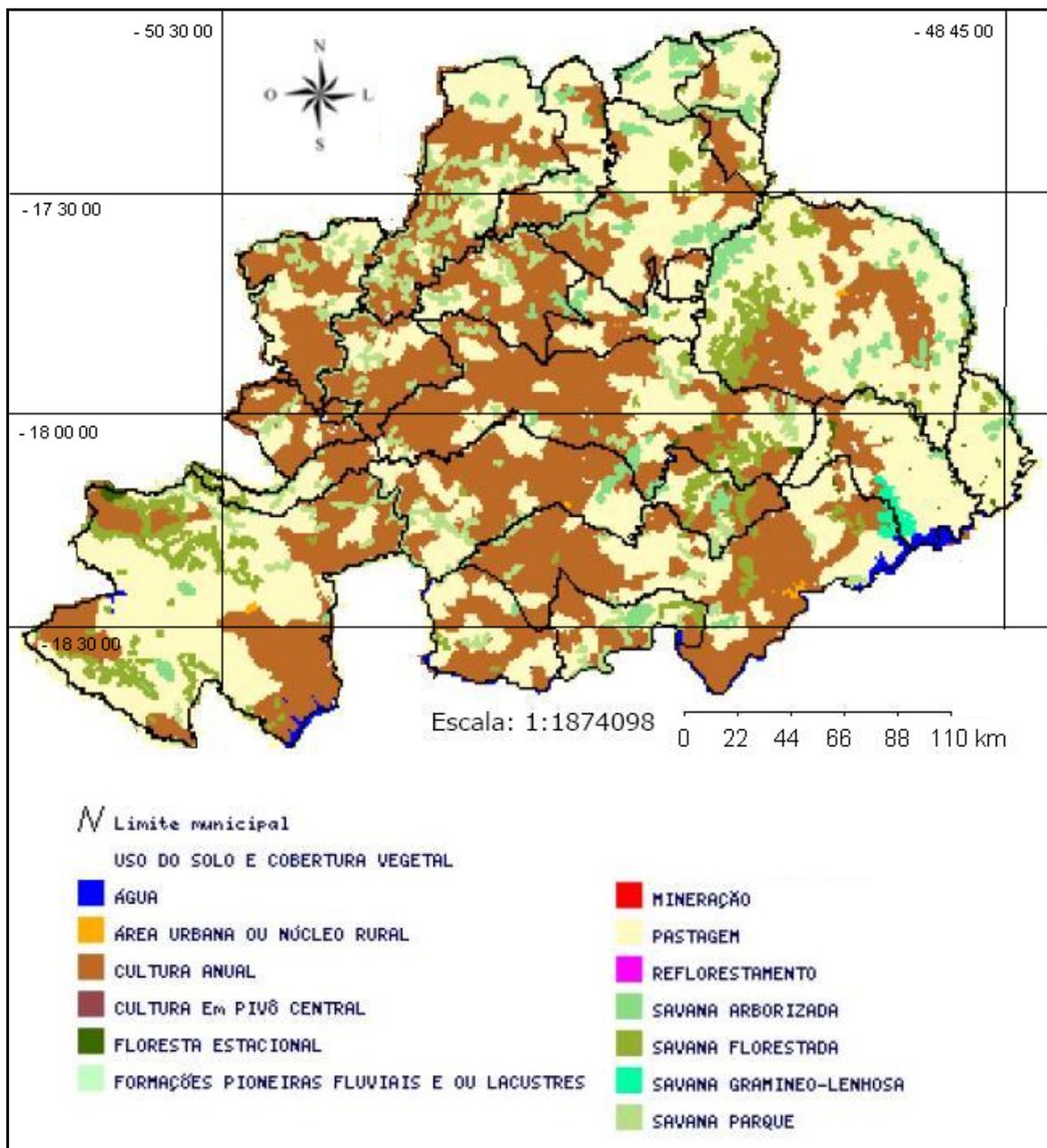


Figura 8. Mapa do uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo (Fonte: Sieg, 2008b).

#### 4.5. Aspectos sócio-econômicos

A área de estudo representa aproximadamente 7% da área total do Estado de Goiás e possui aproximadamente 5,6% da população goiana (tabela 8). Assim, tem uma densidade demográfica média menor que a do Estado. Verifica-se que a

população é predominantemente urbana, seguindo o padrão goiano de distribuição demográfica, sendo que a proporção de população urbana (84,5%) da área pesquisada é um pouco menor que a do Estado (87,9%).

Tabela 8. População estimada, área total, densidade demográfica estimada, lei de criação e município de origem dos municípios da área de estudo.

Municípios	População Estimada jul/08 (hab)	Área total (Km <sup>2</sup> )	Densidade Demográfica Estimada jul/08 (hab/Km <sup>2</sup> )	População (Censo IBGE 2000)		
				Urbana	Rural	Total
Água Limpa	2.121	452,856	4,7	1554	646	2200
Aloândia	2.121	102,160	20,8	1735	393	2128
Bom Jesus de Goiás	20.668	1.405,218	14,7	14746	1511	16257
Buriti Alegre	8.485	897,394	9,5	7371	1347	8718
Cachoeira Dourada	7.666	521,130	14,7	3940	4585	8525
Castelândia	3.590	297,428	12,1	3491	391	3882
Cromínia	3.725	369,917	10,1	2717	943	3660
Edealina	3.822	603,652	6,3	2466	1337	3803
Edéia	10.577	1.461,519	7,2	8107	2116	10223
Goiatuba	32.220	2.475,107	13,0	27806	3324	31130
Inaciolândia	5.887	688,398	8,6	4058	1181	5239
Itumbiara	91.843	2.461,280	37,3	77123	4307	81430
Joviânia	6.918	454,884	15,2	5978	926	6904
Mairipotaba	2.775	460,975	6,0	1488	915	2403
Maurilândia	11.367	393,793	28,9	8437	532	8969
Morrinhos	40.512	2.846,191	14,2	30929	6061	36990
Panamá	2.678	433,759	6,2	1943	833	2776
Pontalina	16.688	1.428,194	11,7	13382	3174	16556
Porteirão	3.129	603,917	5,2	2436	879	2823
Quirinópolis	39.485	3.780,173	10,4	30822	5690	36512
Turvelândia	4.020	934,260	4,3	2289	1235	3524
Vicentinópolis	6.091	737,251	8,3	4927	1088	6015
<b>Total da área de estudo</b>	<b>326.388</b>	<b>23.809,456</b>	<b>13,7</b>	<b>257745</b>	<b>43414</b>	<b>300667</b>
<b>Total do Estado</b>	<b>5.844.996</b>	<b>340.086,698</b>	<b>17,2</b>	<b>4396645</b>	<b>606583</b>	<b>5003228</b>

Fonte: Seplan, 2005; Sepin, 2008a & 2008b.

O IDH-M da área de estudo está um pouco abaixo da média do IDH-M do Estado (tabela 8), entretanto o PIB per capita da área de estudo está bem acima da média goiana, inclusive com alguns municípios tendo o dobro, triplo e quádruplo

do PIB per capita de Goiás. O PIB da área de estudo representa aproximadamente 8,7% do PIB total de Goiás.

Tabela 9. IDH-M, PIB e PIB *per capita* de cada município da área de estudo.

Municípios	2000					2004	
	IDH-M				Ranking	PIB (R\$ mil)	PIB <i>per capita</i> (R\$)
	Longevidade	Educação	Renda	IDH-M			
Água Limpa	0,696	0,841	0,681	0,739	105°	20.565	8.807
Aloândia	0,726	0,826	0,678	0,743	93°	9.406	4.279
Bom Jesus de Goiás	0,791	0,836	0,688	0,772	38°	220.718	12.619
Buriti Alegre	0,749	0,845	0,68	0,758	60°	57.718	6.630
Cachoeira Dourada	0,784	0,818	0,676	0,759	56°	285.608	33.455
Castelândia	0,759	0,772	0,665	0,732	139°	27.720	6.481
Cromínia	0,772	0,856	0,679	0,769	40°	20.066	5.290
Edealina	0,816	0,824	0,663	0,768	41°	45.862	12.456
Edéia	0,741	0,83	0,705	0,759	57°	110.453	10.179
Goiatuba	0,812	0,877	0,746	0,812	4°	452.348	14.234
Inaciolândia	0,716	0,773	0,662	0,717	180°	46.552	8.646
Itumbiara	0,749	0,877	0,719	0,782	27°	1.196.285	14.083
Joviânia	0,762	0,859	0,739	0,787	18°	58.854	8.230
Mairipotaba	0,762	0,836	0,685	0,761	51°	20.928	9.223
Maurilândia	0,734	0,8	0,644	0,726	157°	49.949	5.089
Morrinhos	0,807	0,861	0,75	0,806	6°	306.667	7.814
Panamá	0,739	0,82	0,642	0,734	128°	25.421	8.715
Pontalina	0,804	0,846	0,765	0,805	8°	105.930	6.184
Porteirão	0,708	0,765	0,699	0,724	162°	57.157	19.481
Quirinópolis	0,783	0,866	0,69	0,78	32°	260.714	6.923
Turvelândia	0,651	0,764	0,641	0,685	220°	114.604	28.075
Vicentinópolis	0,798	0,819	0,701	0,773	37°	80.684	12.577
<b>Total da área de estudo</b>	<b>0,757</b>	<b>0,828</b>	<b>0,691</b>	<b>0,759</b>	—	<b>3.574.209</b>	<b>11.340</b>
<b>TOTAL DO ESTADO</b>	<b>0,745</b>	<b>0,866</b>	<b>0,717</b>	<b>0,776</b>	<b>8°</b>	<b>41.316.491</b>	<b>7.501</b>

Fonte: Sepin, 2008a & 2008b.

A área de estudo produz aproximadamente 16% do total de grãos e 17% do total de leite bovino do Estado de Goiás, tem 9% do rebanho total de bovinos, 10% do rebanho de suínos, 7% do rebanho de aves (Sepin, 2008a & 2008b). Assim, a região estudada apresenta uma economia baseada na produção agropecuária e agroindustrial.

A média das taxas de analfabetismo da área de estudo (por volta de 13%) estão acima da média goiana (10,8%). O valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis pelos domicílios particulares permanentes é abaixo do valor médio goiano (Sepin, 2008a & 2008b).

Desta maneira verifica-se que a área de estudo apresenta uma economia representativa para o Estado de Goiás, entretanto a renda não está bem distribuída e a qualidade de vida da maioria da população não é boa, um quadro que se equipara à realidade nacional de má distribuição de renda e serviços.

## 5. RESULTADOS

Apresenta-se a seguir os resultados da análise multi-elementar das amostras de água e os dados epidemiológicos do quadro de saúde pública da área de estudo.

### 5.1. Resultados da Análise Geoquímica da Água

Os resultados dos valores encontrados para cada elemento químico são apresentados na tabela 10, exceto as concentrações de Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Se, V, Be, Ti, Mo, NO<sub>2</sub>, Br e PO<sub>4</sub>, que apresentaram valores abaixo dos limites mínimos de detecção química dos métodos utilizados (ICP-AES e Cromatografia Líquida) e por isto são apresentados no apêndice 1. Quase todas as concentrações de chumbo também apresentaram valores abaixo do limiar de detecção do método, exceto a amostra da ETA de Cromínia, por isto o chumbo também foi incluído na tabela 10. Esta ainda apresenta os VMP recomendados pelo Conama (2006 e 2008) para águas superficiais (Resolução n. 357/2005) e aquíferos (Resolução n. 396/2008), pelo MS (2004) na Portaria n. 518/2004, pela EPA (2008; EPA *apud* ATDSR, 2004) e pela OMS no seu “Guidelines for Drinking-water Quality” (OMS, 2006).

As recomendações nacionais e internacionais supracitadas são baseadas em pesquisas que determinam o limiar de intoxicação para os elementos na água. Alguns elementos, como o cálcio e o magnésio, não tem um risco evidente de intoxicação, mas tais substâncias provocam modificações na cor e no sabor da água, tornando-a imprópria para consumo (NWQMS, 2004; OMS, 2006; EPA, 2008). Para o estrôncio não existe recomendação nacional de VMP, somente a EPA (ATDSR, 2004) estabelece valor de referência para ele (4 mg/L).

Tabela 10. Concentrações (mg/L) dos elementos químicos de amostras de água das ETAs de 22 municípios da Mesorregião Sul Goiano e referência nacional e internacional de VMP respectivo a cada elemento.

ETA por Município	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Pb	Sr	Zn	F	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
Água Limpa	0,010	8,36	0,004	4,15	0,003	0,005	0,049	0,003	0,59	1,69	0,70	6,40
Aloândia	0,019	5,28	0,004	1,64	0,001	0,005	0,031	0,004	0,16	0,06	0,10	0,70
Bom Jesus	0,016	4,71	0,006	0,99	0,002	0,005	0,024	0,004	0,53	0,76	0,30	3,10
Buriti Alegre	0,010	4,35	0,025	0,84	0,002	0,005	0,020	0,011	0,67	1,22	1,40	2,50
Cachoeira Dourada	0,012	2,84	0,056	1,11	0,001	0,005	0,019	0,004	0,53	1,51	0,80	2,60
Castelândia (PA) <sup>1</sup>	0,027	9,42	0,004	3,12	0,006	0,005	0,089	0,039	0,16	0,05	1,30	0,10
Cromínia	0,039	5,36	0,032	0,49	0,001	0,041	0,016	0,017	0,57	1,54	0,70	3,40
Edealina	0,027	5,54	0,019	2,13	0,001	0,005	0,061	0,001	0,87	3,06	0,80	7,90
Edéia	0,061	34,90	0,004	4,71	0,001	0,005	0,172	0,002	1,06	2,53	0,80	10,80
Goiatuba	0,016	4,21	0,005	0,32	0,008	0,005	0,018	0,016	0,56	0,72	0,40	1,60
Inaciolândia	0,021	5,45	0,034	1,17	0,018	0,005	0,034	0,005	0,84	1,22	0,50	4,80
Itumbiara	0,016	2,42	0,012	0,70	0,041	0,005	0,015	0,145	0,84	3,97	0,38	4,91
Joviânia	0,021	4,87	0,037	1,22	0,001	0,005	0,024	0,003	0,55	0,59	0,60	2,60
Mairipotaba	0,032	17,80	0,005	4,03	0,019	0,005	0,159	0,011	0,78	5,86	0,30	31,90
Maurilândia	0,016	2,15	0,008	0,89	0,004	0,005	0,018	0,016	0,76	0,88	0,10	2,10
Morrinhos	0,007	1,66	0,004	0,30	0,002	0,005	0,007	0,013	0,29	0,23	307,80	1,60
Panamá	0,020	1,79	0,016	0,48	0,003	0,005	0,015	0,011	0,30	3,04	3,30	1,90
Pontalina	0,031	9,46	0,004	4,65	0,006	0,005	0,053	0,002	0,66	2,83	1,70	15,30
Porteirão (PA) <sup>1</sup>	0,016	2,57	0,023	0,66	0,001	0,005	0,018	0,012	0,16	1,13	2,00	0,40
Quirinópolis	0,040	9,16	0,022	3,38	0,005	0,005	0,057	0,021	0,76	2,76	17,00	8,30
Turvelândia (PA) <sup>1</sup>	0,002	8,52	0,052	3,82	0,008	0,005	0,087	0,010	0,17	9,59	3,60	0,20
Vicentinópolis (PA) <sup>1</sup>	0,008	6,18	0,006	2,68	0,001	0,005	0,044	0,005	0,07	0,05	0,40	0,10
<b>Valores de Referência</b>												
Conama águas superficiais <sup>2</sup>	0,7	250	0,3	250	0,1	0,01	—	0,18	1,40	250	10	250
Conama aquífero <sup>3</sup>	0,7	—	0,3	—	0,1	0,01	—	5	1,50	250	10	250
MS água potável <sup>4</sup>	0,7	—	0,3	—	0,1	0,01	—	5	1,50	250	10	250
OMS água potável <sup>5</sup>	0,7	250	0,3	250	0,4	0,01	—	3	1,30	250	50	500
EPA água potável <sup>6</sup>	2	—	0,3	—	0,05	0,015	4	5	4,00	250	10	250

<sup>1</sup> Água coletada em poço artesiano (PA).

<sup>2</sup> VMP para água superficiais Classe 1 e 2 segundo Resolução n. 357/2005 do Conama (2006).

<sup>3</sup> VMP de águas para consumo humano proveniente de aquíferos segundo Resolução n. 396/2008 do Conama (2008).

<sup>4</sup> VMP para água potável segundo Portaria n. 518/2004 do MS (Brasil, 2004).

<sup>5</sup> VMP para água potável segundo o "Guidelines for Drinking-water Quality" da OMS (OMS, 2006).

<sup>6</sup> VMP para água potável segundo a EPA (2008; EPA *apud* ATDSR, 2004).

Verifica-se que somente os valores de chumbo da amostra de Cromínia e os de Nitrato das amostras de Morrinhos e Quirinópolis estão acima dos VMP recomendados nacional e internacionalmente.

Os parâmetros estatísticos, como valores mínimos ( $x_{\min}$ ) e máximos ( $x_{\max}$ ) das concentrações, médias aritméticas (M) e desvio padrão (s), a partir dos quais foram calculados os valores de primeira, segunda e terceira ordens, são apresentados na tabela 11.

Tabela 11. Sumário estatístico das concentrações de cada elemento químico dosado nas amostras de água das ETAs de vinte e dois municípios da Mesorregião Sul de Goiás.

Elemento	$x_{\min}$	$x_{\max}$	M	S	1ª Ordem $x \geq (M+3s)$	2ª Ordem $(M+2s) \leq x < (M+3s)$	3ª Ordem $(M+s) \leq x < (M+2s)$
Ba	0,002	0,061	0,018	0,009	$x \geq 0,046$	$0,046 \leq x < 0,037$	$0,037 \leq x < 0,028$
Ca	1,66	34,90	5,22	2,61	$x \geq 13,05$	$13,05 \leq x < 10,44$	$10,44 \leq x < 7,83$
Fe	0,004	0,056	0,014	0,011	$x \geq 0,048$	$0,048 \leq x < 0,037$	$0,037 \leq x < 0,025$
Mg	0,30	4,71	1,71	1,33	$x \geq 5,69$	$5,69 \leq x < 4,36$	$4,36 \leq x < 3,04$
Mn	0,001	0,041	0,004	0,004	$x \geq 0,016$	$0,016 \leq x < 0,012$	$0,012 \leq x < 0,008$
Pb	0,005	0,041	0,007	0,007	$x \geq 0,029$	$0,029 \leq x < 0,022$	$0,022 \leq x < 0,014$
Sr	0,007	0,172	0,036	0,024	$x \geq 0,109$	$0,109 \leq x < 0,084$	$0,084 \leq x < 0,060$
Zn	0,001	0,145	0,009	0,006	$x \geq 0,027$	$0,027 \leq x < 0,021$	$0,021 \leq x < 0,015$
Cl	0,05	9,59	1,49	1,17	$x \geq 5,00$	$5,00 \leq x < 3,83$	$3,83 \leq x < 2,66$
F	0,07	1,06	0,50	0,26	$x \geq 1,27$	$1,27 \leq x < 1,01$	$1,01 \leq x < 0,75$
NO <sub>2</sub>	0,10	307,80	1,01	0,98	$x \geq 3,95$	$3,95 \leq x < 2,97$	$2,97 \leq x < 1,99$
SO <sub>4</sub>	0,10	31,90	3,30	3,02	$x \geq 12,35$	$12,35 \leq x < 9,34$	$9,34 \leq x < 6,32$

As concentrações de cada elemento químico que se enquadram nos valores de primeira, segunda e terceira ordens são apresentadas na tabela 12. Os valores abaixo do limite de terceira ordem são aqueles considerados *background*, e não foram considerados para análise. Foram padronizados cores específicas para cada limite estatístico, sendo a cor vermelha para os valores de primeira ordem, a azul para os de segunda ordem e a verde para os valores de terceira ordem.

Tabela 12. Valores de primeira, segunda e terceira ordens de cada elemento químico dosado nas amostras de água das ETAs de vinte e dois municípios da Mesorregião Sul de Goiás.

ETA por município	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Sr	Zn	F	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
Água Limpa		8,36		4,15							6,40
Aloândia											
Bom Jesus											
Buriti Alegre			0,025								
Cachoeira Dourada			0,056								
Castelândia (PA)		9,42		3,12		0,089	0,039				
Cromínia	0,039		0,032				0,017				
Edealina						0,061		0,87	3,06		7,90
Edéia	0,061	34,90		4,71		0,172		1,06			10,80
Goiatuba					0,008		0,016				
Inaciolândia			0,034		0,018			0,84			
Itumbiara					0,041		0,145	0,84	3,97		
Joviânia			0,037								
Mairipotaba	0,032	17,80		4,03	0,019	0,159		0,78	5,86		31,90
Maurilândia							0,016	0,76			
Morrinhos										307,80	
Panamá									3,04	3,30	
Pontalina	0,031	9,46		4,65					2,83		15,30
Porteirão (PA)										2,00	
Quirinópolis	0,040	9,16		3,38			0,021	0,76	2,76	17,00	8,30
Turvelândia (PA)		8,52	0,052	3,82	0,008	0,087			9,59	3,60	
Vicentinópolis (PA)											

Valores de 1ª ordem em vermelho, de 2ª ordem em azul, de 3ª ordem em verde.

A matriz de correlação dos elementos de primeira, segunda e terceira ordem, com nível de significância de 95%, é representada na figura 9. Observa-se que os cátions e ânions correlacionam-se em diferentes níveis de significância, podendo apresentar correlações muito fortes, fortes, moderadas, fracas, muito fracas e nulas.

A partir da matriz de correlação foi possível determinar as correlações mais significativas entre os cátions e ânions, que são:  $C_{Cl-SO_4}=1,00$ , a mais expressiva, seguida de  $C_{Cl-Zn}=0,96$ ,  $C_{Zn-SO_4}=0,96$ ,  $C_{Sr-Ca}=0,91$ , que são muito fortes, além de  $C_{Cl-Mn}=0,84$ ,  $C_{SO_4-Mn}=0,84$ ,  $C_{Zn-Mn}=0,82$  e  $C_{Sr-Mg}=0,80$ , que são correlações fortes. Assim, através da matriz de correlação foram detectadas duas associações mais significativas de elementos químicos: **associação 1** (Cl-Zn-SO<sub>4</sub>-Mn) e **associação 2** (Ca-Sr-Mg).

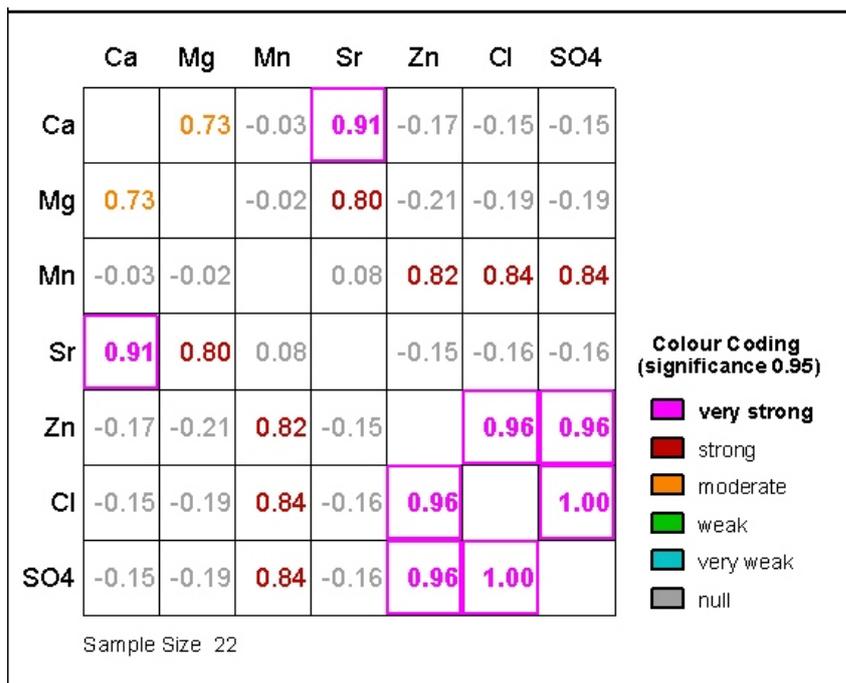


Figura 9. Matriz de correlação dos elementos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem (significância de 95%).

A associação 1, Cl-Zn-SO<sub>4</sub>-Mn (Figuras 10, 11, 12 e 13), assume uma tendência de distribuição principalmente na região sudeste e norte da área, sendo que o zinco também tende a se concentrar no centro da região sudoeste e o manganês na transição da região sudoeste e sul e no extremo norte da área de estudo. A amostra JA-5161, da ETA de Itumbiara, apresenta concentrações de primeira ordem de manganês e zinco e de segunda ordem de cloreto. A amostra PR-5082, da ETA de Mairipotaba, apresenta concentrações de primeira ordem de manganês, cloreto e sulfato. A amostra PR-5085, da ETA de Pontalina, mostra uma concentração de primeira ordem de sulfato. A amostra PR-5028, da ETA de Inaciolândia, apresenta concentração de primeira ordem de manganês. A amostra JA-5057, da ETA de Turvelândia, mostra uma concentração de primeira ordem de cloreto. A amostra JA-5054, da ETA de Castelândia, apresenta concentração de primeira ordem de zinco.

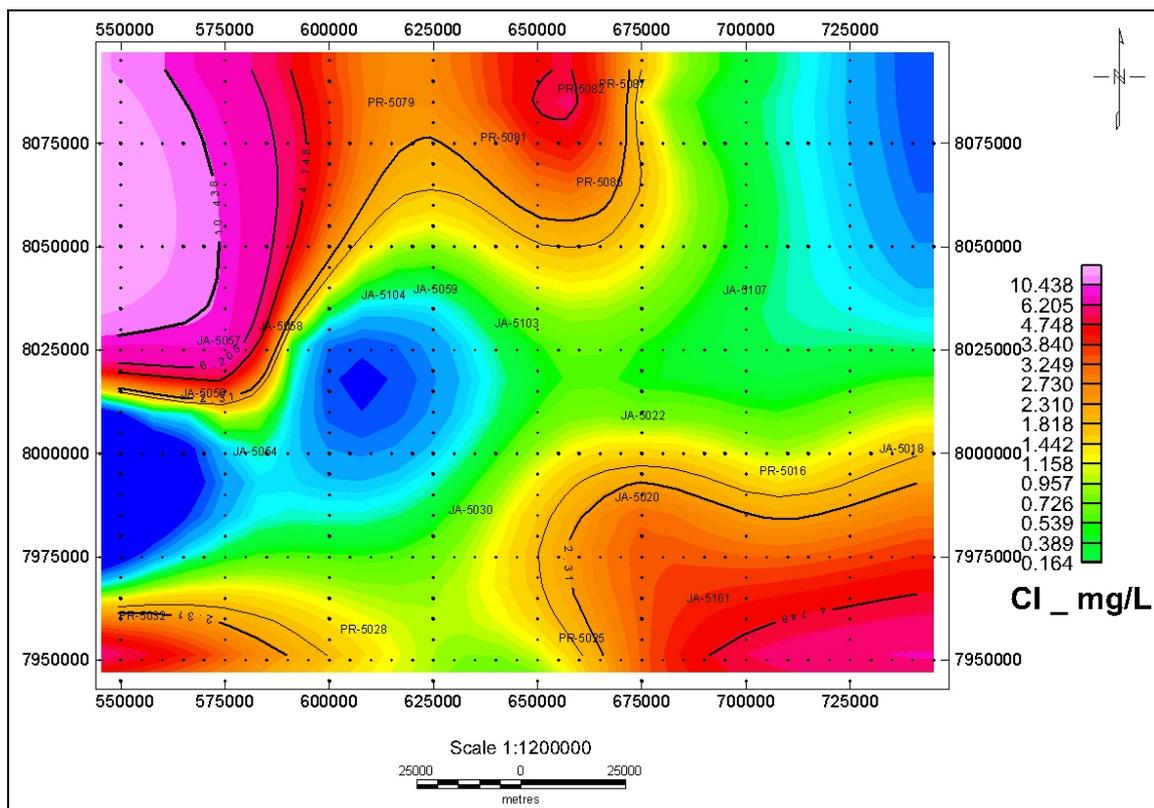


Figura 10. Mapa de distribuição do cloro.

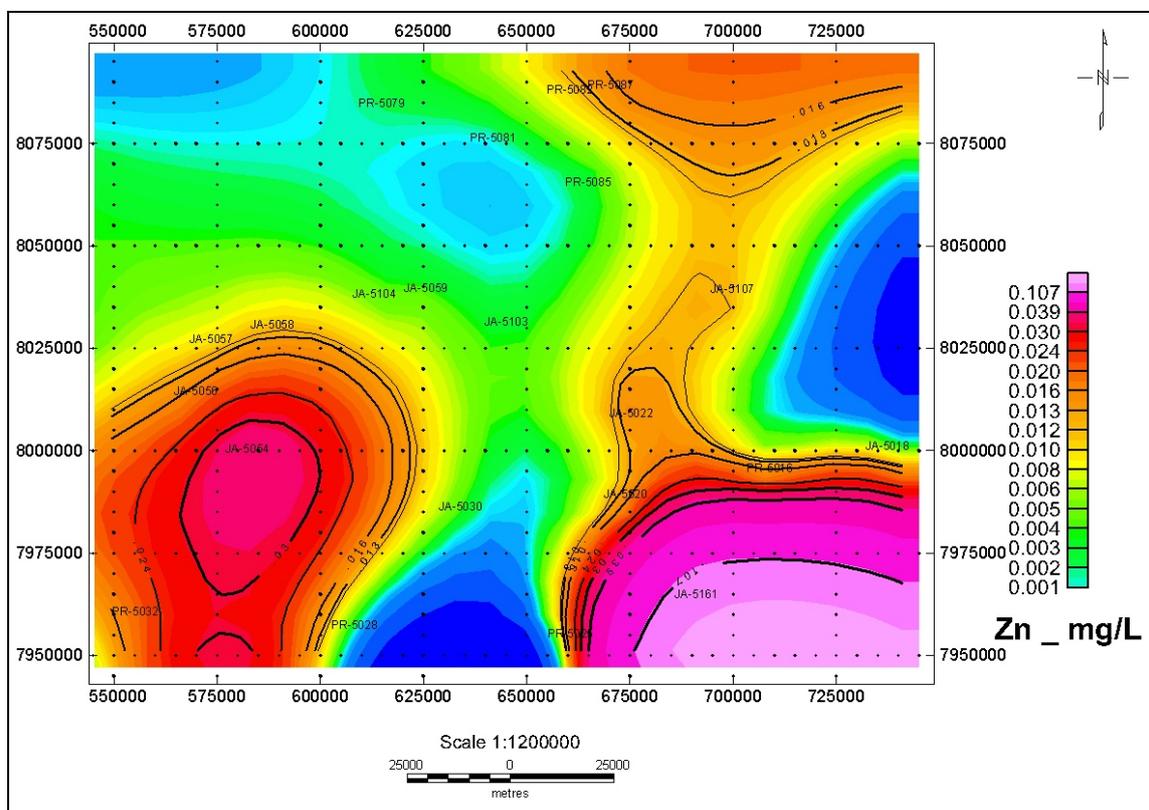


Figura 11. Mapa de distribuição do zinco.



O mapa de distribuição do cloreto, apresentado na Figura 10, revela o predomínio do íon nos municípios de Mairipotaba (PR-5082) e Turvelândia (JA-5057), nas regiões norte e oeste, respectivamente. Observa-se que o programa de confecção do mapa atribuiu ao extremo noroeste, onde não há pontos de amostragem, altas concentrações de cloreto, sendo uma tendência peculiar do software. Isto aconteceu em todos os outros mapas e constitui-se em um lapso computacional ao qual não deve ser atribuída importância, devendo os leitores se ater especificamente aos pontos de amostragem e suas relações entre si.

O mapa de distribuição do zinco, apresentado na Figura 11, mostra o predomínio do elemento nos municípios de Itumbiara (JA-5161) e Castelândia (JA-5054), respectivamente nas regiões sudeste e sudoeste da área de estudo.

Em relação ao sulfato, o mapa de distribuição, apresentado na figura 12, mostra o predomínio do íon nos municípios de Mairipotaba (PR-5082) e Pontalina (PR-5085), na região norte da área de estudo.

O mapa de distribuição do manganês, exposto na figura 13, mostra uma tendência de predomínio do íon nos municípios de Itumbiara (JA-5161), Mairipotaba (PR-5082) e Inaciolândia (PR-5028), respectivamente nas regiões sudeste, norte e sudoeste.

A associação 2, Ca-Sr-Mg (Figuras 14, 15 e 16), assume uma tendência de distribuição principalmente na região norte da área de estudo. A amostra PR-5082, da ETA de Mairipotaba, apresenta concentrações de primeira ordem de cálcio e estrôncio, e de terceira ordem de magnésio. A amostra PR-5079, da ETA de Edéia, mostra concentrações de primeira ordem de cálcio e estrôncio, e de segunda ordem de magnésio. Também existem valores de segunda ordem de magnésio na amostra PR-5085, da ETA de Pontalina, e de estrôncio nas

amostras JA-5054 e JA-5057, respectivamente das ETAs de Castelândia e Turvelândia.

O mapa de distribuição do cálcio, exposto na figura 14, demonstra predomínio do íon nos municípios de Edéia (PR-5079) e Mairipotaba (PR-5082), na região norte da área de estudo.

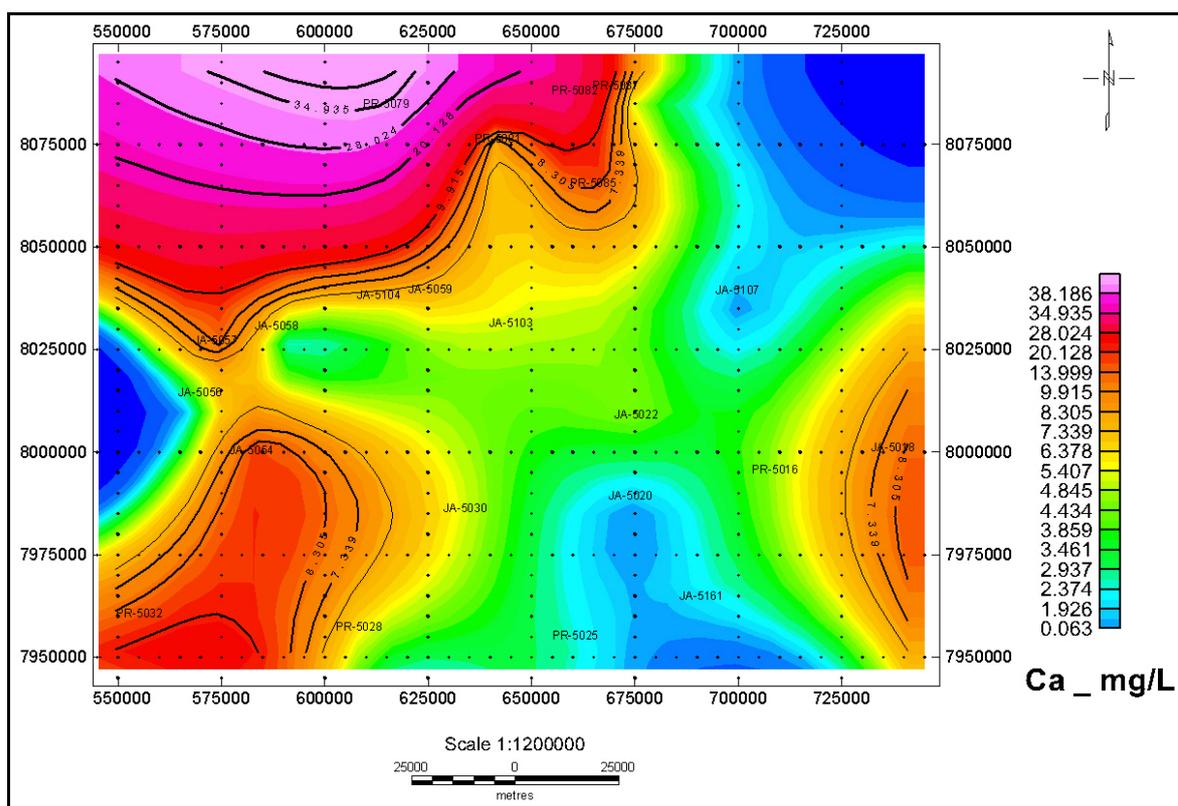


Figura 14. Mapa de distribuição do cálcio.

Conforme o mapa de distribuição do estrôncio, apresentado na figura 15, o elemento predomina nos municípios de Edéia (PR-5079) e Mairipotaba (PR-5082), na região norte/noroeste da área de estudo.

O mapa de distribuição do magnésio, exposto na figura 16, demonstra um predomínio do íon nos municípios de Pontalina (PR-5085) e Edéia (PR-5079), na região norte/noroeste da área de estudo.



## 5.2. Resultados Epidemiológicos

Conforme os dados (tabela 13 e 14) obtidos do Seplan (2005) e Sepin (2008a & 2008b) sobre saneamento de água, esgoto e lixo na área de estudo, a maior parte (87%) das pessoas residentes na área de estudo tem acesso a água tratada. Mais de  $\frac{3}{4}$  da população é atendida por coleta de lixo. Entretanto uma minoria (14%) é atendida por rede de esgoto.

Tabela 13. Porcentagem da população atendida por redes de água tratada e esgoto em 2006, e destino do lixo em 2000, na área de estudo.

Municípios	População atendida (%) - 2006		Destino do lixo (%) - 2000	
	Água tratada	Rede de Esgoto	Coletado	Outro destino <sup>1</sup>
Água Limpa	91,40	0	74,01	25,99
Aloândia	85,04	0	75,85	24,15
Bom Jesus de Goiás	79,11	0	86,87	13,13
Buriti Alegre	94,93	14,27	83,61	16,39
Cachoeira Dourada	79,46	2,06	85,21	14,79
Castelândia	79,58	0	70,73	29,27
Cromínia	84,47	0	72,54	27,46
Edealina	95,41	0	60,90	39,10
Edéia	92,03	0	76,33	23,67
Goiatuba	90,18	22,38	86,56	13,44
Inaciolândia	69,16	0	72,41	27,59
Itumbiara	93,35	68,72	90,04	9,96
Joviânia	90,90	2,20	83,61	16,39
Mairipotaba	95,94	0	63,90	36,10
Maurilândia	92,69	0	88,70	11,30
Morrinhos	86,54	41,24	86,26	13,74
Panamá	Sem dados	Sem dados	69,91	30,09
Pontalina	92,96	43,22	77,45	22,55
Porteirão	84,54	0	83,35	16,65
Quirinópolis	93,16	100,00	79,45	20,55
Turvelândia	77,20	0	62,67	37,33
Vicentinópolis	Sem dados	Sem dados	81,25	18,75
<b>TOTAL DA REGIÃO</b>	<b>87,41</b>	<b>14,71</b>	<b>77,80</b>	<b>22,20</b>
<b>TOTAL DO ESTADO</b>	<b>80,75</b>	<b>32,88</b>	<b>81,14</b>	<b>18,86</b>

<sup>1</sup> Queimado ou enterrado na propriedade, jogado em terreno baldio ou logradouro, jogado em rio e outros. (Sepin, 2008a & 2008b).

Tabela 14. Domicílios particulares permanentes, por forma de abastecimento de água, existência de banheiro ou sanitário e destino do lixo, segundo os municípios da área de estudo, em 2000.

Municípios	Domicílios particulares permanentes								
	Total	Forma de abastecimento de água			Existência de banheiro ou sanitário			Destino do lixo	
		Rede geral <sup>1</sup>	Poço ou nascente <sup>2</sup>	Outra	Tinham		Não tinham	Coletado	Outro destino <sup>4</sup>
					Total <sup>3</sup>	Rede geral de esgoto ou pluvial			
Água Limpa	685	493	192	-	654	15	31	507	178
Aloândia	737	562	174	1	648	-	89	559	178
Bom Jesus	4.783	2.809	1.960	14	4.686	28	97	4155	628
Buriti Alegre	2892	2313	501	78	2788	500	104	2418	474
Cachoeira Dourada	2509	1791	622	96	2441	525	68	2138	371
Castelândia	1083	751	290	42	1052	2	31	766	317
Cromínia	1.136	872	243	21	1.092	6	44	824	312
Edealina	1.197	644	551	2	1.094	-	103	729	468
Edéia	3.084	2.062	1.020	2	3.020	9	64	2.354	730
Goiatuba	9.395	6.334	3.046	15	9.145	1.214	250	8.132	1.263
Inaciolândia	1.566	1.088	475	3	1.508	1	58	1.134	432
Itumbiara	24.216	17.585	6.419	212	23.737	14.838	479	21.804	2.412
Joviânia	2093	1581	502	10	2046	9	47	1750	343
Mairipotaba	759	489	256	14	716	8	43	485	274
Maurilândia	2.592	2.163	402	27	2.491	23	101	2.299	293
Morrinhos	11.549	9.519	1.984	46	11.287	1.756	262	9.962	1.587
Panamá	884	615	263	6	823	1	61	618	266
Pontalina	5.153	3.539	1.548	66	4.931	48	222	3.991	1.162
Porteirão	805	526	79	-	785	7	20	671	134
Quirinópolis	11.174	7.334	3.748	92	10.682	7.612	492	8.878	2.296
Turvelândia	959	608	308	43	881	1	78	601	358
Vicentinópolis	1.717	1.422	293	2	1.665	21	52	1.395	322

<sup>1</sup> Canalizada em pelo menos um cômodo, canalizada só na propriedade ou terreno.

<sup>2</sup> Canalizada em pelo menos um cômodo, canalizada só na propriedade ou terreno e não canalizada.

<sup>3</sup> Incluso fossa séptica e rudimentar, vala, rio e outros.

<sup>4</sup> Queimado ou enterrado na propriedade, jogado em terreno baldio ou logradouro, jogado em rio e outros.

Fonte: Seplan (2005).

A partir dos dados de mortalidade obtidos do Datasus (2008b), observa-se que na área de estudo há um predomínio de óbitos causados por doenças cardiovasculares, seguidas de câncer, enfermidades respiratórias, causas externas e achados anormais em exames. Esse dados são expostos na tabela 15 e nas figuras 17 e 18.

Tabela 15. Mortalidade da área de estudo, ano 2006, por local de residência.

Município	DIP	Neo	DHI	DENM	TMC	DN	DOA	DCV	DR	DD	DC	DOMC	DGU	GPP	AOPPN	MDAC	AAE	CE	Total
Água Limpa	0	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	8
Alcândia	2	0	0	0	1	0	0	4	3	2	0	1	0	0	0	0	1	0	14
Bom Jesus de Goiás	6	8	2	4	1	3	0	25	11	8	0	0	1	0	6	1	5	9	90
Buriti Alegre	3	10	1	4	0	0	0	22	8	2	1	0	0	0	3	0	5	3	62
Cachoeira Dourada	4	4	0	0	0	1	0	14	7	1	0	0	0	0	1	0	3	3	38
Castelândia	1	2	0	0	0	0	0	14	6	4	0	0	1	0	0	0	3	3	34
Cromínia	2	3	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	3	4	19
Edalina	2	4	0	0	0	0	0	7	3	1	0	0	0	0	0	1	1	4	23
Edéia	0	6	0	2	1	1	0	16	6	4	0	0	1	0	3	0	12	8	60
Goiatuba	16	22	0	13	3	6	0	54	24	3	0	0	6	0	3	1	14	18	183
Inaciolândia	3	5	0	0	0	1	0	7	3	2	1	0	0	0	1	1	2	4	30
Itumbiara	34	80	3	34	5	13	0	191	68	28	2	8	10	1	20	6	22	51	576
Joviânia	3	6	0	4	0	0	0	18	6	0	0	0	1	0	1	0	2	7	48
Mairipotaba	0	2	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9
Maurilândia	3	12	0	2	2	0	0	23	4	0	0	0	0	0	1	1	3	12	63
Morinhos	17	37	0	13	2	3	1	71	35	13	1	1	8	0	9	0	16	26	253
Panamá	2	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	9
Pontalina	2	17	1	4	0	1	0	37	24	1	1	0	3	0	1	1	8	10	111
Porteirão	0	2	0	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	3	1	13
Quirinópolis	6	24	2	7	1	2	0	41	19	8	0	0	1	0	5	2	49	22	189
Turvelândia	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	2	0	1	1	12
Vicentinópolis	1	4	0	1	0	0	0	6	5	1	0	0	1	0	1	0	7	2	29
Total	107	251	9	92	16	32	1	570	239	80	6	10	35	1	59	15	161	189	1873

Fonte: Datasus (2008).

Legenda:

DIP - Doenças Infeciosas e Parasitárias  
Neo - Neoplasias e tumores Cancerígenos  
DHI - Doenças Hematológicas e Imunitárias  
DENM - Doenças Endócrinas, Nutricionais e Metabólicas  
TMC - Transtornos Mentais e Comportamentais  
DN - Doenças Neurológicas  
DOA - Doenças do Olho e Anexos  
DCV - Doenças Cardiovasculares  
DR - Doenças Respiratórias  
TMC - Transtornos Mentais e Comportamentais  
DN - Doenças Neurológicas  
DOA - Doenças do Olho e Anexos  
DCV - Doenças Cardiovasculares  
DR - Doenças Respiratórias  
DD - Doenças Digestivas  
DC - Doenças Cutâneas  
DOMC - Doenças Osteo-musculares e Conjuntivas  
DGU - Doenças Geniturinárias  
GPP - Gravidez, Parto e Puerpério  
AOPPN - Afecções originadas no Período Perinatal  
MDAC - Malformações, Deformidades e Anomalias Cromossômicas  
AAE - Achados anormais em exames  
CE - Causas externas

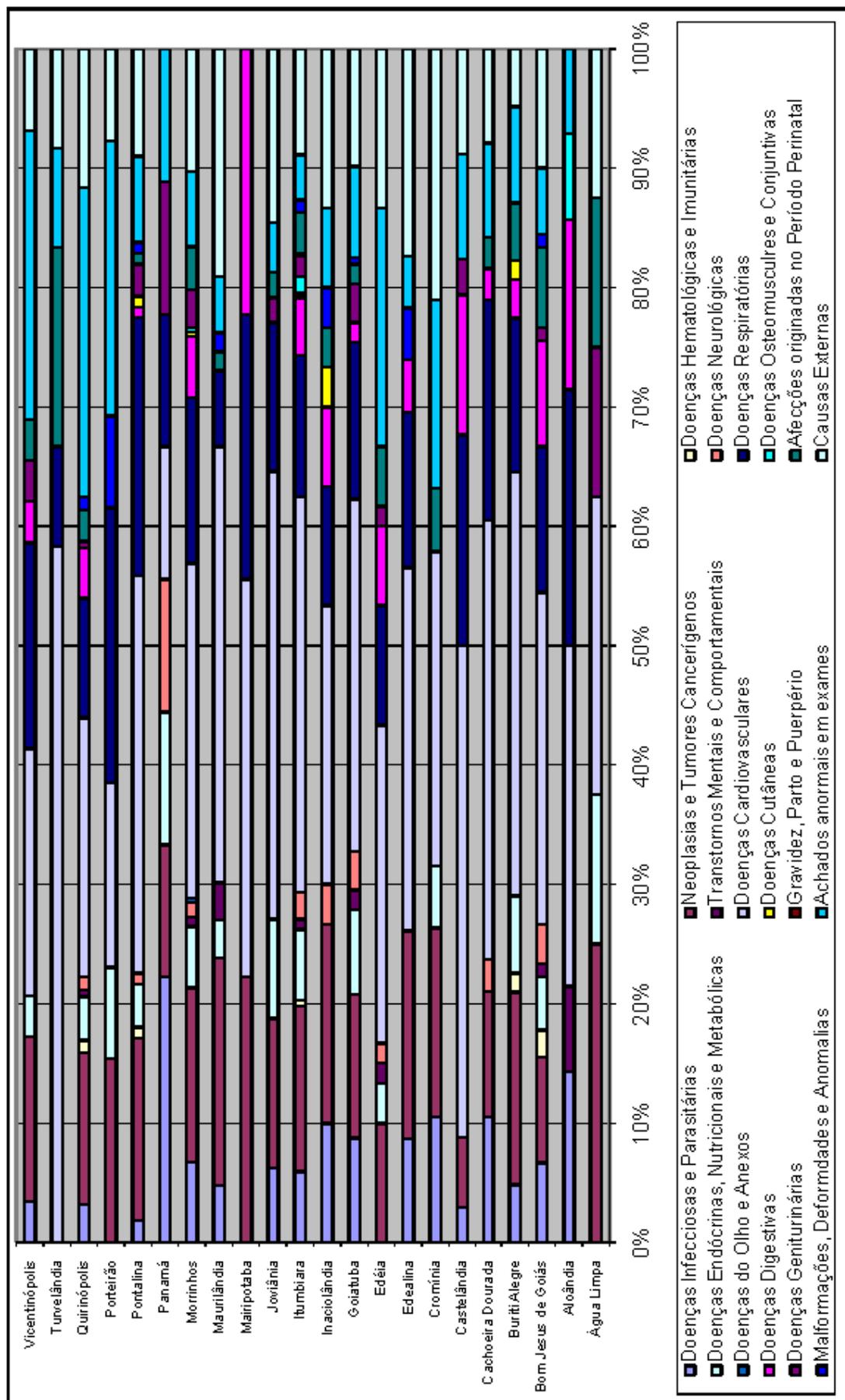


Figura 17. Mortalidade em 2006 por município e tipo de doença, em porcentagem.

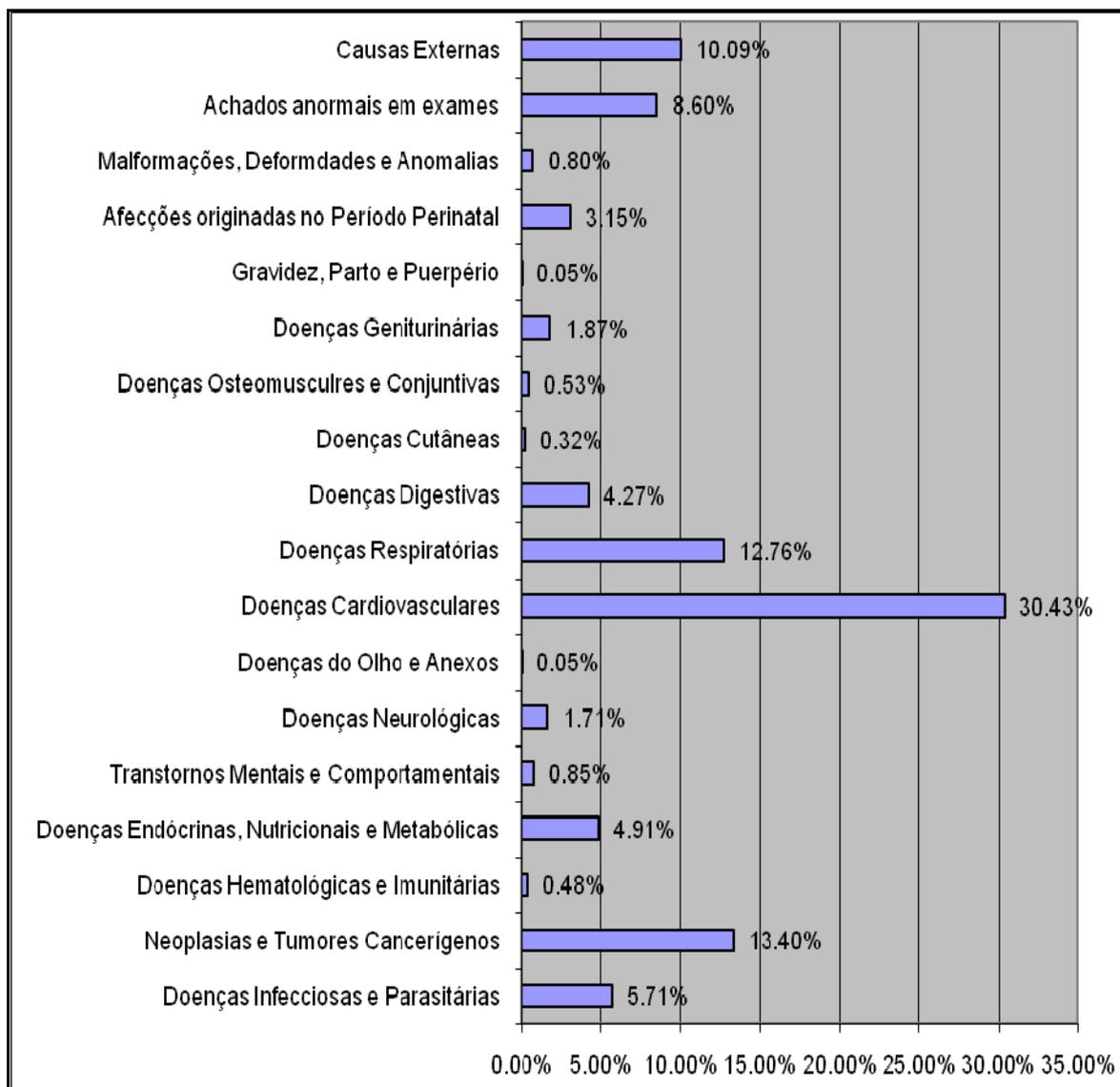


Figura 18. Mortalidade total em 2006 da área de estudo por tipo de doença, em porcentagem.

Segundo os dados de morbidade hospitalar obtidos do Datasus (2008a), observa-se que na área de estudo há um predomínio internações hospitalares devido às enfermidades respiratórias, seguidas pelas doenças cardiovasculares, estados de saúde relacionado à gravidez, doenças digestivas e doenças geniturinárias. Tais dados são apresentados na tabela 16 e nas figuras 19 e 20.

Tabela 16. Morbidade Hospitalar da área de estudo, ano 2006, por local de residência.

Município	DIP	Neo	DHI	DENIM	TMC	DN	DOA	DOAM	DCV	DR	DD	DC	DOMC	DGU	GPP	AOPP	MDAC	AAE	LECCE	CE	CSS	Total
Água Limpa	3	7	1	7	3	0	0	1	13	26	14	2	4	12	12	0	0	3	3	0	2	113
Alcândia	10	15	1	7	3	3	0	0	24	31	20	3	6	19	17	1	0	1	11	0	0	172
Bom Jesus de Goiás	169	61	8	49	31	46	3	3	124	309	163	5	35	128	238	6	6	14	105	1	187	1691
Buriti Alegre	137	25	6	38	44	18	0	0	152	178	124	8	24	126	81	0	2	3	48	0	1	1015
Cachoeira Dourada	107	21	4	15	10	10	0	0	82	131	55	3	22	91	57	5	6	57	33	0	2	711
Castelândia	45	4	2	1	3	3	2	0	21	143	28	2	5	75	26	0	1	5	14	0	2	382
Cromínia	3	14	4	1	9	3	0	0	22	11	17	2	3	6	29	1	0	1	17	0	1	144
Edalina	2	14	8	5	4	5	1	0	8	4	13	0	8	7	13	0	1	1	24	0	1	119
Edéia	163	36	1	28	21	13	1	0	105	185	185	10	14	151	146	0	1	4	68	0	1	1133
Goiatuba	186	143	28	90	27	32	3	0	220	453	267	22	68	157	424	33	9	58	223	0	147	2590
Inaciolândia	48	11	0	46	4	7	1	0	38	49	32	0	4	41	31	6	4	3	17	0	18	360
Itumbiara	187	359	68	130	236	80	4	8	670	673	525	44	118	314	120	100	52	127	549	0	22	4386
Joviânia	19	17	10	12	10	7	1	0	45	77	30	1	8	53	47	0	1	22	33	0	2	395
Maiporoba	39	7	1	6	5	3	0	0	9	47	28	0	2	28	28	0	1	0	12	0	0	216
Maurilândia	68	52	1	1	3	5	4	0	32	59	27	5	4	25	188	0	0	0	33	0	0	507
Morrinhos	254	141	61	125	52	57	9	4	451	491	442	17	113	420	418	30	12	43	167	1	65	3373
Panamá	6	2	0	0	3	0	0	1	7	14	11	3	4	5	18	1	0	1	16	0	1	93
Pontalina	178	62	22	133	10	13	3	0	111	274	113	6	37	203	146	5	6	16	101	0	7	1446
Porteirão	4	11	1	3	1	0	1	0	8	6	10	1	1	4	16	0	0	2	9	0	11	89
Quirinópolis	124	91	22	50	42	28	7	3	227	230	222	26	67	308	228	13	20	144	272	9	14	2147
Turvelândia	107	5	0	5	3	2	0	0	22	89	19	3	19	20	46	2	0	1	13	0	0	356
Vicentinópolis	75	15	5	16	3	2	2	0	35	144	42	8	12	39	65	1	1	7	21	0	6	499
Total	1934	1113	254	768	527	337	42	20	2426	3624	2387	171	578	2232	2394	204	123	513	1789	11	490	21937

Fonte: DataSUS (2008a).

Legenda:

DIP – Doenças Infecciosas e Parasitárias	DOMC – Doenças Osteo-musculares e Conjuntivas	MDAC – Malformações, Deformidades e Anomalias Cromossômicas
Neo – Neoplasias e tumores Cancerígenos	DGU – Doenças Geniturinárias	LECCE – Lesões, envenenamentos e consequências de causas externas
DHI – Doenças Hematológicas e Imunológicas	GPP – Gravidez, Parto e Puerpério	AAE – Achados anormais em exames
DENIM – Doenças Endócrinas, Nutricionais e Metabólicas	AOPP – Afeições originadas no Período Perinatal	CE – Causas externas
TMC – Transtornos Mentais e Comportamentais	DC – Doenças Cutâneas	CSS – Contatos com Serviços de Saúde
DN – Doenças Neurológicas		

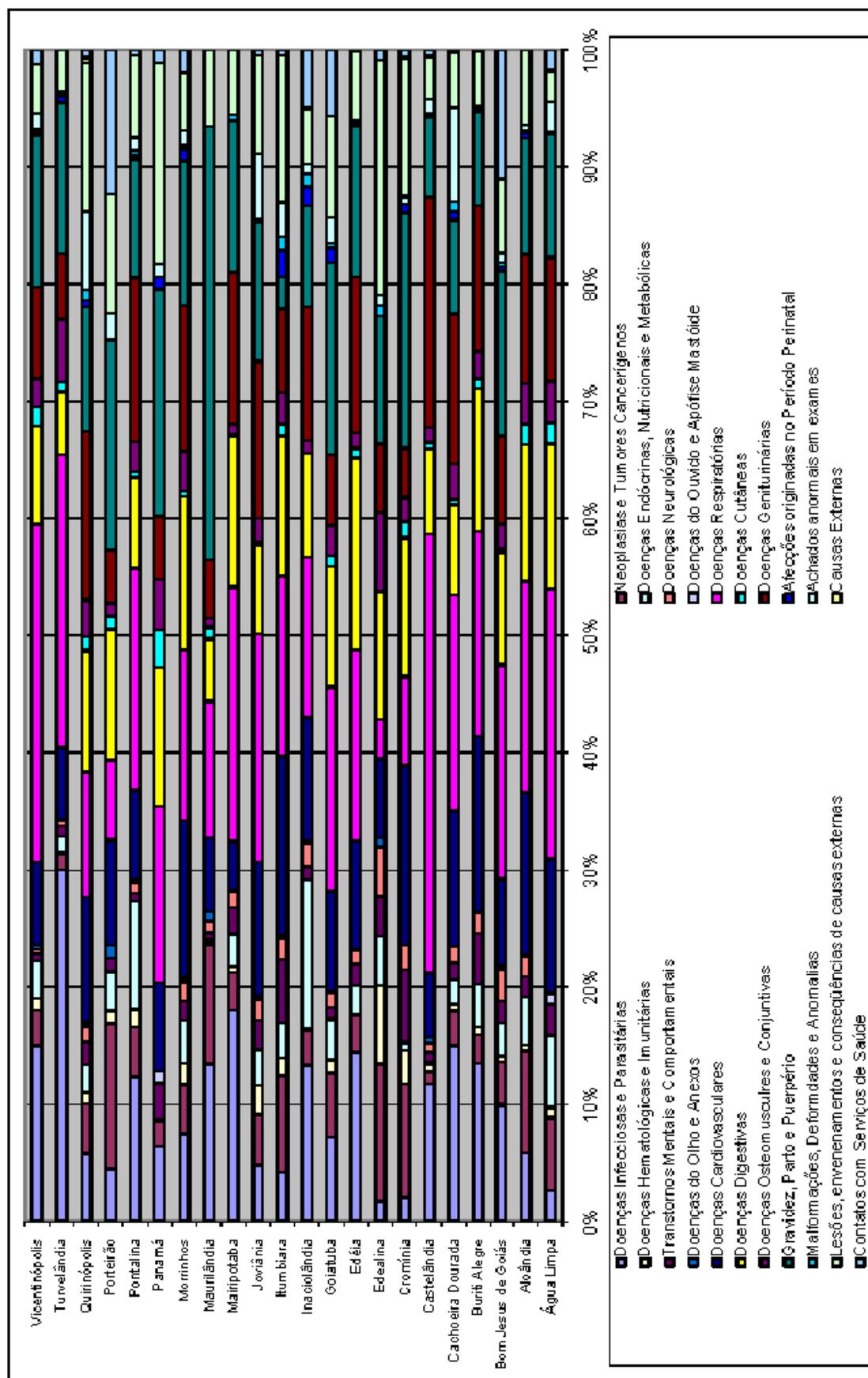


Figura 19. Morbidade Hospitalar em 2006 por município e tipo de doença, em porcentagem.

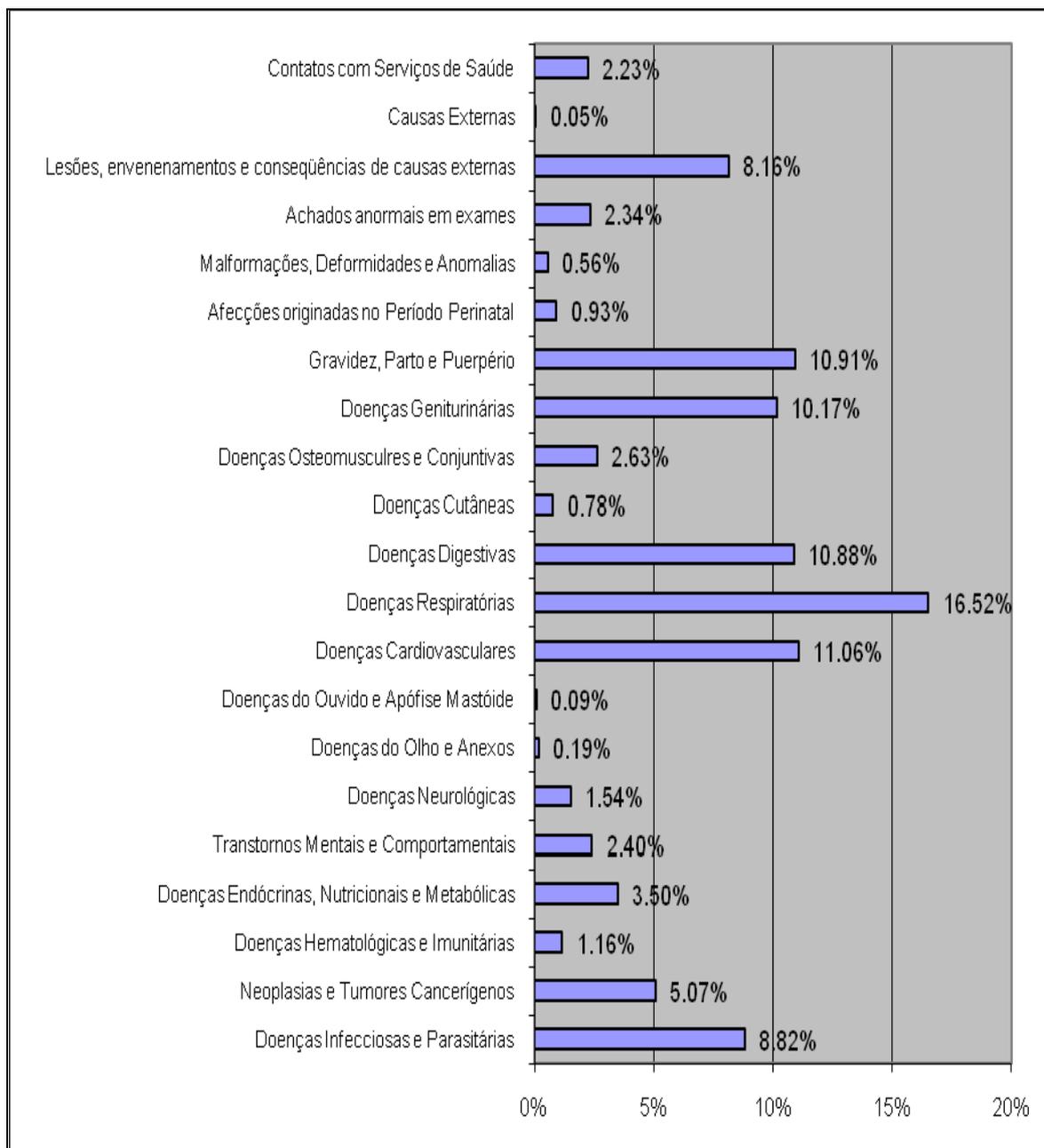


Figura 20. Morbidade hospitalar em 2006 da área de estudo por tipo de doença.

Considerando que existiram amostras anômalas de nitrato em Quirinópolis (17 mg/L) e Morrinhos (307,8 mg/L), e de chumbo em Cromínia (0,041 mg/L), apresenta-se a seguir os dados de morbidade hospitalar e mortalidade nos referidos municípios, expostos respectivamente nas figuras (21, 22 e 23).

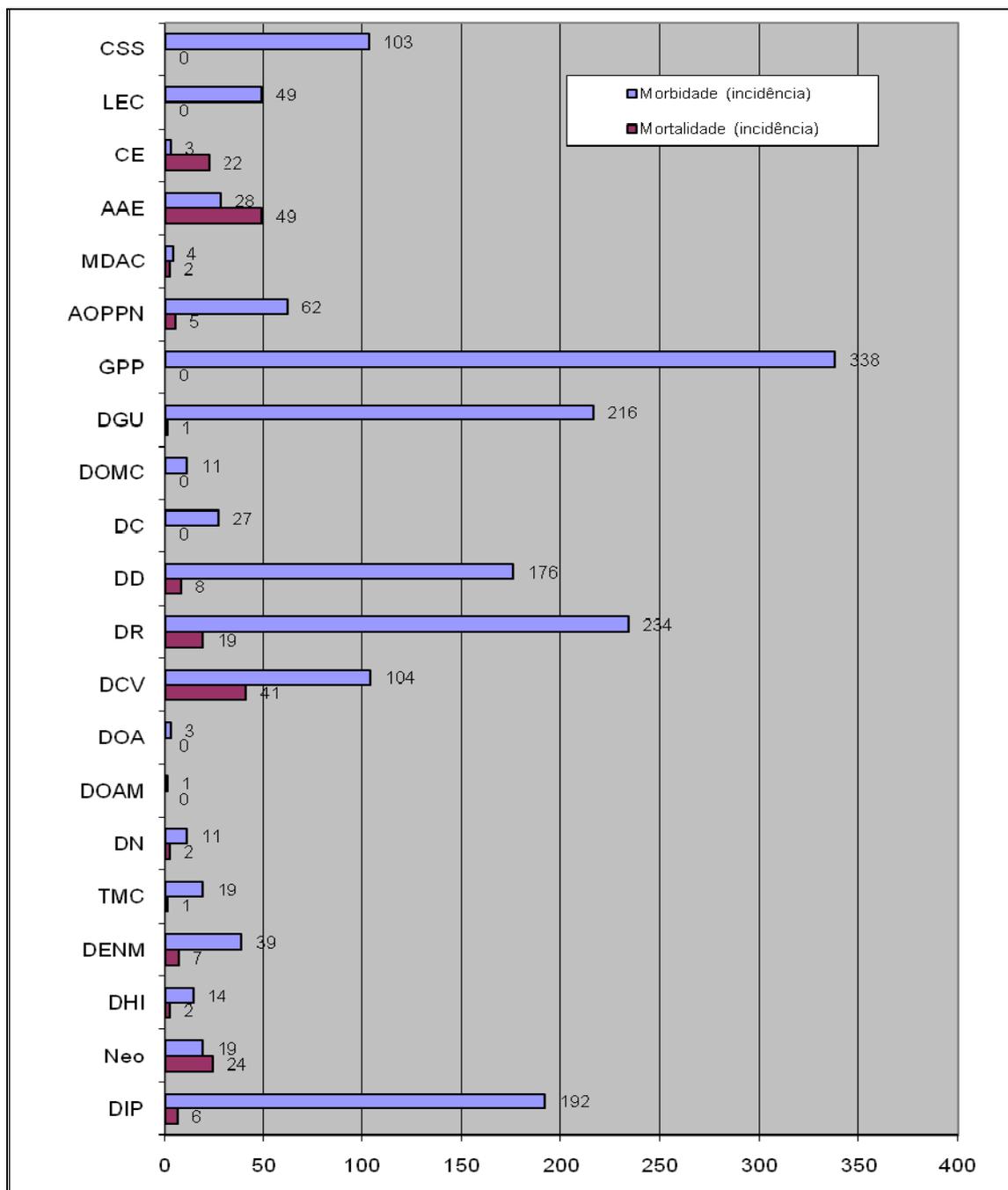


Figura 21. Morbidade Hospitalar e Mortalidade (2006) por grupo de doenças em Quirinópolis.

**Legenda:**

DIP – Doenças Infecciosas e Parasitárias

Neo – Neoplasias e tumores Cancerígenos

DHI – Doenças Hematológicas e Imunitárias

DENM – Doenças Endócrinas, Nutricionais e Metabólicas

TMC – Transtornos Mentais e Comportamentais

DN – Doenças Neurológicas

DOA – Doenças do Olho e Anexos

DOAM – Doenças do Ouvido e Apófise Mastóide

DCV – Doenças Cardiovasculares

DR – Doenças Respiratórias

DD – Doenças Digestivas

DC – Doenças Cutâneas

DOMC – Doenças Osteomusculares e Conjuntivas

DGU – Doenças Genitourinárias

GPP – Gravidez, Parto e Puerpério

APP – Afecções originadas no

Período Perinatal

MDA – Malformações, Deformidades e Anomalias Cromossômicas

AAE – Achados anormais em exames

LEC – Lesões, envenenamentos e conseqüências de causas externas

CE – Causas externas

CSS – Contatos com Serviços de Saúde

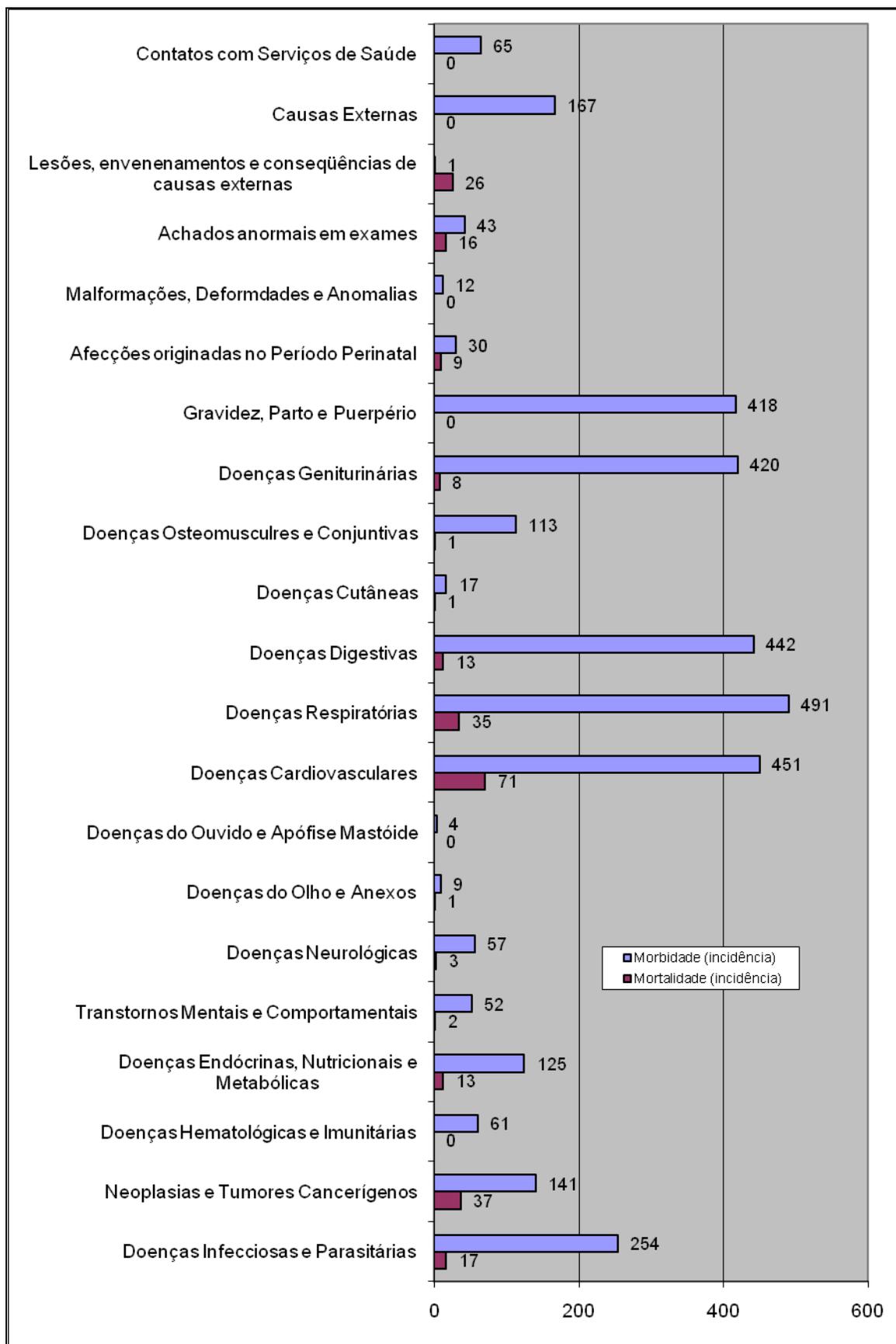


Figura 22. Morbidade Hospitalar e Mortalidade (2006) por grupo de doenças em Morrinhos.

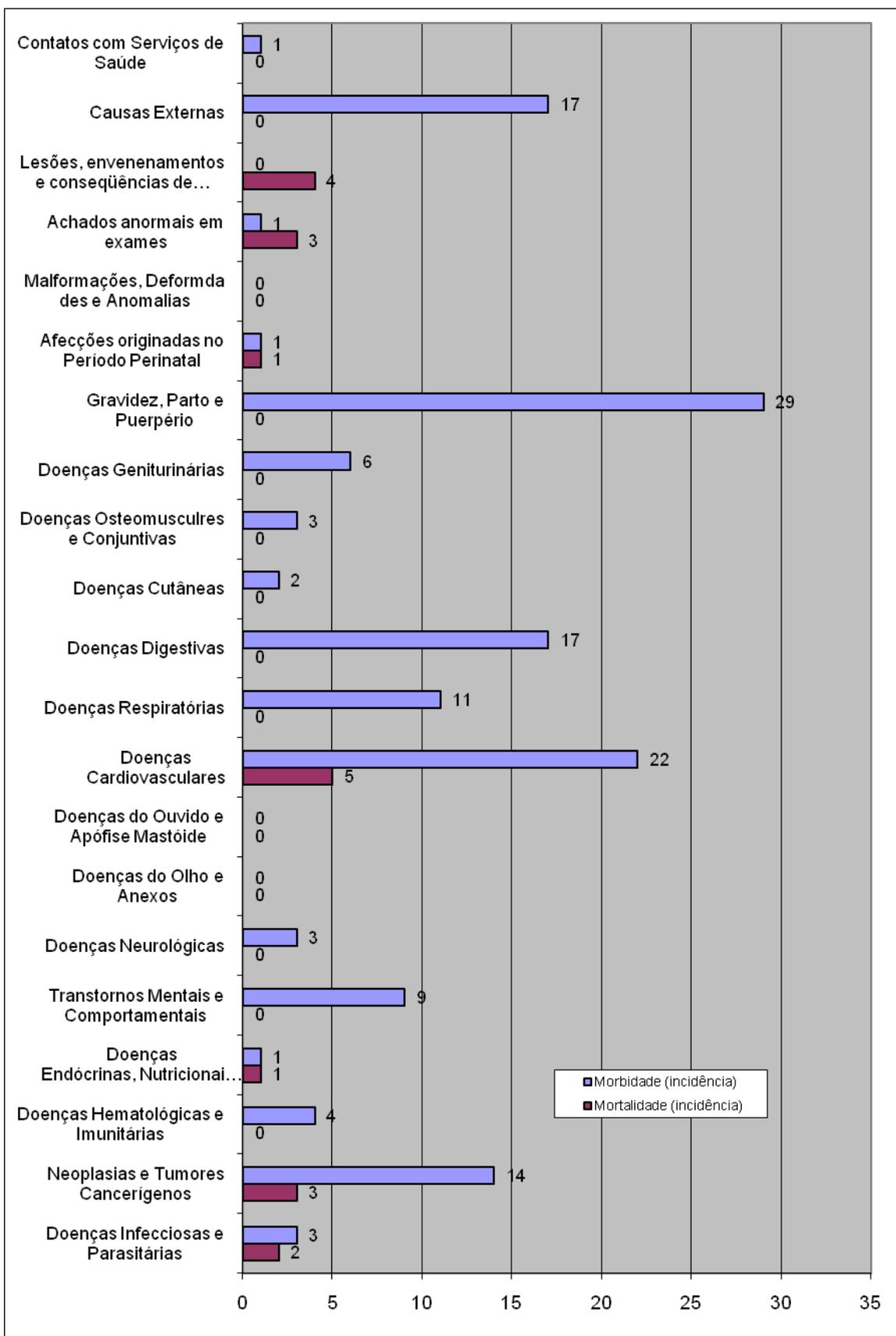


Figura 23. Morbidade Hospitalar e Mortalidade (2006) por grupo de doenças em Cromínia.

Observa-se que em Quirinópolis, como causa de mortalidade, predominam os achados anormais em exames clínicos e laboratoriais, as doenças cardiovasculares, câncer, causas externas e doenças respiratórias. Entre as morbidades hospitalares predominam gravidez/parto/puerpério, doenças respiratórias, doenças geniturinárias, doenças infecciosas/parasitárias e doenças digestivas.

Nota-se que como causa de mortalidade em Morrinhos predominam as doenças cardiovasculares, câncer, doenças respiratórias, lesões/envenenamentos/conseqüências de causas externas, doenças infecciosas/parasitárias e achados anormais em exames clínicos e laboratoriais. Entre as morbidades hospitalares predominam doenças respiratórias, cardiovasculares, digestivas, geniturinárias, gravidez/parto/puerpério, doenças infecciosas/parasitárias, e causas externas.

Verifica-se que em Cromínia existe uma predominância de óbitos, em ordem decrescente, por doenças cardiovasculares, lesões/envenenamentos/conseqüências de causas externas, achados anormais em exames clínicos e laboratoriais, câncer e doenças infecciosas/parasitárias. Já a morbidade hospitalar, em ordem decrescente, apresenta incidência predominante de gravidez/parto/puerpério, cardiovasculares, doenças digestivas, causas externas, câncer e doenças respiratórias.

## 6. DISCUSSÃO

A seguir será feita a relação entre os dados obtidos, com ênfase nas associações geoquímicas relevantes estatisticamente (Cl-Zn-SO<sub>4</sub>-Mn e Ca-Sr-Mg) e nos elementos que tiveram valores anômalos (Pb e NO<sub>3</sub>), relacionando-os com os dados de saneamento básico e morbimortalidade. Os elementos bário, ferro e flúor não apresentaram relevância significativa na matriz de correlações, portanto não participam das associações geoquímicas encontradas e não são discutidos.

### 6.1. Associação 1 (Cl-Zn-SO<sub>2</sub>-Mn)

A associação 1 (Cl-Zn-SO<sub>2</sub>-Mn) pode ser especialmente encontrada nas amostras de Itumbiara (JA-5161) e Mairipotaba (PR-5082). Na ETA de Itumbiara há a ocorrência de zinco e manganês, em concentrações de 1ª ordem, e cloreto, em valor de 2ª ordem. Na ETA de Mairipotaba (PR-5082) há valores de 1ª ordem de manganês, cloreto e sulfato.

#### 6.1.1. Cloreto

Existem valores mais elevados, de 1ª ordem, do cloreto nas amostras PR-5082 (Mairipotaba) e JA-5057 (Turvelândia), respectivamente nas regiões norte e oeste da área de estudo (figura 10, p. 47) e de 2ª ordem na amostra JA-5161 (Itumbiara), na região sudeste.

As ETAs dos municípios de Turvelândia e Itumbiara se encontram em áreas cuja unidade litoestratigráfica é a Formação Serra Geral, que tem composição química formada por alumínio, silício, oxigênio, sódio, cálcio, ferro, magnésio, titânio, crômio, manganês, escândio, vanádio, zinco e lítio (Machado *et al.*, 2009). Já a ETA de Mairipotaba, por sua vez, encontra-se na unidade Granitos Tipo

Aragoiânia, que são quimicamente constituídos por alumínio, sílica, oxigênio, hidrogênio, flúor, ferro, potássio, cálcio, magnésio, cromo, manganês e titânio (Machado *et al.*, 2009).

Esses valores elevados do cloreto não parecem ter relação com a geodiversidade dos municípios atingidos, mas podem estar diretamente relacionados com o cloro utilizado no tratamento da água nas ETAs.

O cloro é amplamente encontrado na natureza, geralmente combinado com outros elementos, visto que tem alta reatividade. É o halogênio mais abundante na água do mar, com uma concentração de aproximadamente 18000 ppm, e na crosta terrestre está presente em menor quantidade, uns 130 ppm (Barbalace, 2007b). Portanto, o cloro não é classificado como elemento-traço (Guilherme *et al.*, 2005).

O íon cloreto ( $\text{Cl}^{-1}$ ) é amplamente distribuído na natureza na forma de cloretos, especialmente o cloreto de sódio, encontrado nas minas de sal gema e dissolvido no mar, o cloreto de potássio, presente no mineral silvina, e cloreto de cálcio, no calcário (OMS, 2003a).

O cloreto de sódio é amplamente usado na indústria química na produção de substâncias como soda cáustica, cloro puro, clorito de sódio e hipoclorito. Cloreto de potássio é usado na produção de fertilizantes (NWQMS, 2004).

A influência do cloreto no sabor da água é dependente dos cátions associados, porém existe um limiar de 200-300mg/L para o cloreto de sódio e de cálcio na água, acima do qual provoca sabor evidente (Zoeteman *apud* OMS, 2003a). A presença de níveis elevados de cloreto na água pode provocar corrosão de canos e tubulações, e também pode ter efeito sobre a solubilidade dos íons metálicos (NWQMS, 2004).

O cloreto é lixiviado de várias rochas para o solo e para a água através da erosão (OMS, 2003a). Também ocorre contaminação de águas superficiais ou subterrâneas por ânion cloreto através de ação antrópica, mediante o uso de fertilizantes inorgânicos, deposição de efluentes industriais e domésticos, de alimentos para animais, em drenagens provenientes de irrigação de plantações (NWQMS, 2004). A quantidade de cloreto na água pode ser consideravelmente aumentada pelos processos de tratamento no qual o cloro ou cloreto é utilizado (OMS, 2003a).

Em humanos, o cloreto é o ânion mais abundante do líquido extracelular e desempenha importante papel na manutenção da distribuição de água no organismo, da pressão osmótica do plasma e na neutralidade elétrica (Motta, 2000). O balanço hidro-eletrolítico no corpo é mantido pelo ajuste entre ingestão total de íons na dieta e excreção via trato urinário e gastrointestinal (Guyton & Hall, 2002), sendo que um adulto ingere cerca de 150 mmol/dia de cloreto (Motta, 2000), que é quase completamente absorvido na primeira metade do intestino delgado (OMS, 2003a). O excesso de cloreto é excretado na urina em sua maior parte (90-95%), sendo o restante nas fezes (4-8%) e suor (2%) (NWQMS, 2004).

O corpo de um ser humano adulto normal contém cerca de 81,7 g de cloreto (OMS, 2003a), o que representa aproximadamente 3% de todo o conteúdo mineral do organismo (Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998). A quantidade recomendada de ingestão diária de cloreto é 750 mg para adultos, 350-750 mg para crianças e 180-300 mg para lactentes (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997). A maioria do cloreto da dieta (3-9g/dia) provém do cloreto de sódio fornecido pelo alimento (que é normalmente adicionado de sal de mesa), sendo que a água ingerida contribui com apenas uma pequena fração (Whitmire, 1998). A

deficiência orgânica de cloreto em uma pessoa saudável é rara, visto que ele é amplamente encontrado na natureza e na dieta comum (Czajka-Narins, 1998)

A toxicidade do cloreto não tem sido observada em humanos, exceto em casos especiais de metabolismo deficiente do cloreto de sódio, como acontece na insuficiência cardíaca congestiva (Wesson *apud* OMS, 2003a). Indivíduos saudáveis podem tolerar ingestão de cloreto em elevadas quantidades, sendo que é pouco conhecido o efeito da ingestão prolongada de grandes quantidades de cloreto na dieta, mas em animais experimentais a ingestão excessiva de cloreto de sódio é associada à hipertensão arterial, que parece ser provocada mais pelo íon sódio que pelo cloreto (NWQMS, 2004).

A hiperclorêmia (excesso de cloro no sangue) é geralmente associada à hipernatremia, podendo estar relacionada a acidose metabólica, deficiência de mineralocorticóides, desidratação, acidose tubular renal, insuficiência renal aguda, diabetes mellitus, intoxicação por salicilato, outras nefropatias, tratamento excessivo com sal, obstrução prostática, hiperventilação, hipoproteinemia e anemia (Motta, 2000). A hiperclorêmia provoca cefaléia, confusão mental e arritmias cardíacas (Ferrini *et al.*, 1990).

A hipoclorêmia é observada em transtornos digestivos (diarréia intensa, vômito prolongado, aspiração naso-gástrica), doenças renais com perda de sal, aldosteronismo, intoxicação por bromo (Motta, 2000). A hipoclorêmia provoca alcalose metabólica (Ferrini *et al.*, 1990), cujos sintomas são: irritabilidade, câimbras e espasmos musculares involuntários (Lewis III, 1995).

As amostras analisadas apresentaram concentrações de cloreto com valores bem abaixo dos VMP preconizados pelo Conama (2006 & 2008), MS (2004), OMS (2006) e EPA (2008), assim não têm risco à saúde humana.

### 6.1.2. Zinco

O mapa de distribuição do zinco (figura 11, p. 48) mostra o predomínio do elemento nas amostras de Itumbiara (JA-5161) e Castelândia (JA-5054), com valores de 1ª ordem, respectivamente nas regiões sudeste e sudoeste da área de estudo, e em Quirinópolis (PR-5032), com valor de 2ª ordem, na região sudoeste. Essas ETAs localizam-se em áreas da unidade litoestratigráfica Formação Serra Geral, que apresenta em sua composição química o alumínio, silício, oxigênio, sódio, cálcio, ferro, magnésio, titânio, crômio, manganês, escândio, vanádio, zinco e lítio (Machado *et al.*, 2009). Dessa maneira, possivelmente, a composição mineral da área tem impacto sobre a constituição química das amostras de água, com elevação do conteúdo de zinco.

O Zinco é amplamente distribuído na natureza e ocorre em pequenas quantidades em quase todas as rochas ígneas, comumente na forma de sulfatos, como a esfalerita e wurzita (Elinder, 1986). É considerado o 23º elemento mais abundante e a proporção na crosta terrestre é de aproximadamente 75 ppm (Soares, 2008), sendo por isto classificado como elemento-traço (Guilherme *et al.*, 2005). Segundo Soares (2008), os principais minerais que contêm zinco são a blenda (sulfeto de zinco, ZnS), a esmitsonita (carbonato de zinco, ZnCO<sub>3</sub>), a franklinita (espinélio de zinco e ferro), a calamina (silicato básico de zinco) e a zincita (óxido de zinco, ZnO). O zinco é usado na produção de latão, bronze e ligas resistentes à corrosão, além de ser usado na galvanização do aço e ferro (Elinder, 1986). Também o zinco é utilizado na produção de pigmentos, painéis luminosos, telas de cinescópios e lâmpadas fluorescentes, telhas metálicas para construção civil, baterias, peças de automóveis e equipamentos elétricos, pesticidas,

desodorantes, além do uso medicamentoso, em pomadas e loções de calamina ou de óxido de zinco (Soares, 2008).

Nas águas superficiais ou subterrâneas a concentração de zinco é usualmente menor que 0,01 mg/L, sendo que a água de torneira pode conter altas concentrações de zinco proveniente da corrosão de canos e tubulações metálicas revestidas de zinco (NWQMS, 2004). O zinco, acima do limiar 3-5 mg/L, provoca um indesejável sabor adstringente na água, que quando fervida tende a parecer opalescente e desenvolve uma camada gordurosa na superfície (OMS, 2003d; NWQMS, 2004).

No solo, o conteúdo natural de zinco é estimado na faixa de 1-300 mg/Kg. Em áreas rurais, o zinco atmosférico está em concentrações entre 10-100 ng/m<sup>3</sup>, e em áreas urbanas, entre 100-500 10-100 ng/m<sup>3</sup> (Nriagu *apud* OMS, 2003d). Os alimentos ricos em proteínas, como carne e frutos-do-mar, contêm altos níveis de zinco (10-50 mg/Kg de peso líquido), enquanto grãos, vegetais e frutas são pobres em zinco, contendo normalmente menos de 5 mg/Kg (Elinder, 1986).

O Zinco é um elemento-traço essencial para o ser humano e vários outros organismos e microrganismos (Czajka-Narins, 1998; Santana, 2003). Ele é distribuído por todo o reino animal e vegetal em abundância, estando em segundo lugar em relação ao ferro (Czajka-Narins, 1998). O conteúdo total de zinco em um adulto varia de 1-3 g e encontra-se distribuído em vários tecidos, como pâncreas, fígado, pulmões, músculos, ossos, olhos, glândulas, espermatozóides, sendo que o zinco é um íon primariamente intracelular, com maior quantidade no citosol (Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998).

As funções fisiológicas do zinco incluem (Ferrini *et al.*, 1990; Czajka-Narins, 1998): componente de metaloenzimas, estabilizador de polissomos e das

membranas celulares, essencial na mobilização hepática de vitamina A, participa do crescimento e replicação celular, maturação sexual, fertilidade, funções fagocitária, imunitária celular e humoral, formação óssea, gustação e olfação.

O equilíbrio de zinco é mantido pelas taxas de absorção e excreção no intestino delgado (Czajka-Narins, 1998). A absorção intestinal é passiva e inversamente proporcional à concentração intraluminal, sendo que após liberar-se dos alimentos o zinco forma complexos com ligantes endógenos e exógenos, tendo captação sanguínea por processo ativo (Ferrini *et al.*, 1990).

A circulação plasmática de zinco ocorre ligado à albumina (55%), a aminoácidos (40%) e a macroglobulinas, sendo que a maior parte do zinco no sangue está localizada nos eritrócitos e leucócitos (Ferrini *et al.*, 1990; Czajka-Narins, 1998). O nível de zinco sérico é de cerca de 0,75-1,3 mg/L (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997). A excreção do zinco ocorre principalmente através das fezes, mas também é eliminado por via urinária, descamações da pele, perda de cabelo e emissões de esperma (Ferrini *et al.*, 1990; Czajka-Narins, 1998). A excreção de zinco na urina é de 60-230 µg/g/dia (Ferrini *et al.*, 1990).

A deficiência de zinco (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998) pode provocar hipogonadismo, nanismo, hipospermia, hipogeusia, hiposmia, retardo na cicatrização, déficit imunológico, intolerância à glicose, alterações no comportamento, apatia, alopecia, alergia cutânea, lesões de pele, cegueira noturna e leve anemia.

Em seres humanos, o consumo de grandes quantidades de zinco podem causar náuseas, vômitos, diarreia e cólicas abdominais. Os principais efeitos da exposição de longo termo ao zinco são deficiência de cobre, anemia e erosão gástrica (NWQMS, 2004). Efeitos tóxicos agudo de zinco inalado tem sido

reportado em operários de indústria expostos a emissões gasosas de zinco e os sintomas incluem insuficiência respiratória, febre, calafrios e gastrenterites (Elinder, 1986).

Não existe risco significativo de câncer e doenças cardiovasculares em sujeitos com altos níveis de zinco sérico, quando comparados aos indivíduos com baixos níveis (Kok *et al.*, 1988). Em um estudo de pequena escala com trabalhadores de indústrias de extração de zinco não foi encontrada nenhuma evidência de aumento da mortalidade por algum tipo de câncer (Elinder, 1986).

As amostras analisadas apresentaram valores de concentração de zinco abaixo dos VMP preconizados pelo Conama (2006 & 2008), MS (2004), OMS (2006) e EPA (2008), portanto não tendo risco à saúde humana.

### **6.1.3. Sulfato**

Existe predomínio do sulfato nas amostras de Mairipotaba (PR-5082) e Pontalina (PR-5085), na região norte da área de estudo (figura 12, p. 49), com valores de 1ª ordem, e na amostra de Edéia (PR-5079), com valor de 2ª ordem. A ETA de Mairipotaba ocorre na unidade litoestratigráfica Granitos Tipo Aragoiânia e as de Pontalina e Edéia ocorrem na unidade Ortognaisses do Oeste de Goiás. Tendo em conta que o enxofre não faz parte da composição química das rochas que constituem essas unidades supracitadas, conforme visto anteriormente (pp. 36-7), provavelmente a causa da elevação de sulfato nessas amostras seja antrópica, talvez relacionada com o uso de sulfato de alumínio no tratamento da água (McGuire *et al. apud* OMS, 2003c) ou por contaminação do curso d'água com fertilizantes utilizados nas lavouras locais (Greenwood & Earnshaw, 1997).

O sulfato ( $\text{SO}_4$ ) é um íon que ocorre naturalmente em vários minerais, incluindo a barita ( $\text{BaSO}_4$ ), epsomita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), e gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Greenwood & Earnshaw, 1997). Esses minerais dissolvidos contribuem para o conteúdo mineral de muitas águas consumidas por seres humanos e animais (OMS, 2003c).

Os limiares de sabor para o sulfato na água potável estão na faixa de 250-500 mg/L para o sulfato de sódio, 250-1000 mg/L para sulfato de cálcio e 400-600 mg/L para o sulfato de magnésio (Academia Nacional de Ciência dos EUA *apud* OMS, 2003c). Concentrações de 1000 e 850 mg/L para o sulfato de cálcio e de magnésio, respectivamente, provocam “sabor ofensivo” (Zoeteman *apud* OMS, 2003c).

O sulfato e o ácido sulfúrico são usados na produção de fertilizantes, produtos químicos, tintas, vidro, papel, sabão, têxteis, fungicidas, inseticidas, adstringentes e eméticos. Também são utilizados na mineração, indústria siderúrgica, produção de celulose, processamento de couro e tratamento de esgoto (Greenwood & Earnshaw, 1997). O sulfato de alumínio é usado como agente de sedimentação no tratamento da água potável. O sulfato de cobre pode ser usado no controle de algas em reservatórios de sistemas públicos de distribuição de água (McGuire *et al. apud* OMS, 2003c).

O sulfato é descartado, contaminando água superficiais, a partir de minas e fundições, curtumes, fábricas de têxteis, papel e celulose. Os sulfatos de sódio, potássio e magnésio são altamente solúveis na água, enquanto os de cálcio e de bário e muitos outros sulfatos metálicos são menos solúveis (OMS, 2003c). O sulfato atmosférico, formado pela combustão de combustíveis fósseis e nos processos de fundição metalúrgica, pode contribuir para o conteúdo de sulfato em águas superficiais. O trióxido sulfúrico, produzido pela oxidação fotocatalítica ou

catalítica do sulfato, pode combinar-se com vapor de água e formar ácido sulfúrico diluído, que cai como “chuva ácida” (Deslile & Schmidt *apud* OMS, 2003c). Os níveis de sulfato nas águas superficiais ou em precipitações correlacionam-se com as emissões de dióxido de enxofre de causa antrópica (Keller & Pitblade *apud* OMS, 2003c). A concentração aquática de sulfato pode ser aumentada pelo tratamento da água potável (OMS, 2003c).

Os sulfatos não ocorrem naturalmente nos alimentos, mas são usados como aditivos na indústria de alimentos. A ingestão diária de sulfato na comida nos Estados Unidos é estimada em 453 mg/dia. Assim a ingestão diária total de sulfato a partir da inalação aérea, do consumo de água e de alimentos é aproximadamente 500 mg/dia, sendo o alimento a maior fonte. Entretanto em regiões que a água potável tem altos níveis de sulfato, a água pode ser a principal fonte de exposição a esse íon (OMS, 2003c).

Não existem evidências que o sulfato na água potável possa causar efeitos adversos na saúde humana (Backer *apud* OMS, 2003c). Alguns estudos indicam que o sulfato pode ter efeito laxativo em concentrações de 1000-1200 mg/L, porém não provoca diarreia, desidratação ou perda de peso (OMS, 2003c).

As amostras analisadas apresentaram valores de concentração de sulfato bem abaixo dos VMP preconizados pelo Conama (2006 & 2008), MS (2004), OMS (2006) e EPA (2008), não tendo risco à saúde humana.

#### **6.1.4. Manganês**

Em relação à distribuição do manganês (figura 13, p. 49), há tendência de predomínio do íon nas ETAs dos municípios de Itumbiara (JA-5161), Mairipotaba (PR-5082) e Inaciolândia (PR-5028), respectivamente nas regiões sudeste, norte

e sudoeste, com valores de 1ª ordem nas amostras. As ETAs de Itumbiara e Inaciolândia se encontram em região da unidade litoestratigráfica Formação Serra Geral, já a de Mairipotaba localiza-se na unidade Granitos Tipo Aragoiânia. Essas duas unidades geológicas podem apresentar o manganês na composição química de suas rochas (ver p. 36). Assim possivelmente a explicação para a elevação desse elemento nas amostras acima referidas seja uma causa natural, de ordem geológica.

O manganês é um dos mais abundantes metais da crosta terrestre, usualmente ocorrendo com o ferro. Compõe de mais de cem minerais, porém não é encontrado em sua forma elementar (pura) na natureza (ATDSR, 2000). O manganês é um elemento-traço essencial para a fisiologia humana e animal, visto que é requerido para o funcionamento de muitas enzimas celulares (manganês-superóxido dismutase, piruvato carboxilase) e pode servir para a ativação de muitas outras (cinases, descarboxilases, transferases, hidrolases) (OMS, IPCS, 2002). O manganês pode existir em onze estados oxidativos, tendo maior importância biológica e ambiental o  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{4+}$  e  $Mn^{7+}$  (EPA, 1994).

Quando sua concentração excede 0,1 mg/L, o íon manganês provoca um indesejável sabor na água (Griffin *apud* OMS, 2004). Em concentrações tão baixas como 0,02 mg/L, o manganês pode formar precipitações escuras em encanações domésticas de água (Bean *apud* OMS, 2004).

Manganês é utilizado principalmente na manufatura de ligas metálicas e como ingrediente em vários produtos, como baterias, vidro e fogos de artifício (ATDSR, 2000). O permanganato de potássio é usado como um oxidante para propósitos de limpeza, alvejamento e desinfecção (NLM, HSDB, 2001). O manganês pode ser usado em algumas localidades para o tratamento da água potável (ATDSR,

2000). Um composto orgânico de manganês, o metilciclopentadienil manganês tricarbonilo (MMT), é usado como um aditivo de gasolina em lugar do tetraetilchumbo no Canadá, Estados Unidos, Europa, Ásia e América do Sul (Lynam *et al.*, 1999). Outros compostos de manganês são usados em fertilizantes, vernizes, fungicidas e como suplemento alimentar em pecuária (NLM, HSDB, 2001).

Em águas superficiais o manganês ocorre nas duas formas, suspensa e dissolvida, dependendo de fatores físico-químicos como pH, ânions presentes e potencial oxirredutivo (ATDSR, 2000). Águas subterrâneas anaeróbicas freqüentemente contem elevados níveis de manganês dissolvido. O manganês pode ser bioacumulado em microorganismos aquáticos (fitoplancton, algas, moluscos e alguns peixes), porém não em macroorganismos. Não se espera que a sua biomagnificação em cadeias alimentares seja significativa (ATDSR, 2000). Apesar de que o manganês ocorre naturalmente tanto em águas superficiais quanto profundas, que é um fenômeno resultante da erosão do solo para dentro do corpo aquático, a ação antrópica também é responsável por muitas das contaminações aquáticas por manganês em algumas áreas (OMS, 2004).

O manganês é um elemento essencial em muitos organismos, inclusive seres humanos (OMS, 2004). Algumas enzimas, como a manganês superóxido dismutase, requerem o manganês em sua composição ou, como as cinases e descarboxilases, são ativadas por esse elemento (Ferrini *et al.*, 1990; Czajka-Narins, 1998). Existe cerca de 10-20 mg de manganês no organismo humano adulto, principalmente no fígado, ossos, pâncreas e hipófise (Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998) e está associado à formação de tecido conjuntivo, ossificação, crescimento, reprodução, metabolismo glicídico e lipídico (Czajka-Narins, 1998).

Efeitos adversos sobre a saúde podem ser causados pela ingestão deficiente ou excessiva de manganês. A deficiência desse elemento em humanos parece ser rara, porque o manganês está presente em muitos alimentos comuns. Animais mantidos experimentalmente com dietas deficientes em manganês apresentam problemas de crescimento, anormalidades esqueléticas, distúrbios reprodutivos, ataxia em neonatos e defeitos no metabolismo lipídico e glicídico (Hurley & Keen, 1987). Em humanos a deficiência de manganês tem sintomas de perda de peso, dermatite transiente, náusea, vômito, mudanças na cor e lentificação do crescimento do cabelo e barba (Czajka-Narins, 1998).

Efeitos neurológicos têm sido bem documentados em humanos expostos cronicamente a elevados níveis de manganês por via inalatória no ambiente de trabalho (Roels *et al*, 1999; ATDSR, 2000). A síndrome conhecida como “manganismo” é causada pela exposição a altíssimos níveis de manganês em poeiras ou fumaças (mais que 1 mg/m<sup>3</sup>), sendo caracterizada por um quadro de parkinsonismo secundário à intoxicação, que inclui sintomas como fraqueza, anorexia, dor muscular, apatia, fala lentificada, hipofonia, hipomímia e bradicinesia, e tal quadro pode ser irreversível (Roels *et al*, 1992).

O manganês é reportado como um dos mais tóxicos elementos quando ingerido, entretanto existem algumas controvérsias quanto a se os efeitos neurológicos observados na exposição via inalatória também ocorram na via oral (OMS, 2004).

Um estudo de caso relata sobre um indivíduo que desenvolveu manganismo após usar suplementos minerais por vários anos (Banta & Markesbery *apud* OMS, 2004). Outro relato de caso reporta um quadro de parkinsonismo em indivíduo que ingeriu permanganato de potássio de manganês numa dose de 1,8 mg/kg de

peso corporal durante quatro semanas, e tais sintomas apareceram nove meses depois da ingestão (Holzgraete *et al apud* OMS, 2004).

Um antigo estudo epidemiológico conduzido no Japão na década de 40 (Kawamura *et al apud* OMS, 2004) descreve efeitos adversos em seres humanos que consumiram manganês dissolvido em água potável em concentrações próximas a 28 mg/L, sendo esta contaminação proveniente de quatrocentas baterias elétricas abandonadas próximas de uma fonte de água potável. Quinze casos de envenenamento foram relatados entre vinte e cinco pessoas examinadas, com sintomas de letargia, hipertonia, tremor e distúrbios mentais, sendo os mais severos efeitos prevalentes entre idosos e ausentes em crianças menores de seis anos de idade.

As amostras analisadas apresentaram valores de concentração de manganês bem abaixo dos VMP preconizados pelo Conama (2006 & 2008), MS (2004), OMS (2006) e EPA (2008), não tendo portanto risco à saúde humana.

## **6.2. A Associação 2 (Ca-Sr-Mg)**

A associação 2 (Ca-Sr-Mg) pode ser encontrada nas amostras de Edéia (PR-5079) e Mairipotaba (PR-5082). A ETA de Edéia apresentou valores de 1ª ordem de Ca e Sr, e de 2ª ordem de Mg. A ETA de Mairipotaba apresentou valores de 1ª ordem de Ca e Sr, e de 3ª ordem de Mg.

### **6.2.1. Cálcio**

Há valores de 1ª ordem de cálcio (figura 14, p. 50) nas amostras dos municípios de Edéia (PR-5079) e Mairipotaba (PR-5082), na região norte da área de estudo. A ETA de Edéia encontra-se na unidade litoestratigráfica Ortognaisses do Oeste

de Goiás e a ETA de Mairipotaba na unidade Granitos Tipo Aragoiânia. Essas unidades litoestratigráficas apresentam rochas que ricas em cálcio (ver PP. 36-7). Portanto, a provável causa da elevação do teor de cálcio nessas amostras seja natural, de ordem geológica.

O cálcio (Ca) é o quinto elemento químico mais abundante na crosta terrestre (46.000 ppm ou 4,66%), ocorrendo por todo o mundo na forma de muitos minérios comuns (Pádua, 2005), por isto não é classificado como elemento-traço (Guilherme *et al.*, 2005). É um metal alcalino-terroso (Barbalace, 2007a) e seus íons tem a configuração eletrônica semelhante a dos gases nobres (Pádua, 2005). Em sua forma pura, o cálcio se apresenta como um metal de baixa dureza, prateado, que reage facilmente com o oxigênio presente no ar e na água (Barbalace, 2007a).

O cálcio não pode ser encontrado em estado natural no meio ambiente, mas como constituinte de rochas ou minerais de grande interesse industrial, por exemplo as que apresentam em sua composição carbonatos (mármore, calcita, calcário e dolomita) e sulfatos (gipso, alabastro), a partir dos quais se obtém a cal viva, o estuque, o cimento, etc (Winter, 1993a; Peixoto, 2004). Existem na natureza grandes depósitos sedimentares de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) formando montanhas inteiras de calcário, mármore e greda, incluindo também os corais (Pádua, 2005).

Segundo Pádua (2005), a Dolomita é um mineral de origem calcária que foi recristalizada pela natureza. A Dolomita tem em média 30% de cálcio, 20% de Magnésio e cerca de 8% de outros minerais. É extraída de rochas ou jazidas através de um processo higiênico, e depois triturada em moinhos elétricos. Pode conter ferro, alumínio e sílica na composição. É usada em terapias alternativas,

como cataplasmas, compressas, banhos, bochechos e pó para curativos, sendo-lhe atribuídos efeitos anti-inflamatórios, analgésicos e anti-tóxicos.

No ser humano, o cálcio é um macro-elemento essencial, representando cerca de um quilograma (1,5%) do peso corporal de um indivíduo adulto de setenta quilos (Czajka-Narins, 1998; Barbalace, 2007a). No adulto cerca de 99% do cálcio está localizado nos ossos e dentes (Williams, 1997), principalmente sob a forma de hidroxiapatita, uma rede composta por fosfato de cálcio (Czajka-Narins, 1998). O restante, cerca de 1%, encontra-se no fluido extracelular, sangue e em outros tecidos (Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998).

Tem importância vital em vários processos fisiológicos, como o da coagulação sangüínea, a transmissão dos impulsos nervosos, a manutenção do mecanismo de contração e o relaxamento das musculaturas esquelética e cardíaca, as ativações enzimáticas, a regulação das glândulas endócrinas e exócrinas e a manutenção da integridade e da permeabilidade da membrana celular, principalmente em relação ao mecanismo de troca sódio/potássio (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998).

Os valores de referência para o cálcio no ser humano (Doles, 2007) são:

- Adultos (soro): 8,8 a 10,6 mg/dL.
- Crianças (soro): 8,5 a 11 mg/dL.
- Urina de adultos: 50 a 300 mg/dL.

A ingestão diária recomendada de cálcio para o ser humano (Ferrini *et al.*, 1990) é 800-1200 mg para adultos, 800 mg para crianças e 400-600 mg para lactentes. A principal fonte é a alimentação (leite), sendo que a ingestão pela água costuma ter pouco impacto no fornecimento diário do elemento (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998).

Segundo Motta (2000), a hipercalcemia é a existência de cálcio sérico total acima de 10,5 mg/dl em adultos e é um problema potencialmente sério que pode levar à enfermidade renal, arritmias cardíacas e mau estado geral. Segundo Paula & Foss (2003), cerca de 90% das hipercalcemias se devem ao hiperparatireoidismo primário ou neoplasias malignas que afetam a função das glândulas paratireóides, provocando aumento da secreção de paratormônio.

Mais que 60% das hipercalcemias são assintomáticas e seus sinais e sintomas não são específicos, sendo comuns aqueles relacionados com o sistema neuromuscular, tais como fadiga, mal-estar e fraqueza muscular (quando o cálcio sérico está entre 10,6 e 12 mg/dL) ou mesmo sintomas cognitivos, como depressão, apatia e incapacidade de concentração, estando cálcio sérico maior que 12 mg/dL (Motta, 2000). Outras manifestações (Paula & Foss, 2003) são: gastrintestinais (dispepsia, constipação, anorexia, náusea e vômito), urinárias (poliúria, polidipsia, nefrocalcinose) e cardiovasculares (hipertensão arterial e alterações de ritmo cardíaco).

Segundo Motta (2000), a hipocalcemia é a deficiência de cálcio sérico normalmente relacionada às variáveis que afetam fisiologicamente o cálcio ionizado ativo, principalmente em relação ao teor de proteínas plasmáticas (hipoalbuminemia) e pH sanguíneo (acidez). O déficit de cálcio resulta em osteoporose, fraturas ósseas, raquitismo, diarreia, perda de peso (Ferrini *et al.*, 1990), parestesia, câibras musculares e, nos casos mais graves, laringoespasmos, convulsão, tetania e evoluir para óbito (Paula & Foss, 2003).

As amostras analisadas apresentaram valores de concentração de cálcio bem abaixo dos VMP preconizados pelo Conama (2006) e OMS (2006), assim não têm risco à saúde humana, seja pelo excesso ou pela carência.

### 6.2.2. Estrôncio

Conforme o mapa de distribuição do estrôncio (figura 15, p. 51), o elemento apresenta valores de 1ª ordem nas amostras dos municípios de Edéia (PR-5079) e Mairipotaba (PR-5082), na região norte/noroeste da área de estudo, e valores de 2ª ordem nas amostras de Castelândia (JA-5054) e Turvelândia (JA-5057), na região oeste. A ETA de Edéia encontra-se na unidade litoestratigráfica Ortognaisses do Oeste de Goiás, a ETA de Mairipotaba na unidade Granitos Tipo Aragoiânia, e as de Castelândia e Turvelândia na Formação Serra Geral. Essas unidades litoestratigráficas não apresentam normalmente o estrôncio em sua composição mineral, conforme visto anteriormente (pp. 35-7). Portanto a causa da elevação da concentração do elemento nessas amostras de água talvez seja antropogênica, provavelmente pelo uso de fertilizantes de origem calcária ricos em celestita na agricultura local (ATDSR, 2004).

O estrôncio é um metal alcalino-terroso que ocorre naturalmente em rochas, solo, poeira, carvão, petróleo, água superficiais e subterrâneas, ar, plantas e animais na forma de quatro isótopos estáveis, Sr-84 (0,56%), Sr-86 (9,86%), Sr-81 (7,0%) e Sr-88 (82,58%), estando presente amplamente no ambiente em diminutas concentrações, numa média de 340ppm nas rochas ígneas (ATDSR, 2004), sendo assim classificado como elemento-traço (Guilherme *et al.*, 2005). O estrôncio não ocorre naturalmente na forma livre, mas sempre combinado a outras substâncias devido à sua alta reatividade (Winter, 1993c).

Os minerais de estrôncio comercialmente importantes são a celestita, que contém sulfato de estrôncio, e a estroncianita, com carbonato de estrôncio. A celestita é a principal fonte de estrôncio, sendo encontrada em depósitos sedimentares em

quantidade suficiente para que a sua mineração seja rentável. Atualmente, os depósitos de estroncianita economicamente viáveis são escassos (ATDSR, 2004). A principal aplicação do estrôncio é em cristais para tubos de raios catódicos de televisores em cores, filtrando os raios X e evitando que incidam sobre o telespectador. Compostos de estrôncio são utilizados na manufatura de produtos de cerâmica e vidro, material pirotécnico, pigmentos de tintas, lâmpadas fluorescentes e medicamentos (ATDSR, 2004).

A exposição humana ao estrôncio estável ocorre primariamente pela ingestão de água e alimentos, e em menor grau pela inalação. O conteúdo de estrôncio no ar é cerca de 20 ng/m<sup>3</sup>, com altas concentrações resultantes de emissões da queima de carvão vegetal. O estrôncio está presente em quase todas as águas doces em quantidades aproximadamente de 0,5-1,5 mg/L, com altos níveis ocorrendo onde há depósitos de calcário ricos em celestita. A concentração média de estrôncio estável no solo é cerca de 240 mg/kg, entretanto os solos tratados com fertilizantes de fosfato ou calcário podem conter 610 mg/kg. Visto que o estrôncio é quimicamente similar ao cálcio, ele pode ser retirado do solo por frutas e vegetais. A concentração de estrôncio em frutas é de 0,0416 a 2,232 µg/L. A exposição diária total estimada ao estrôncio estável é aproximadamente 3,3 mg/dia (0,046 mg/kg/dia): 400 ng/dia pela inalação, 2 mg/dia pela água potável e 1,3 mg/dia através da dieta. Assumindo uma referência de peso corporal de 70 kg, a exposição diária típica de estrôncio é de 46 mg/kg de peso corporal. O conteúdo de estrôncio do corpo humano é cerca de 4,6 ppm do peso corporal, 99% do qual está localizado nos ossos e dentes. O valor normal de estrôncio sérico está entre 20 e 31 µg/L (ATDSR, 2004).

A função fisiológica do estrôncio é similar a do cálcio, sendo importante na mineralização óssea e dental, coagulação sanguínea, excitabilidade nervosa, contração muscular e secreção hormonal. A deficiência de estrôncio está relacionada à osteoporose senil (Ferrini *et al.*, 1990).

Não existe evidência direta de toxicidade do estrôncio em seres humanos sob exposição ambiental normal. Altas doses orais de estrôncio parecem ter efeito toxicológico em animais de laboratório provocando raquitismo. Adolescentes subnutridos são particularmente vulneráveis ao estrôncio, que, como um substituto imperfeito do cálcio, interfere na mineralização óssea de esqueletos em desenvolvimento. O cromato de estrôncio é carcinogênico pela inalação, entretanto a sua genotoxicidade está relacionada ao cromo hexavalente e não ao estrôncio (ATDSR, 2004).

As amostras analisadas apresentaram valores de concentração de estrôncio bem abaixo dos VMP preconizado pela EPA (ATDSR, 2004), não tendo risco à saúde humana.

### **6.2.3. Magnésio**

O mapa de distribuição do magnésio (figura 16, p. 52), demonstra um predomínio do íon, com valores de 2ª ordem, nos municípios de Pontalina (PR-5085) e Edéia (PR-5079), na região norte/noroeste da área de estudo. Essas ETAs encontram-se na unidade litoestratigráfica Ortognaisses do Oeste de Goiás, cujas rochas apresentam o magnésio em sua constituição química (p. 37). Desta maneira, é bem provável que a fonte para esse aumento da concentração do Mg na água das referidas amostras seja natural.

O magnésio é o sexto elemento mais abundante na crosta terrestre (27.640 ppm ou 2,76%) e entra na constituição do mineral dolomita, muito comum, e também de minerais do grupo dos silicatos (olivina, talco, crisotilo) e micas (Pádua, 2005). Como o cálcio, é um metal alcalino-terroso (Barbalace, 2007a) e seus íons tem a configuração eletrônica semelhante a dos gases nobres (Pádua, 2005). Também não é classificado como elemento-traço (Guilherme *et al.*, 2005).

O magnésio é um metal bastante resistente e leve, possui coloração prateada e, quando pulverizado e exposto ao ar, se inflama, produzindo uma chama branca e formando óxido de magnésio (Winter, 1993b).

A principal aplicação industrial do magnésio é como elemento de liga com alumínio, mas também tem vários outros usos, tais como: aditivo em propelentes convencionais, obtenção de fundição nodular (Fe-Si-Mg), agente redutor na obtenção de urânio e outros metais a partir de seus sais, uso medicamentoso (hidróxido, cloreto, sulfato e citrato), uso no esporte para eliminar suor das mãos (pó de carbonato de magnésio), na composição de flashes fotográficos, uso na pirotecnia e em bombas incendiárias (Friedrich & Mordike, 2006).

O magnésio é o quarto cátion mais abundante no organismo humano e o segundo cátion mais concentrado no compartimento intracelular, sendo que sua concentração no líquido intracelular é aproximadamente dez vezes maior que no líquido extracelular, e o conteúdo total de magnésio no corpo cerca de 24 g (Motta, 2000), numa proporção de 60% nos ossos, 26% nos músculos e o restante nos tecido moles e líquidos corpóreos (Czajka-Narins, 1998).

Os níveis séricos normais de magnésio estão na faixa de 0,75 a 1,1 mmol/L (Czajka-Narins, 1998), sendo 70% na forma livre ou iônica e 30% ligado à albumina, proteínas, citrato e fosfato (Motta, 2000).

Entre as funções fisiológicas do magnésio salienta-se (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998): composição óssea; ativador de inúmeros sistemas enzimáticos que controlam o metabolismo, o transporte celular e a integridade da membrana celular; mediador da contração muscular e da transmissão do impulso nervoso; e cofator da fosforilação oxidativa.

Somente 30-40% do magnésio ingerido é absorvido e o restante é eliminado nas fezes, sendo que a absorção pode ser afetada pela quantidade de cálcio, fosfato, proteína, lactose ou álcool presentes na dieta (Motta, 2000). A ingestão diária recomendada de magnésio para o ser humano (Ferrini *et al.*, 1990) é 270-400 mg para adultos, 80-170 mg para crianças e 40-60 mg para lactentes. O magnésio é excretado na urina e fezes (Motta, 2000).

A deficiência orgânica de magnésio, que geralmente acompanha desordens no metabolismo do cálcio, potássio e fósforo, provoca confusão mental, convulsão, ataxia, tremor, distonia, mudanças de personalidade, anorexia, náuseas, vômitos, diarréia, dores abdominais, taquicardia, arritmia, hipertensão arterial. O excesso de magnésio é geralmente provocado por insuficiência renal, mas pode estar relacionado com ingestão excessiva, cetoacidose diabética, hipercalcemia-hipocalciúria familiar, ingestão de lítio e insuficiência da glândula adrenal. A intoxicação pelo magnésio provoca hipocalcemia transitória, sintomas neuromusculares (arreflexia, fraqueza muscular generalizada, insuficiência respiratório por paralisia muscular) e cardiotoxicidade, com alterações eletrocardiográficas (intervalos prolongados de P-R, QRS e onda T elevada) e risco de parada cardíaca (Ferrini *et al.*, 1990; Williams, 1997; Czajka-Narins, 1998; Motta, 2000).

As amostras analisadas apresentaram valores de concentração de magnésio bem abaixo dos VMP preconizados pelo Conama (2006) e OMS (2006), assim não têm risco à saúde humana.

### **6.3. Chumbo**

Foi encontrada uma concentração anômala de chumbo na amostra de água de Cromínia (0,041 mg/L). Esse valor está acima do VMP pelo Conama (2006 & 2008), MS (2004), OMS (2006) e EPA (2008). A ETA de Cromínia localiza-se na unidade litoestratigráfica B do Grupo Araxá, cuja composição química apresenta os elementos cálcio, carbono, oxigênio, hidrogênio, alumínio, silício, magnésio, ferro, flúor, cromo, manganês, titânio, potássio e sódio. Assim, a causa dessa contaminação não parece ser natural (geológica), a não ser que haja algum depósito natural de chumbo em algum ponto do curso d'água que abastece a ETA de Cromínia. Se a causa for antrópica, pode ser que haja um lixão cujo xorume esteja contaminando a bacia local.

O Chumbo é o mais comum dos elementos-traço, tendo 13 ppm na crosta terrestre. Existem na natureza muitos isótopos estáveis de chumbo, incluindo, em ordem de abundância,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  e  $^{204}\text{Pb}$  (OMS, 2004). O chumbo é usado na produção de baterias, soldas, ligas, pigmentos, inibidores de ferrugem, munições, esmaltes e estabilizadores plásticos (OMS, 1989). O arseniato de chumbo pode ser utilizado na produção de pesticidas agrícolas (Machado *et al.*, 2008).

O tetraetil-chumbo e o tetrametil-chumbo são importantes devido ao seu uso extensivo como componentes antidetonantes no petróleo, porém sua utilização com esse propósito tem sido completamente abandonada na América do Norte e

Europa Ocidental, porém não ainda no Leste Europeu ou em muitos países em desenvolvimento (OMS, 2004). O uso quase universal do chumbo em soldas e acessórios de encanações em antigos sistemas de distribuição de água é muito importante, do ponto de vista da qualidade de água potável (Quinn & Sherlock, 1990).

As concentrações de chumbo no ar dependem de uma série de fatores, incluindo a proximidade de estradas e de fontes pontuais. Se for assumida uma concentração média no ar de  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a absorção de chumbo via inalatória pode ser calculada na faixa de  $0,5 \mu\text{g}/\text{dia}$  em crianças e  $4 \mu\text{g}/\text{dia}$  em adultos (OMS, 2004). Compostos plumbosos, como tetraetil-chumbo, são colocados na atmosfera por veículos automotivos e pelas indústrias, podendo ser levados para longe e depositados pela chuva (Machado *et al.*, 2008).

O chumbo pode estar presente na água potável, sendo proveniente principalmente de sistemas de encanação que contenham esse elemento nos canos, conexões, soldas ou acessórios, mas também se originando da dissolução a partir de fontes naturais. Canos de PVC também contêm compostos de chumbo que podem ser lixiviados, resultando em altas concentrações de chumbo na água potável. A quantidade de chumbo dissolvido a partir de sistemas de encanação depende de muitos fatores, como a presença de cloreto e oxigênio dissolvido, pH, temperatura, dureza e tempo de estagnação da água, sendo a água ácida e de baixa dureza a mais solvente para o chumbo (Schock *apud* OMS, 2004).

Se for assumida uma concentração média na água potável de  $5 \mu\text{g}/\text{L}$ , a ingestão total de chumbo pode ser calculada na faixa de  $3,8 \mu\text{g}/\text{dia}$  em crianças e  $10 \mu\text{g}/\text{dia}$  em adultos (OMS, 2004). Os alimentos preparados em utensílios de cozinha ou armazenados em vasilhames e latas que contenham chumbo podem ter

pequenas quantidades desse elemento que podem ser significantes para a saúde (Quinn & Sherlock, 1990).

O solo e a poeira doméstica podem ser fontes significantes de exposição ao chumbo para pequenas crianças, porém os níveis são altamente variáveis, numa faixa desde menos de 5 ppm até 10 mil ppm em áreas contaminadas (Clausing *et al apud* OMS, 2004).

Mais de 80% da exposição diária ao chumbo ocorre por via inalatória e pela ingestão de alimentos contaminados. Numa concentração de 5 µg/L na água potável, a exposição média ao chumbo é relativamente pequena em crianças e adultos, mas pode ser significativa em lactentes (OMS, 2004).

Tem sido sugerido que o chumbo seja um elemento-traço essencial ao ser humano, entretanto essa essencialidade ainda não foi confirmada (Czajka-Narins, 1998). O chumbo pode ser tóxico em lactentes, crianças até seis anos de idade e fetos, sendo que principalmente as mulheres grávidas são mais suscetíveis aos efeitos adversos sobre a saúde. Os efeitos do chumbo no sistema nervoso central podem ser particularmente sérios (OMS, 2004).

Na intoxicação aguda por chumbo a sintomatologia inclui irritabilidade, déficit de atenção, cefaléia, tremores musculares, cólicas abdominais, danos nos rins, alucinações e perda de memória, sendo que em doses sanguíneas de 100-120 µg/dL em adultos e 80-100 µg/dL em crianças pode ocorrer encefalopatia (OMS, 2004). A intoxicação crônica por chumbo, com níveis sanguíneos em adultos de 50-80 µg/dL, incluem sinais de fadiga, insônia, irritabilidade, cefaléias, dor articular e sintomas gastrintestinais. Depois de 1-2 anos de exposição ocupacional ao chumbo, foram observados nos indivíduos acometidos sintomas de fraqueza

muscular, problemas gastrintestinais, baixo desempenho em testes psicométricos, distúrbios no humor e sintomas de neuropatia periférica (EPA, 1986).

O sistema nervoso, central e periférico, é o principal alvo que mais sofre sérias conseqüências da intoxicação pelo chumbo, que inclui efeitos adversos neurológicos e comportamentais (OMS, 2004). O chumbo provoca disfunções reprodutivas em ambos os sexos (EPA, 1986; Lancajan *apud* OMS, 2004).

Efeitos de mutagenicidade e carcinogenicidade do chumbo têm sido reportados em vários estudos epidemiológicos, entretanto com evidências ainda inadequadas ou dados conflitantes (Agência Internacional para a Pesquisa do Câncer *apud* OMS, 2004).

Conforme os dados epidemiológicos expostos na figura 23, verifica-se que em Cromínia a mortalidade, em ordem decrescente, relaciona-se a doenças cardiovasculares, lesões/envenenamentos/conseqüências de causas externas, achados anormais em exames clínicos e laboratoriais, câncer e doenças infecciosas/parasitárias. Já a morbidade hospitalar, em ordem decrescente, apresenta incidência predominante de gravidez/parto/ puerpério, cardiovasculares, doenças digestivas, causas externas, câncer e doenças respiratórias.

A intoxicação por chumbo relaciona-se com distúrbios neurológicos, renais, gastrintestinais, dores articulares, disfunção reprodutiva e carcinogenicidade (OMS, 2004; EUA, EPA, 1986; Lancajan *apud* OMS, 2004; Agência Internacional para a Pesquisa do Câncer *apud* OMS, 2004). Desta maneira, pode até haver uma pequena correlação entre a concentração anormal de chumbo na água de Cromínia e a morbimortalidade dos transtornos digestivos e do câncer, apesar de

que esses transtornos também se relacionam a vários fatores como tabagismo, etilismo, infecções, hábitos alimentares, etc. (Goldman & Ausiello, 2004).

#### **6.4. Nitrato**

Foram encontrados valores anômalos de nitrato nas amostras de Quirinópolis (17 mg/L) e Morrinhos (307,8 mg/L), sendo que tais concentrações estão acima dos VMP pelo Conama (2006 & 2008), MS (2004) e EPA (2008). A ETA de Quirinópolis encontra-se na unidade litoestratigráfica Formação Serra Geral. Já a ETA de Morrinhos encontra-se na unidade Cobertura Detrito-Laterítica Ferruginosa. Tais unidades não apresentam nitrato ou compostos nítricos em sua composição química (ver pp. 35-7). A causa de contaminação das referidas amostras de água talvez esteja relacionada a lixiviação do solo, que pode conter elevada carga de nitrato de causa natural ou antrópica (pelo uso de fertilizantes nitrogenados), e também efluentes domésticos, como esgoto originado por suinocultura ou bovinocultura em confinamento instalada às margens do córrego, podem estar provocando a contaminação (Silva & Araújo, 2003).

O nitrato e o nitrito são íons que ocorrem naturalmente como parte do ciclo do nitrogênio. O íon nitrato ( $\text{NO}_3^{-1}$ ) é a forma estável de nitrogênio combinado nos sistemas oxigenados. Apesar de ser pouco reativo quimicamente, ele pode ser reduzido pela ação microbiana (OMS, 2007). O íon nitrito ( $\text{NO}_2^{-1}$ ) contém nitrogênio em um estado oxidativo de relativa instabilidade. Os processos biológicos e químicos podem reduzir o nitrito em vários compostos ou oxidá-lo em nitrato (EPA, 1987).

O nitrato é usado principalmente em adubos inorgânicos. Também é utilizado como agente oxidante e na produção de explosivos, e o nitrato purificado de

potássio é usado na fabricação de vidro. Nitrato de sódio é utilizado como conservante alimentar, especialmente em carnes (OMS, 2007).

O Nitrato pode ser encontrado em águas superficiais e profundas como consequência de atividade agrícola, devido ao excesso de aplicação de fertilizantes inorgânicos nitrogenados e adubos orgânicos (estrume), ou proveniente do tratamento de águas residuais e da oxidação de resíduos nitrogenados nas fezes humanas e animais, inclusive nas fossas sépticas. O nitrito também pode ser formado quimicamente em canos de distribuição de água por bactérias *Nitrosomonas* durante a estagnação do conteúdo de nitrato, em água potável pobre em oxigênio dentro de canos de aço galvanizado ou em sistemas de tratamento de água em que a cloração é utilizada para desinfecção e o processo não está suficientemente bem controlado (OMS, 2007).

A concentração de nitratos nas águas superficiais é normalmente baixa, numa faixa de 0-18 mg/L, mas pode atingir níveis elevados, como resultado de contaminação antrópica. As concentrações de nitrato têm aumentado gradualmente em muitos países europeus nas últimas décadas e, em alguns casos, têm duplicado nos últimos 20 anos. No Reino Unido, por exemplo, um aumento médio anual de 0,7 mg/L de nitrato tem sido observado em alguns rios (Young & Morgan-Jones *apud* OMS, 2007).

A concentração de nitrato em aquíferos sob condições aeróbias é de poucas miligramas por litro, dependendo do tipo de solo e da situação geológica (OMS, 2007). Nos Estados Unidos ocorrem concentrações naturais que não excedem 4-9 mg/L, no caso do nitrato, e 0,3 mg/L para o nitrito (EPA *apud* OMS, 2007). Como resultado de atividades agrícolas, os níveis de nitrato podem facilmente atingir várias centenas de miligramas por litro, como por exemplo em águas

profundas de uma área agrícola na Índia, cuja concentração de nitrato encontrada foi até próximo de 1500 mg/L (Jacks & Sharma *apud* OMS, 2007). Níveis elevados de nitratos na água indicam contaminação por disposição inadequada de dejetos humanos, industriais ou de indústrias alimentícias, além do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura (Silva & Araújo, 2003).

Concentrações de nitrato na água de chuva de até 5 mg/L foram observados em áreas industriais. Nas zonas rurais, as concentrações são um pouco inferiores (van Duijvenboden & Matthijsen *apud* OMS, 2007).

No solo, fertilizantes inorgânicos nitrogenados e resíduos orgânicos nitrogenados são decompostos em amônia, que é depois oxidada em nitrito e nitrato. O nitrato é absorvido pelas plantas durante o seu crescimento e utilizado na síntese de compostos orgânicos nitrogenados. O excedente de nitrato prontamente se move com as águas subterrâneas (van Duijvenboden & Matthijsen *apud* OMS, 2007).

Compostos nitrogenados atmosféricos são formados por um relâmpago ou emitidos no ar a partir de processos industriais, de veículos automóveis e da agricultura intensiva. Os nitratos estão presentes no ar primariamente sob a forma de ácido nítrico e aerossóis inorgânicos, bem como radicais de nitrato e gases ou aerossóis orgânicos. Eles são removidos por deposição seca e úmida (OMS, 2007). As concentrações de nitrato atmosférico variam numa faixa de 0,1-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , numa média de 1-8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Prospero & Savoie *apud* OMS, 2007; Janssen *et al.* *apud* OMS, 2007).

Vegetais e carnes são as principais fontes de nitrato na dieta humana, sendo que carnes podem conter níveis de nitrato numa faixa de 2,7-945 mg/Kg e muitos vegetais e frutas contem concentrações de nitrato entre 200-2500 mg/Kg (van Duijvenboden & Matthijsen *apud* OMS, 2007).

O ar parece ser a menor fonte de exposição ao nitrato. Quando as concentrações de nitrato na água potável são menores que 10 mg/L, os alimentos, especialmente os vegetais, são as principais fontes de exposição ao nitrato (Chilvers *et al. apud* OMS, 2007).

Entretanto, quando os níveis de nitrato na água potável excedem 50 mg/L, a ingestão hídrica passa a ser a principal fonte de exposição ao nitrato, especialmente em lactentes. Na população da Holanda, a exposição total média ao nitrato é aproximadamente de 140 mg/dia, sendo a contribuição da água menor que 14% da ingestão total de nitrato (OMS, 2007).

A toxicidade do nitrato em humanos ocorre principalmente porque ele é reduzido a nitrito no sistema gastrointestinal. O nitrito provoca meta-hemoglobinemia, que é um quadro de redução dos níveis de hemoglobina normal no sangue, que é transformada em meta-hemoglobina pelo nitrito, sendo esta incapaz de transportar oxigênio. O aumento da meta-hemoglobina provoca cianose e, em altas concentrações, asfixia. Os lactentes são mais suscetíveis à meta-hemoglobinemia provocada pelo nitrato/nitrito, mas tem sido relatados casos em adultos que consumiram grandes doses de nitrato por acidente ou em tratamento médico (Speijers *et al. apud* OMS, 2007).

Casos fatais em adultos tem sido reportados após ingestão única de nitrato em concentrações de 4-50 gramas, num equivalente de 67-833 miligramas de nitrato por quilograma de peso corporal (OMS, 2007).

Quanto à carcinogenicidade do nitrato, tem sido encontrada alguma evidência da relação da ingestão de nitrato e o aparecimento de câncer gástrico ou esofágico (Speijers *et al. apud* OMS, 2007; Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA *apud*

OMS, 2007). Não existem evidências que estabeleçam uma associação da ingestão de nitrato ou nitrito com outros tipos de câncer (Möller *apud* OMS, 2007). Na Austrália tem sido relatada a ocorrência de malformações congênitas provocadas por consumo de água potável com grandes concentrações de nitrato, entretanto outros estudos falharam em demonstrar a relação entre ingestão de nitrato e malformações congênitas (OMS, 2007).

O consumo de nitrato parece piorar o hipotireoidismo provocado pela deficiência de iodo na dieta (Höring *apud* OMS, 2007). Também a ingestão de nitrato na água potável parece ter associação com bócio endêmico (Hettche *apud* OMS, 2007; Sauerbrey & Andree *apud* OMS, 2007; Höring *apud* OMS, 2007). Um estudo também indica uma correlação entre ingestão de nitrito de sódio (0,5 mg/Kg de peso corporal/dia) e diminuição da produção de hormônios adrenérgicos corticosteróides (Kuper & Til *apud* OMS, 2007).

Conforme os dados expostos nas figuras 21 e 22 (pp. 61 e 62), nota-se que como causa de mortalidade em Quirinópolis e Morrinhos predominam, de maneira geral as doenças cardiovasculares, câncer, causas externas, achados anormais em exames clínicos e laboratoriais, lesões/envenenamentos/conseqüências de causas externas, doenças respiratórias e doenças infecciosas/parasitárias. Entre as morbidades predominam doenças respiratórias, digestivas, geniturinárias, cardiovasculares, gravidez/parto/puerpério, causas externas e doenças infecciosas/parasitárias.

A mortalidade e morbidade hospitalar por distúrbios hematológicos em Morrinhos e Quirinópolis é mínima, e também a morbidade hospitalar câncer gástrico ou esofágico é pequena, conforme verificado no Datasus (2008). Todavia, sugere-se que o nitrato seja um dos fatores de risco na ocorrência de neoplasias gástricas e

esofágicas nesses municípios. Outros fatores de risco para câncer gástrico são doenças gástricas prévias, infecções, história familiar, tabagismo e dieta (Zelmanowicz, 2001). Para o câncer esofágico, são o tabagismo e o etilismo (Adam.com Inc, 2000). Assim, aparentemente não existe possível correlação de intoxicação por nitrato e meta-hemoglobinemia nesses municípios, mas pode ter havido com o câncer.

### **6.5. Saneamento Básico e Quadro Epidemiológico da Área de Estudo**

Como se observa nos resultados sobre saneamento básico de água, esgoto e lixo (tabelas 13 e 14), de maneira geral a população da região é bem atendida por rede geral de água tratada. A porcentagem média de pessoas com acesso à água tratada na área de estudo é maior que a porcentagem do Estado de Goiás. Entretanto, a porcentagem média de pessoas atendidas por rede de esgoto ou por coleta de lixo na área de estudo é menor que as médias gerais de Goiás. Assim configura-se a necessidade de que haja uma atenção maior por parte dos órgãos competentes no sentido de que sejam melhoradas as medidas de saneamento básico, especialmente na criação de rede de coleta e tratamento de esgoto, tanto com objetivo de promover proteção ambiental, quanto para prevenir problemas de saúde relacionados com o ciclo da água e lixo.

De certa maneira, esta realidade demonstra o descaso do poder público na região, que apesar de apresentar uma economia bastante produtiva e PIB elevado, não tem uma eficiente distribuição de renda sob a forma de serviços públicos, além de não ter uma adequada política de proteção das águas superficiais e do solo.

Pode-se notar que as maiores causas de morte na área de estudo, conforme a tabela 15 e figuras 17 e 18, são as doenças cardiovasculares, que incluem doença arterial coronariana, insuficiência cardíaca, transtornos de condução elétrica cardíaca e doenças cerebrovasculares. Em seguida vem câncer, enfermidades respiratórias, causas externas e achados anormais em exames. Estes dados coincidem com a mortalidade geral brasileira (Datusus, 2009b).

As doenças cardiovasculares relacionam-se com tabagismo, obesidade, sedentarismo, dieta rica em gorduras de origem animal, além de outros fatores (Goldman & Ausiello, 2004). Os tumores cancerígenos podem se relacionar com tabagismo, etilismo, infecções, hábitos alimentares, entre outros fatores (Goldman & Ausiello, 2004). As enfermidades respiratórias podem ser provocadas por infecções, inalação de substâncias tóxicas ou de alérgenos, tabagismo, fatores genéticos, etc. (Goldman & Ausiello, 2004).

Segundo os resultados sobre morbidade hospitalar, apresentados na tabela 16 e figura 19 e 20, nota-se que as doenças predominantes incidentes entre a população da área de estudo são, em ordem decrescente: enfermidades respiratórias, doenças cardiovasculares, estados de saúde relacionado à gravidez, doenças digestivas e doenças geniturinárias. De maneira geral esses dados são semelhantes aos dados brasileiros de morbidade hospitalar (Datusus, 2009a).

#### **6.6. Concentrações anômalas de nitrato e chumbo na água e seu impacto na morbimortalidade da Área de Estudo**

Em relação aos valores anômalos de chumbo e nitrato que foram encontrados e seu impacto sobre a saúde humana, não se encontrou evidências diretas, mas

alguns indicativos de que tais achados possam estar provocando enfermidades na população consumidora de água tratada. O chumbo tem efeito cumulativo no organismo humano, podendo não ter efeito imediato de intoxicação, mas provocar doenças a longo prazo.

Deve-se investigar melhor a área de estudo, talvez se fazendo um acompanhamento a longo prazo, com coletas mensais e análise química multi-elementar de amostras de água das ETA, para verificar-se alterações nos elementos-traço acima das VMP recomendadas, além de se fazer um *screening* de morbidade e mortalidade relacionada com as alterações encontradas. Todavia, desconhece-se se há um estudo dessa amplitude realizado de maneira contínua, apesar de que a Saneago faz essa análise química mensal seguindo a legislação do MS (2004), e também a Vigilância Sanitária, seguindo essa mesma legislação, acompanha esses valores.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com intuito de levantar dados hidrogeoquímicos em amostras de água tratada e dados de saúde coletiva e ambiental em 22 municípios da Mesorregião Sul Goiano, para verificação de possíveis contaminações ambientais e seu impacto sobre a saúde da população local. Com base nos resultados encontrados, foi possível concluir:

1. A metodologia utilizada para coleta e análise de amostras, tratamento de dados e representação em mapas de distribuição dos elementos químicos e suas associações mostrou-se eficiente, facilitando a interpretação dos dados, em sua relação com o ambiente natural e processos antrópicos. O conhecimento dos dados hidrogeoquímicos serviu como subsídio para interpretação da qualidade da água. O método usado para análise do quadro de saneamento ambiental e de morbimortalidade também foi eficaz, possibilitando o vislumbre das condições de saúde da população estudada, tanto no que tange ao tratamento de água, esgoto e lixo e seu impacto sobre a incidência de doenças.

2. A análise química da água colhida nas ETAs dos municípios estudados revelou contaminação de provável causa antrópica por chumbo, em Cromínia, e por nitrato, em Quirinópolis e Morrinhos. Os valores encontrados estão acima dos VMP recomendados pelo MS, Conama, EPA e OMS. As possíveis causas antrópicas de contaminação por chumbo podem ser o uso de agrotóxicos plumbosos, ou a ocorrência de chuva contaminada, originada por poluição atmosférica por indústrias e automóveis, sendo que a primeira hipótese é a mais provável. A fonte de contaminação por nitrato pode ser o lançamento de efluentes domésticos ou de dejetos de confinamento de gado bovino e suíno nos cursos

d'água que abastecem as ETAs, ou, mais possivelmente, a contaminação por fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura local. Nas outras amostras os valores encontrados, apesar de ter tido significância estatística para o estudo, foram dentro dos VMP preconizados pela entidades nacionais e internacionais supracitadas, revelando que a água tratada fornecida à população tem boa qualidade, pelo menos em termos de composição química.

3. A contaminação por chumbo encontrada em Cromínia pode estar tendo algum impacto na ocorrência de transtornos digestivos e tumores cancerígenos. Da mesma maneira, a contaminação por nitrato pode estar tendo impacto sobre a ocorrência de câncer gástrico e esofágico e outras enfermidades digestivas. Evidências mais fortes e confiáveis são necessárias para confirma-se isto, de maneira que um estudo de acompanhamento mais intenso e prolongado na área faz-se necessário, verificando-se mensalmente ou quinzenalmente as concentrações dos elementos nas amostras, acompanhando-se as notificações mensais de agravos e óbitos e estudando-se na região as possíveis fontes de contaminação antrópica na drenagem dos cursos d'água que abastecem as ETAs.

4. De maneira geral, a mortalidade da área de estudo é semelhante à geral brasileira, em que as doenças cardiovasculares são a principal causa de morte, junto com o câncer e as causas externas (traumas por acidentes automobilísticos ou motociclísticos em sua maioria, além de violência urbana). A morbidade hospitalar também é semelhante à brasileira, com predominância de enfermidades respiratórias, digestivas, infecções e parasitoses, cardiopatias e câncer, além das causas externas e achados anormais em exames bioquímicos. Essa morbimortalidade revela que na área de estudo, assim como no Brasil, é

necessário implementar-se uma política de saúde preventiva, para que as enfermidades crônico-degenerativas, como hipertensão arterial sistêmica, cardiopatias, doenças pulmonares obstrutivas crônicas, diabetes, acidente vascular cerebral e outras, sejam evitadas mediante a mudança de hábitos de vida. Também é mister que se faça uma política ampla de educação ambiental, do trânsito e de relações interpessoais, além de distribuição mais equânime de renda e serviços, para que a violência urbana diminua sensivelmente, assim reduzindo a incidência dos agravos e óbitos originados por causas externas.

5. Apesar da necessidade de ações mais rigorosas para o tratamento do esgoto e lixo na área de estudo, o tratamento da água é de qualidade, fornecendo à população o acesso a um bem com impacto direto na saúde pública. Entretanto a responsabilidade ambiental na área pesquisada ainda é bastante negligenciada, visto que ainda muito pouco se tem feito para o saneamento dos efluentes municipais.

Recomenda-se para o Poder Público e a Sociedade:

1. Que seja feito uma monitoração sistemática, por longo prazo, das áreas com valores anômalos de chumbo e nitrato, fazendo análises químicas periódicas das amostras de água e acompanhando a saúde da população afetada.
2. Que seja implementado um programa amplo de educação ambiental, para o trânsito, e de hábitos de vida e saúde.
3. Que se faça uma intervenção no saneamento ambiental da área, para efetivação de estratégias mais adequadas e modernas de tratamento de esgoto e lixo, além de ação rigorosa sobre fontes de contaminação ambiental.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam.com Inc. (2000). *Câncer esofágico*. Acessado em 08/11/2008. Disponível em <http://adam.sertaoggi.com.br/encyclopedia/ency/article/000283.htm>.
- Agreste, S. A., Schor, N. & Heilberg, I. P. (2001). Atualização em Nefrologia Clínica: papel da constituição físico-química da água potável na litogênese renal. *Jornal Brasileiro de Nefrologia*. 23(1): 45-48.
- Aguiar, L., Scharf, R., Cipis, M. & Martini, L. F. (2003). *Como cuidar da nossa água*. Bei, São Paulo. 176p.
- Almeida, L., Resende, L., Rodrigues, A. P., Campos, J. E. G. (2006). *Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Superintendência de Geologia e Mineração, Goiânia. 231p.
- Araújo, V. A., Matias, P. V. B., Godói, H. O., Araújo, E. S., Moreton, L. C. & Silva, M. A. (1980). *Projeto Pontalina*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Goiânia.
- ATDSR. (2000). *Toxicological profile for manganese*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf>.
- ATDSR. (2004). *Toxicological profile: strontium*. Acesso em 10/05/2008. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp159.pdf>
- Barbalace, K. L. (2007a). *Periodic Table of Elements: Calcium*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://EnvironmentalChemistry.com/yogi/periodic/Ca.html>.
- Barbalace, K. L. (2007b). *Periodic Table of Elements: Chlorine*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Cl.html>.
- Castro, A. M. S. M. & Câmara, V. M. (2004). Avaliação do programa de vigilância da qualidade da água para consumo humana em Salvador - BA. *Revista Baiana de Saúde Pública*. 28(2): 212-226.
- Cetesb. (1999). *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo. 391p.
- Conama. (2006). *Resoluções do Conama*. Conama, Brasília. 808p.
- Conama. (2008). Resolução nº 396. *Diário Oficial*, 7 de abril.
- Côrte, G. T., Silveira, E. G. & Bastos W. R. (2006). *Caracterização biogeoquímica de metais pesados no rio corumbiara e seus principais afluentes*. Acesso em 04/05/2008. Disponível em [http://www.unir.br/html/pesquisa/Pibic\\_XIV/pibic2006/arq...as%20e%20da%20Terra/html/Greiscyleia%20Togo%20Cortez.htm](http://www.unir.br/html/pesquisa/Pibic_XIV/pibic2006/arq...as%20e%20da%20Terra/html/Greiscyleia%20Togo%20Cortez.htm).

- Cortecchi, G. (2003). *Geologia e saúde*. Acesso em 20/05/2008. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geosaude.pdf>.
- Czajka-Narins, D. M. (1998). Minerais. In: Mahan, L. K. & Escott-Stump, S. (Org.) *Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia*. (pp. 123-166). Roca, São Paulo. 1180p.
- D'Aguila, P. S., Roque, O. C. C., Miranda, C. A. S. & Ferreira, A. P. (2000). Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu. *Cadernos de Saúde Pública*. 16(3): 791-798.
- Datasus. (2008a). *Morbidade Hospitalar do SUS por local de residência: Goiás*. Acessado em 07/11/2008. Disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/mrGO.def>.
- Datasus. (2008b). *Mortalidade: Goiás*. Acessado em 07/11/2008. Disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/obtGO.def>.
- Datasus. (2009a). *Morbidade hospitalar do Sus por local de residência: Brasil*. Acessado em 18/03/2009. Disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/mruf.def>.
- Datasus. (2009b). *Mortalidade: Brasil*. Acessado em 18/03/2009. Disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/obtuf.def>.
- Doles. (2007). *Cálcio*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://www.doles.com.br/prods/pdf/CALCIO.pdf>.
- Elinder, C. G. (1986). Zinc. In: Friberg, L., Nordberg, G. F. & Vouk, V. B. (Org.). *Handbook on the toxicology of metals*. (pp. 664-679). Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 709p.
- Epa. (1986). *Air quality criteria for lead*. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.
- Epa. (1987). *Drinking-water criteria document on nitrate/nitrite*. Environmental Protection Agency, Washington.
- Epa. (2008a). *Drinking water contaminants*. Acesso em 21/09/2008. Disponível em <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#1>.
- Epa. (2008b). *Drinking water criteria document for manganese*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://pubweb.epa.gov/waterscience/criteria/library/manganese.pdf>.
- Ferrini, M. T., Borges, V. C. & Waitzberg, D. L. (1990). Minerais: oligoelementos e elementos traço. In: Waitzberg, D. L. (Org.). *Nutrição enteral e parenteral na prática clínica*. (pp. 52-74). Livraria Atheneu, Rio de Janeiro. 442p.
- Friedrich, H. E. & Mordike, B. L. (2006). *Magnesium technology: metallurgy, design data, applications*. Springer-Verlag, Berlin. 708p.

- Gellein, K. (2008). *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.
- Gleick, P. H. (2000). *The World's Water 2000-2001: The Biennial Report on Freshwater Resources*. Island Press, Washington. 300p.
- Greenwood, N. N. & Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the elements*. Elsevier, Oxford. 1600p.
- Guilherme, L. R. G., Marques, J. J., Pierangeli, M. A. P., Zuliani, D. Q., Campos, M. L. & Marchi, G. (2005). Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em Ciência do Solo*. 4: 345-390.
- Goldman, L. & Ausiello, D. (2004). *Cecil Textbook of Medicine*. Saunders, New York. 2506p.
- Guyton, A. C. & Hall, J.E. (2002). *Tratado de Fisiologia Médica*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 1008p.
- Harada, M. (1995). Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *Critical Reviews of Toxicology*. 25: 1-24.
- Hespanhol, I. (2003). Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Bahia Análise & Dados*. 13: 411-437.
- Hurley, L. S. & Keen, C. L. (1987). Manganese. In: Mertz, W. & Underwood, E. J. (Org.) *Trace elements in human and animal nutrition*. (pp. 185–223). Academic Press, New York. 499p.
- IBGE. (2006). *Mapa político da Região Centro-Oeste*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em [ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas/tematicos/politico/CENTRO\\_OESTE\\_Politico.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas/tematicos/politico/CENTRO_OESTE_Politico.pdf).
- IBGE. (2008a). *Estimativas das populações residentes, em primeiro de julho de 2008, segundo os municípios*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2008/POP2008\\_DOU.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2008/POP2008_DOU.pdf).
- IBGE. (2008b). *Divisão regional*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default\\_div\\_int.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm).
- Kok F. J., Van Duijn, C. M., Hofman, A., Van Der Voet, G. B., De Wolff, F. A. D., Paays, C. H. & Valkenburg, H. A. (1988). Serum copper and zinc and the risk of death from cancer and cardiovascular disease. *American Journal of Epidemiology*. 128:352-359.
- Lacaz, C. S. (1972). Conceituação, atualidade e interesse do tema: súmula histórica. In: C. S. Lacaz, R. G. Basruzzi & W. Siqueira (Org.). *Introdução à*

*Geografia Médica do Brasil.* (pp. 1-22). Edgard Blücher e EDUSP, São Paulo. 607p.

- Lemes, M. J. L. (2001). *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 Energética e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- Lewis III, J. L. (1995). *Equilíbrio ácido-básico.* Acessado em 04/10/2008. Disponível em [http://www.msdbrazil.com/msd43/m\\_manual/mm\\_sec12\\_138.htm](http://www.msdbrazil.com/msd43/m_manual/mm_sec12_138.htm).
- Lins, C. A. C., Souza, C. J. M., Cunha, F. G., Machado, G. J. & Lopes Jr., I. (2003). *Manual técnico PGAGEM – Brasil.* CPRM – Serviço Geológico do Brasil, São Paulo. 28p.
- Lynam, D. R., Roos, J.W., Pfeifer, G. D., Fort, B. F. & Pullin, T. G. (1999). Environmental effects and exposures to manganese from use of methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl (MMT) in gasoline. *Neurotoxicology.* 20: 145–150.
- Machado, S. S., Bueno, P. R. M., Oliveira, M. B. & Moura, C. J. (2008). Concentração de chumbo em alface cultivada com diferentes adubos orgânicos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais.* 10 (1): 63-70.
- Machado, W. P., Gomes, R. A. T., Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Oliveira, S. N., Sodré, R. V. R., Chaves, T. A. & Costa Filho, P. L. D. R. (2007). Identificação e análise dos fragmentos florestais em imagens ASTER no município de Cromínia-GO. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Santa Catarina, 21 a 26 de abril de 2007.
- Maia, Y. L. M. (2004). *Análise multielementar em água e sedimentos de corrente da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte na região metropolitana de Goiânia e sua rela o com a saúde.* Disserta o de Mestrado, Programa de Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde, Universidade Católica de Goiás.
- Mamede, L. (2000). Geomorfologia. In: Lacerda Filho, J. V., Rezende, A. & Silva, A. (Org.) *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal.* (pp. 15-18). CPRM, Goiânia. 200p.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2007). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance.* Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore. 1068 p.
- McGeown, J. G. (2002). *Physiology: A Core Text with Self-assessment.* Elsevier Health Sciences, New York. 263p.
- Moreira, M. L. O., Moreton, L. C., Araújo, V. A., Lacerda Filho, J. V. & Costa, H. F. (2008). *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal.* CPRM/SIC - FUNMINERAL, Goiânia. 147 p.

- Motta, V. T. (2000). *Bioquímica Clínica: Princípios e Interpretações*. Editora Médica Missau, Porto Alegre. 358p.
- MS. (2004). *Portaria n. 518/2004*. Acessado em 10/05/2008. Disponível em <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>.
- NLM, HSDB. (2001). *Manganese compounds*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~FenZUq:2:FULL>.
- NWQMS. (2004). *Australian Drinking Water Guidelines*. Acessado em 10/05/2008. 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, IPCS. (2002). *Principles and methods for the assessment of risk from essential trace elements*. Acesso em 04/10/2008. Disponível em <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc228.htm>.
- OMS. (1989). *Lead: environmental aspects*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc85.htm>.
- OMS. (2003a). *Chloride in drinking-water*. Acessado em 20/05/2008. Disponível em [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chloride.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chloride.pdf).
- OMS. (2003b). *Lead in drinking-water*. Acessado em 20/05/2008. Disponível em [www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/lead](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/chemicals/lead).
- OMS. (2003c). *Sulfate in drinking-water*. Acessado em 20/05/2008. Disponível em [www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf).
- OMS. (2003d). *Zinc in drinking-water*. Acessado em 20/05/2008. Disponível em [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/zinc.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/zinc.pdf).
- OMS. (2004). *Manganese in drinking-water*. Acessado em 20/05/2008. Disponível em [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/manganese.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/manganese.pdf).
- OMS. (2006). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Acesso em 20/05/2008. Disponível em [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq0506.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf).
- OMS. (2007). *Nitrate and nitrite in drinking-water*. Acessado em 20/05/2008. Disponível em [www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf).
- Opas. (2001). *Água e saúde*. Acesso em 20/05/2008. Disponível em <http://www.bra.ops-oms.org/ambiente/UploadArq/agua.pdf>.
- Pádua, H. B. (2002). *Águas com dureza e alcalinidade elevada. Observações iniciais na Região de Bonito/MS*. Acessado em 10/05/2008. Disponível em [www.abrappesq.com.br/apostila\\_helcias.doc](http://www.abrappesq.com.br/apostila_helcias.doc).

- Pádua, H. B. (2005). *Química Bioinorgânica*. Acessado em 10/05/2008. Disponível em <http://www.ruralnet.com.br/upload/artigos/quimica%2520BIOINORGANICA%2520PARTE%2520XVIII%2520B%2520S%25C3%2589RIE%2520%253%2581GUA.doc>.
- Paula, F. J. A. & Foss, M.C. (2003). Tratamento da hipercalcemia e hipocalcemia. *Medicina, Ribeirão Preto*. 36:370-374.
- Peixoto, E. M. A. (2004). *Cálcio*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc20/v20a12.pdf>.
- Pena, G. S. (1975). *Projeto Goiânia II: relatório final*. Volume I. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Goiânia.
- Pereira, P. A. & Lima, O. A. L. (2007). 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.
- 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. (2000). Exposição humana ao metilmercúrio em comunidades ribeirinhas da Região do Tapajós, Pará, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 33(3): 265-269.
- Quinn, M. J., Sherlock, J. C. (1990). The correspondence between U.K. 'action levels' for lead in blood and in water. *Food additives and contaminants*. 7: 387-424.
- Ramalho, J. F. G. P., Sobrinho, N. M. B. A. & Velloso, A. C. X. (2000). Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(7): 1289-1303.
- Roels, H. A., Ghyselen, P., Buchet, J. P., Ceulemans, E. & Lauwerys, R. R. (1992). Assessment of the permissible exposure level to manganese in workers exposed to manganese dioxide dust. *British Journal of Industrial Medicine*. 49: 25-34.
- Roels, H. A., Ortega Eslava, M. I., Ceulemans, E., Robert, A. & Lison, D. (1999). Prospective study on the reversibility of neurobehavioral effects in workers exposed to manganese dioxide. *Neurotoxicology*. 20: 255-271.
- Saeijs, H. L. F. & Berkel, M. J. (1997). The global water crisis: the major issue of the twenty-first century, a growing and explosive problem. *In: Brans, E. H. P. (Org.) The scarcity of water: emerging legal and policy responses*. (pp.3-20). Kluwer Law International, Alphen aan den Rijn. 328p.
- SANEAGO. (2008). *Monitoramento da qualidade da água*. Acesso em 20/05/2008. Disponível em <http://www.saneago.com.br>.

- Santana, E. Q. (2003). *Determinação de macroatômos, 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”.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J. A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U. & Smedley, P. (2005). *Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*. Academic Press, New York. 832 p.
- Sepin. (2008a). *Região Sul Goiano*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em [http://www.seplan.go.gov.br/sep/sep/viewcad.asp?id\\_cad=5100&id\\_not=7](http://www.seplan.go.gov.br/sep/sep/viewcad.asp?id_cad=5100&id_not=7).
- Sepin. (2008b). *Região Sudoeste Goiano*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em [http://www.seplan.go.gov.br/sep/sep/viewcad.asp?id\\_cad=5100&id\\_not=9](http://www.seplan.go.gov.br/sep/sep/viewcad.asp?id_cad=5100&id_not=9).
- Seplan. (2005). *Anuário Estatístico do Estado de Goiás – 2005*. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento, Goiânia. 823p.
- Seplan. (2007). *Goiás em Dados – 2007*. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento, Goiânia. 138p.
- Sieg. (2008a). *SIG online: geologia e recursos minerais*. Acessado em 21/11/2008. Disponível em [http://web.seplan.go.gov.br:81/cgi-bin/mapserv.exe?map=C:/ms4w/apache/htdocs/geo\\_online/cartografia.map](http://web.seplan.go.gov.br:81/cgi-bin/mapserv.exe?map=C:/ms4w/apache/htdocs/geo_online/cartografia.map).
- Sieg. (2008b). *SIG online: Estado de Goiás*. Acessado em 21/11/2008. Disponível em <http://web.seplan.go.gov.br:81/cgi-bin/mapserv.exe?map=C:/ms4w/apache/htdocs/online/cartografia.map>.
- Sieg. (2009). *SIG online: Estado de Goiás (I3Geo)*. Acessado em 28/02/2009. Disponível em [http://www.sieg.go.gov.br:81/i3geo/aplicmap/inter\\_sieg.htm?73530e20d74ef6c3b341c05c51fb2fbe](http://www.sieg.go.gov.br:81/i3geo/aplicmap/inter_sieg.htm?73530e20d74ef6c3b341c05c51fb2fbe).
- Silva, C. R., Figueiredo, B. R. & Capitani, E. M. (2006). Geologia Médica no Brasil. In: C. R. Silva, B. R. Figueiredo, E. M. Capitani & F. G. Cunha (Org.). *Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente*. (pp. 6-14). CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. 220p.
- Silva, G. H. P. (1999). O que fazer com os fundos de vale. *Desenvolvimento Urbano*. 127: 1-2.
- Silva, R. C. A. & Araújo, T. M. (2003). Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva*. 8 (4): 1019-28.
- Soares, M. C. (2008). *Zinco*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em [http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1\\_030.asp](http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_030.asp).

- Valente, C. R. (1986). *Projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais, carta metalogenética, carta de previsão de recursos minerais, carta de previsão para planejamento de ações governamentais, escala 1:250.000: folha SE.22-X-D Morrinhos*. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília. 12p.
- Vitor, R. J. (2006). *Análise comparativa das estações de tratamento de água com análise de elementos traços e quadro epidemiológico em municípios do sudoeste goiano*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde, Universidade Católica de Goiás.
- Whitmire, R. D. (1998). Água, eletrólitos e equilíbrio ácido-base. In: Mahan, L. K. & Escott-Stump, S. (Org.). (1998). *Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia*. (pp. 167-177). Roca, São Paulo. 1180p.
- Williams, S. R. (1997). *Fundamentos de nutrição e dietoterapia*. Artes Médicas, Porto Alegre. 664p.
- Winter, M. (1993a). *Calcium: the essentials*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://www.webelements.com/calcium>.
- Winter, M. (1993b). *Magnesium: the essentials*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://www.webelements.com/magnesium>.
- Winter, M. (1993b). *Strontium: the essentials*. Acessado em 04/10/2008. Disponível em <http://www.webelements.com/strontium>.
- Zelmanowicz, A. M. (2001). *Detecção precoce para o câncer gástrico*. Acessado em 08/11/2008. Disponível em <http://www.abcdasaude.com.br/profissional.php?12>.

## APÊNDICES

## APÊNDICE I

### CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE APRESENTARAM VALORES ABAIXO DOS LIMITES MÍNIMOS DE DETECÇÃO DOS MÉTODOS USADOS PARA ANÁLISE QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DA ÁREA DE ESTUDO

Município	Al	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Li	
Eta Água Limpa	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Aloândia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Bom Jesus	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Buriti Alegre	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Cachoeira Dourada	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Castelândia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Crominia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Edealina	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Edeia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Goiatuba	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Inaciolândia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Itumbiara	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Joviânia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Mairipotaba	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Maurilândia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Morrinhos	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Panamá	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Pontalina	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Porteirão	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Quirinópolis	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Turvelândia	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Eta Vicentinópolis	0,1	0,01	0,002	0,001	0,002	0,02	0,01	0,002	
Município	Mo	Ni	Se	V	Be	Ti	NO2	Br	PO4
Eta Água Limpa	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Aloândia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Bom Jesus	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Buriti Alegre	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Cachoeira Dourada	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Castelândia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,5
Eta Crominia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Edealina	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Edeia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Goiatuba	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Inaciolândia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Itumbiara	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Joviânia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Mairipotaba	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Maurilândia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Morrinhos	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Panamá	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Pontalina	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Porteirão	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Quirinópolis	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Turvelândia	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2
Eta Vicentinópolis	0,01	0,004	0,02	0,02	0,001	0,05	0,1	0,05	0,2