

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa
Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências Ambientais e Saúde

**ANÁLISE MULTIELEMENTAR EM ÁGUA E SEDIMENTOS DE CORRENTE DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE NA REGIÃO METROPOLITANA
DE GOIÂNIA E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE**

YARA LÚCIA MARQUES MAIA

Goiânia – GO
Outubro de 2004

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa
Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências Ambientais e Saúde

**ANÁLISE MULTIELEMENTAR EM ÁGUA E SEDIMENTOS DE CORRENTE DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE NA REGIÃO METROPOLITANA
DE GOIÂNIA E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE**

YARA LÚCIA MARQUES MAIA

Orientador: Prof. Dr. Eric Santos Araújo

Co-orientadores: Prof. Dra Irmtraut Araci Hoffmann Pfrimer

Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara

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 – GO
Outubro de 2004

**A Deus,
por seu infinito amor e pela vida**

À Carlos Henrique
pelo amor

À Carla e Vicente Henrique
alegria de minha vida

A Clayton e Lucy
por minha formação

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento às pessoas e organizações abaixo nominadas, cuja colaboração foi fundamental e sem a qual teria sido impossível o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr Eric Santos Araújo, orientador, amigo e companheiro, que guiou meus primeiros passos no conhecimento da geologia e geoquímica. Agradeço pela amizade, pelo conhecimento compartilhado, pelas discussões, sugestões, críticas e empenho na coleta das amostras.

À Prof Dra Irmtraut Araci Hoffmann Pfrimer, pela orientação segura e amiga, sempre firme, objetiva e positiva. Agradeço pela confiança desde o primeiro contato e por ter acreditado em minhas possibilidades e por tantas vezes ter entendido minhas limitações.

Ao Prof Dr Luiz Fabrício Zara, por acreditar no projeto, pela disponibilidade e apoio sempre presentes e pelo suporte na coleta das amostras e em todas etapas analíticas.

À Universidade Católica de Brasília pela disponibilização dos materiais para coleta das amostras, equipamentos e laboratórios para preparo dos sedimentos e pelas análises químicas multielementares por ICP-AES, apoio imprescindível à realização deste trabalho.

À Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pelo fornecimento de equipamentos para a coleta das amostras e por possibilitar a conclusão do trabalho através da utilização dos programas de computação necessários ao tratamento estatístico e à confecção dos mapas.

À equipe da Universidade Católica de Brasília: Heider Dantas e Georgenes Trigueiro, pelo auxílio na coleta, no preparo dos sedimentos e nas dosagens das amostras, a Tatiana Baptista Alves pela extrema organização no preparo dos materiais e reagentes necessários à coleta e análises e pelo suporte durante todas as etapas analíticas. Ao Gustavo Rocha de Castro pelas dosagens multielementares por ICP-AES, meu eterno agradecimento.

Ao Sr Pedro Ricardo Soares Bispo pela constante colaboração, pronta disponibilidade e auxílio durante a coleta e acompanhamento nas visitas posteriores aos locais de amostragem.

Ao Fernando Pinto Faria pela paciência e habilidade na resolução de problemas durante a confecção dos mapas de distribuição dos elementos.

Aos bolsistas de iniciação científica do CNPq Marielle de Oliveira Castro e Marcelo Zanini de Oliveira e Silva, alunos do curso de biomedicina da Universidade Católica de Goiás, sempre prontos a ajudar tanto nas etapas de preparo das amostras quanto no apoio com a informática.

À mestranda Flávia Ikeda, amiga e companheira desde os primeiros dias aula, pelo auxílio e carinho sempre presentes.

Aos meus “irmãos” Paulo e Henry Okigami, pela cumplicidade.

A meus pais Clayton e Lucy, e a meus irmãos Clayton Filho e Roberto, pela compreensão nos momentos de ausência.

E especialmente a meu esposo Carlos Henrique, meus filhos Carla e Vicente Henrique e meu genro Leandro por todo estímulo, carinho, apoio e paciência, que foram fundamentais para que este trabalho pudesse ser concluído.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE FOTOS
RESUMO
ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. OBJETIVOS	04
1.1.1. Objetivo Geral	04
1.1.2. Objetivos Específicos	04
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
1.2.1. Elementos Químicos, Meio Ambiente e Saúde	05
1.2.2. Geologia e Saúde	09
1.2.3. Estudos de Hidrogeoquímica	15
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	19
2.1. LOCALIZAÇÃO	19
2.2. CLIMA	20
2.3. HIDROGEOLOGIA	21
2.4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	22
2.5. PONTOS DE AMOSTRAGEM	23
2.6. PONTOS DE AMOSTRAGEM NA ÁREA ESTUDADA	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. PLANEJAMENTO PRELIMINAR	25
3.1.1. Parâmetros para definição da área de estudo	25
3.1.2. Sistemática de numeração das amostras	25
3.1.3. Elaboração do Mapa de Amostragem	26
3.1.4. Implantação da Logística	26
3.2. ATIVIDADES DE CAMPO	26
3.2.1. Coleta da Água	27
3.2.2. Coleta de Sedimento de Corrente	28
3.3. ATIVIDADES LABORATORIAIS	28
3.3.1. Água	28
3.3.2. Sedimento de Corrente	28
3.3.2.1. Procedimento de digestão de sedimento de corrente	29
3.4. TRATAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	32
4.1.1. Resultados das análises físico-químicas da água	32
4.1.2. Dosagem Química Multielementar da Água	36
4.2. ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO	45
4.3. ANÁLISE INTEGRADA DE ÁGUA E SEDIMENTO DE CORRENTE NAS DRENAGENS	56
4.4. ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR DRENAGEM	62
4.4.1. Drenagens da margem direita do rio Meia Ponte	62
4.4.1.1. Córrego Cascavel (YM017)	62
4.4.1.2. Córrego Macambira (YM019)	64

4.4.1.3. Ribeirão Anicuns (YM023)	67
4.4.1.4. Córrego Cavallo Morto (YM021)	69
4.4.1.5. Córrego Taquaral (YM020)	73
4.4.1.6. Córrego Cascavel (YM017)	75
4.4.1.7. Córrego Botafogo (YM018)	75
4.4.1.8. Córrego Fundo (YM025)	76
4.4.1.9. Córrego Caveirinha (YM024)	76
4.4.1.10. Córrego São Domingos (YM037)	76
4.4.2. Drenagens da margem esquerda do rio Meia Ponte	77
4.4.2.1. Córrego Pedreira (YM027)	77
4.4.2.2. Córrego Bálsamo (YM028)	77
4.2.2.3. Córrego Ladeira (YM029)	80
4.2.2.4. Córrego Lajeado Capoeirão - Cabeceira (YM016)	81
4.2.2.5. Amostra YM014	81
4.2.2.6. Córrego Perdido (YM015)	81
4.2.2.7. Rio Capivara (YM039)	82
4.2.2.8. Amostra Solicitada (ES001)	82
4.4.3. Rio Meia Ponte (YM038)	83
5. CONCLUSÕES	84
6. REFERÊNCIAS	86
ANEXOS	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	TOPONÍMIA E LOCALIZAÇÃO DAS 18 DRENAGENS AMOSTRADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA	23
Tabela 2	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (COLETA NO PERÍODO DE SECA, AGOSTO 2003)	32
Tabela 3	ELEMENTOS QUÍMICOS E COMPOSTOS DOSADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA E SUAS RESPECTIVAS METODOLOGIAS	36
Tabela 4	CONCENTRAÇÕES (MG/L) DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO 2003), DOSADAS POR ICP- AES	37
Tabela 5	CONCENTRAÇÕES (MG/L) DOS COMPOSTOS E ELEMENTOS QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA, COLETADAS EM AGOSTO DE 2003 E DOSADAS POR CROMATOGRAFIA E ESPECTROFOTOMETRIA (K E Na)	38
Tabela 6	VALORES MÍNIMO E MÁXIMO E SUMÁRIO ESTATÍSTICO* DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E COMPOSTOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA COLETADAS EM AGOSTO DE 2003	39
Tabela 7	VALORES DE 1 ^A , 2 ^A E 3 ^A ORDENS DE CADA ELEMENTO QUÍMICO DOSADO EM 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO 2003) E VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS (MG/L) CONSTANTES NAS PORTARIAS 1469 DE 29 DE DEZEMBRO DE 2000 E 518 DE 25 DE MARÇO DE 2004 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE	40
Tabela 8	CONCENTRAÇÕES COM VALORES ESTATÍSTICOS DE 1 ^A , 2 ^A E 3 ^A ORDENS (MG/L) DOS ELEMENTOS E COMPOSTOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS	42
Tabela 9	CONCENTRAÇÕES (MG/L) DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE CORRENTE DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO 2003), DOSADAS POR ICP- AES*	46

continua

continuação

Tabela 10	VALORES MÍNIMO E MÁXIMO E SUMÁRIO ESTATÍSTICO* DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E COMPOSTOS DE 18 AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE CORRENTE DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA COLETADAS EM AGOSTO DE 2003	48
Tabela 11	VALORES DE 1 ^A , 2 ^A E 3 ^A ORDENS PARA AS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS (MG/KG) DOSADOS EM 18 AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE CORRENTE DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO 2003)	49
Tabela 12	CONCENTRAÇÕES (MG/KG) DOS ELEMENTOS QUÍMICOS COM VALORES ESTATÍSTICOS DE 1A, 2A E 3A ORDENS NAS 18 AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE CORRENTE DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA COLETADAS EM AGOSTO DE 2003.	50
Tabela 13	CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM ÁGUA E SEDIMENTOS DE CORRENTE COM VALORES ESTATÍSTICOS DE 1 ^A (VERMELHO), 2 ^A (AZUL) E 3 ^A (VERDE) ORDENS NAS 18 AMOSTRAS DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO, 2003)	58
Tabela 14	PARÂMETROS PARA O GRAU DE POLUIÇÃO DE SEDIMENTOS SEGUNDO A CONCENTRAÇÃO DE METAIS TOTAIS (MG/KG) CONFORME A ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY –EPA	61
Tabela 15	NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO CONFORME VALORES DA RESOLUÇÃO 344 DO CONAMA DE 25/04/2004	61
Tabela 16	COMPARAÇÃO DOS VALORES ORIENTADORES PARA CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE EM MATERIAL DRAGADO, DO EPA E CONAMA	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de distribuição dos pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia, onde foram coletados água e sedimento de corrente em agosto de 2003	20
Figura 2	Mapa de localização dos pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia com nomes das drenagens e respectivas siglas utilizadas na coleta	24
Figura 3	Ficha de Campo de Amostra Geoquímica, modelo utilizado pela Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais – CPRM, e adotado em nosso trabalho	27
Figura 4	Matriz de correlação dos cátions e ânions analisados em 18 amostras de água de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia coletadas em agosto de 2003	43
Figura 5	Associação 1: Distribuição de Cl, Na e PO_4^- e K em água nos 18 pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia (agosto 2003)	44
Figura 6	Associação 2: Distribuição de Sr e Ca em água nos 18 pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia (agosto 2003)	45
Figura 7	Matriz de correlação dos elementos químicos analisados em 18 amostras de sedimento de corrente de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia coletadas em agosto de 2003	51
Figura 8	Associação 1: Distribuição de Ag, Cr e Sn em sedimento de corrente nos 18 pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia (agosto 2003)	52
Figura 9	Associação 2: Distribuição de B, Li, Ca e Cu em sedimento de corrente nos 18 pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia (agosto 2003)	53
Figura 10	Associação 3: Distribuição de Mn, Ba e Co em sedimento de corrente nos 18 pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia (agosto 2003)	54
Figura 11	Associação 4: Distribuição de Sr e Mg em sedimento de corrente nos 18 pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia (agosto 2003)	55

continua

continuação

Figura 12	Distribuição das concentrações de Al nas 18 amostras de água de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia (agosto, 2003)	64
Figura 13	Distribuição de cromo em 18 amostras de sedimento (esquerda) e água (direita) de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia (agosto, 2003)	65
Figura 14	Mapa de distribuição do chumbo em sedimentos (esquerda) e água (direita) nas 18 amostras de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia (agosto, 2003)	71
Figura 15	Mapa de distribuição do cromo em sedimentos (esquerda) e água (direita) nas 18 amostras de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia (agosto, 2003)	79
Figura 16	Mapa de distribuição do manganês em sedimentos (esquerda) e água (direita) nas 18 amostras de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia (agosto, 2003)	79
Figura 17	Mapa de distribuição do cobre em sedimentos (esquerda) e água (direita) nas 18 amostras de drenagens da Região Metropolitana de Goiânia (agosto, 2003)	79

LISTA DE FOTOS

Foto 1	Horta comercial às margens do ribeirão Anicuns	68
Foto 2	Ponto de coleta do ribeirão Anicuns (agosto, 2003)	69
Foto 3	Córrego Cavallo Morto. Presença de árvores frutíferas no local da mata ciliar	70
Foto 4	Córrego Cavallo Morto. Presença de lixo e ossos de animais na margem	70
Foto 5	Córrego Cavallo Morto. Presença de animais em decomposição	72
Foto 6	Córrego Cavallo Morto, pessoa pescando a menos de 50 m do local onde havia animal em decomposição	72
Foto 7	Ponto de amostragem do córrego Taquaral, vista 1	73
Foto 8	Ponto de amostragem do córrego Taquaral, vista 2	74

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar a concentração de elementos químicos em amostras de água e sedimento de corrente de drenagens da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte na região Metropolitana de Goiânia–GO, Brasil, para levantamento de possíveis contaminações ambientais, naturais ou antrópicas, e suas relações meio-ambiente e saúde humana. Foram coletadas 18 amostras de água e sedimento de corrente no período de seca, agosto de 2003. Foram determinados os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, pH, condutividade, sólidos dissolvidos, turbidez e oxigênio dissolvido), e as análises químicas nas amostras de água e sedimento foram realizadas de forma multielementar utilizando ICP-AES. A partir dos resultados das concentrações dos elementos químicos foram confeccionadas as matrizes de correlação de água e de sedimento, definidas as associações geoquímicas e construídos os mapas de distribuição dos elementos químicos das associações. Os resultados mostraram algumas drenagens com elevadas concentrações de elementos químicos, principalmente Cr, Mn, Cu, Pb e Al, devido tanto a fatores naturais como a visível componente antrópico em algumas delas, como verificado através de observações de campo. A problemática refere-se ao fato que as drenagens são utilizadas para recreação, irrigação de hortas e pomares e como fonte de peixes, colocando em situação de risco as pessoas que as utilizam.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyse the concentration of chemical elements in water and sediments samples from the hydrographic basin streams of Meia Ponte river in the Metropolitan Region of Goiânia-GO, Brasil, for survey of possible natural or anthropic environmental contaminations and its relations with environment and health. 18 water and sediment samples were collected in August 2003, during drought period in the region. The water physical-chemical parameters were determined (temperature, pH, conductivity, total solids, turbidity and dissolved oxygen), and the chemical analyses in the water and sediment samples was determined in a multi-elementary way using ICP-AES. The matrices correlation of water and sediment were confectioned by the results of the chemical elements concentrations, the geochemical associations and the distribution maps of the chemical elements associations were defined and made. The results revealed high chemical elements concentrations in some streams, mainly Cr, Mn, Cu, Pb and Al, due as much to natural factors as to anthropic ones in some of them, according to observations made in the areas. These streams are being used for recreation, agricultural and orchards areas irrigation and as source of fish, placing the population in risk situation.

1. INTRODUÇÃO

A água é base para vida na Terra. É elemento vital para saúde e bem-estar dos homens e para equilíbrio dos ecossistemas. Os ambientes aquáticos abrigam grande quantidade de espécies animais e vegetais. No Brasil, devido à extensão territorial, as bacias hidrográficas apresentam grande diversidade de ambientes litológicos e espécies de fauna e flora aquática (CORDEIRO NETO, 2004). Conhecer, restaurar e preservar a qualidade da água superficial e subterrânea representa também preservar esta rica biodiversidade e a saúde das populações.

A geoquímica ambiental constitui um excelente instrumento para conhecer e monitorar os recursos hídricos. Ela estuda a química dos sólidos da Terra, seus componentes aquosos e gasosos e as formas de vida. Avalia os impactos da contaminação dos ecossistemas por elementos químicos - principalmente metais pesados - na biota e na saúde humana (SIEGEL, 2002).

A relação entre rochas, minerais e saúde humana é conhecida há séculos. Antigos textos chineses, egípcios, islâmicos e gregos descrevem vários benefícios terapêuticos de rochas e minerais, bem como vários problemas de saúde a eles relacionados. Há mais de 2000 anos textos chineses já descreviam a utilização de minerais para 46 diferentes propostas medicamentosas (SELENIUS et al, 2004).

A geologia médica ou geomedicina é a união das ciências da terra (geologia, geoquímica) com a medicina. Preocupa-se com a relação entre fatores geológicos naturais e a saúde humana e animal, buscando o entendimento da influência de fatores ambientais (variações regionais na distribuição dos elementos químicos, seu comportamento geológico-geoquímico, contaminações naturais e antrópicas) na distribuição geográfica de problemas de saúde (CORTECCI, 2003; SCARPELLI, 2003). A geomedicina avalia os impactos que ocorrem devido a remobilização química natural por erosão e decomposição de rochas, como também a inserção no ambiente de elementos químicos resultante de atividades humanas. Geralmente, a avaliação engloba os dois fatores pois os danos químicos ao ambiente originam-se na maioria das vezes de uma combinação de eventos naturais e antropogênicos (SIEGEL, 2002).

Um dos principais instrumentos utilizados em geomedicina são os mapas geoquímicos que podem indicar áreas com excesso de elementos químicos potencialmente tóxicos, bem como áreas com deficiência de elementos essenciais.

Áreas com altas concentrações de um determinado elemento podem auxiliar a delimitação de depósitos minerais (prospecção geoquímica), a localização de rejeitos industriais e/ou residenciais e resíduos de pesticidas, fertilizantes e demais contaminantes, como também serem alvos de investigações epidemiológicas. (LICHT, 2001; SIEGEL, 2002).

A coleta e a análise de água superficial e de sedimentos de corrente e a posterior realização de mapas de distribuição dos elementos químicos neles contidos são úteis para a detecção de problemas ambientais. Elementos químicos, principalmente metais, são carregados junto aos sedimentos finos durante a época de cheia dos rios e depositam em suas margens. Os sedimentos dos rios sempre contêm íons de metais, mas as concentrações variam em função da geologia local e da ação antropogênica (SAMANIDOU e FYTIANOS, 1990; STEPHENSON et al 1998).

Análises de metais e demais elementos químicos realizadas na água representam sua qualidade no instante da coleta, não detectando portanto, despejos descontinuados e clandestinos. Entretanto, análises de sedimentos de corrente refletem a qualidade das águas de forma cumulativa e contínua (RODRIGUES FILHO et al, 2002). Sedimentos têm sido amplamente utilizados como indicadores de contaminação ambiental, e sua habilidade para fornecer informações sobre a fonte de contaminação é amplamente reconhecida (ANAZAWA et al, 2004).

Nos últimos anos, foram publicados vários estudos sobre os possíveis efeitos ecológicos e à saúde causados pelo acúmulo de metais tóxicos em sedimentos de drenagens. A deposição de metais e elementos químicos nos sedimentos das drenagens ocorre através de interações entre a água e os sedimentos, e é dependente das variações na química da água (KORFALI e DAVIES, 2003; GISMERA et al, 2004).

O conhecimento da composição química de águas superficiais, subterrâneas, sedimentos ativos de drenagem e solos é o primeiro passo para o conhecimento da realidade dos impactos naturais e/ou antrópicos e é de grande importância para a realização de diagnóstico ambiental. Análises de água e sedimentos de corrente realizadas em pontos estratégicos em cursos d'água caracterizam a qualidade da água e relacionam-se primordialmente ao conjunto de informações de determinada bacia hidrográfica (CRUZ, 2003). Segundo Licht (2001), a composição químicas das águas pode ser integrada a dados socioeconômicos e de saúde pública ou a

quaisquer outros dados para o estabelecimento de relações de causa e efeito dos processos que ocorrem no sistema ambiental.

Os dados multielementares de água e sedimentos de corrente do rio Meia Ponte e de alguns de seus afluentes na Região Metropolitana de Goiânia obtidos no presente trabalho constituem um banco de dados sobre a distribuição dos elementos químicos na região em período de seca. Eles representam um adensamento dos dados do trabalho de Araújo (2001) e podem ser úteis em estudos de monitoramento da qualidade dos cursos d'água, em trabalhos de acompanhamento dos resultados de ações políticas para a melhoria da qualidade ambiental na região, para trabalhos de vigilância ambiental em saúde relacionados a agentes químicos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002), para avaliação de riscos à saúde em locais sob impactos ambientais conforme proposta da Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Enfermidades dos EUA (ATSDR, 1992), e para estudos de geomedicina.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar análise multielementar em amostras de água e sedimentos de corrente em afluentes do rio Meia Ponte na Região Metropolitana de Goiânia para levantamento de possíveis contaminações ambientais, se causadas por fontes naturais ou antrópicas, e suas relações meio-ambiente e saúde humana.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Coletar água e sedimentos de corrente e realizar determinação dos parâmetros físico-químicos da água;
- Realizar análise multielementar nas amostras de água e sedimentos de corrente por Espectroscopia de Emissão Ótica com Plasma de Argônio Induzido - ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy);
- Estabelecer, a partir dos resultados das dosagens, a matriz de correlação para definir as associações geoquímicas;
- Elaborar mapas georeferenciados da distribuição dos elementos químicos;
- Destacar possíveis regiões contaminadas, se naturais ou antrópicas, e suas interações meio-ambiente e saúde humana.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. Elementos Químicos, Meio Ambiente e Saúde

Os homens e seu ecossistema são constituídos pelos elementos químicos que estão organizados na Tabela Periódica de Mendeleev. Estes elementos químicos constituem a base do ar, dos rios, oceanos e da própria Terra. O homem é constituído por 61% de hidrogênio, 25% de oxigênio, 10% de carbono, e 2% de nitrogênio. Total 98%. Os 2% restantes estão divididos entre outros metais e minerais dentre os quais estão os chamados elementos traço (HOROVITZ, 1988; STEIGER, 1998), que são essenciais para o perfeito funcionamento das funções biológicas humanas. Os elementos traço são críticos para a vida porque não podem ser sintetizados pelos seres vivos e têm que ocorrer no ambiente em limitadas faixas de concentração (CORTECCI, 2003).

A acumulação seletiva de elementos traço nos organismos vivos têm sido significativa para a completa evolução da vida, e é notável o papel desempenhado pelos metais. Os primeiros organismos que surgiram na hidrosfera há 3,4 bilhões de anos estavam cercados por uma solução de diferentes metais que provavelmente afetaram seu metabolismo. Muitos íons foram adsorvidos nas células vivas e participaram das reações bioquímicas. Os metais desempenharam uma grande parcela na evolução dos processos de óxido-redução das células durante diferentes períodos de transição da anaerobiose para a aerobiose (KOMATINA, 2004). Hoje, sabe-se que cerca de 60 elementos são encontrados no organismo humano, 36 dos quais são metais.

Os metais e elementos químicos de interesse do ponto de vista biológico e médico incluem os denominados macroelementos essenciais, sem os quais as plantas e animais não seriam capazes de sobreviver, e os microelementos essenciais necessários para sobrevivência e manutenção da vida. Em oposição a estes elementos estão os elementos não essenciais e tóxicos e outros que em certas concentrações ameaçam a vida, apesar de certo papel bioquímico e biológico de alguns deles (As, Hg) não poder ser ignorado (KOMATINA, 2004).

A diferenciação dos elementos em essenciais e tóxicos é conseqüência da seleção da evolução (HOROVITZ, 1988). Dos elementos da tabela periódica, cerca

de 30 podem ser tóxicos para os homens (PASCALICCHIO, 2002). Os problemas de saúde causados por elementos químicos devem-se não só à presença de elementos tóxicos no organismo, mas principalmente ao rompimento do balanço da quantidade ótima de elementos essenciais para cada organismo. Isto já era conhecido por Paracelso (1493–1541) que proferiu a lei básica da toxicologia: “Todas as substâncias são venenosas e nada é venenoso; a dose correta diferencia um veneno e um medicamento” (SELENIUS et al, 2004). Então, tanto a presença de elementos tóxicos, como a carência ou o aumento da concentração de elementos essenciais, podem causar efeitos biológicos negativos.

A toxicidade é uma propriedade inerente à estrutura química de uma substância, e define sua capacidade de provocar lesão a um organismo vivo (OPS, 1980, apud LICHT 2001). Elementos essenciais são regulados por certos processos metabólicos a um equilíbrio particular nos organismos, enquanto elementos não essenciais não são regulados e podem simplesmente ser estocados em quantidades crescentes em certos tecidos (HOROVITZ, 1988).

Quando se considera o risco à saúde, é de suma importância a análise da dose e do nível de exposição a determinado elemento, pois alguns efeitos estão diretamente relacionados à dose e à biodisponibilidade e indiretamente a fatores químicos, geoquímicos e biológicos que a influenciam (GE et al, 2000). A biodisponibilidade é função das características de solubilidade do mineral ou da substância que o contém (CORTECCI, 2003), e é fator que determina a essencialidade de um elemento. É definida como a proporção da substância ingerida que é absorvida, transportada ao sítio de ação, e convertida a espécies fisiológicas ou tóxicas ativas (HOROVITZ, 1988).

A biodisponibilidade dos elementos químicos para os organismos animais e vegetais e indiretamente para o homem é condicionada pela composição química das águas e solos e pelas propriedades específicas dos elementos. Análises comparadas de metais em água, sedimentos de rios e tecidos biológicos mostraram que a assimilação e a acumulação por plantas e animais podem variar consideravelmente de um ambiente para outro (CORTECCI, 2003), indicando que riscos à saúde em um determinado território podem derivar de modificações ambientais. Duarte e Pasqual (2000) detectaram a existência de risco de exposição humana através da análise de amostras de solo, plantas e cabelos humanos. Eles comprovaram a existência de poluição por metais em quatro rodovias do estado de

São Paulo através da avaliação da presença de metais pesados provenientes de poluição emitida pela queima de combustíveis automotores.

Os ambientes que configuram situações de risco mais marcantes para a saúde e qualidade de vida são aqueles que foram modificados pelo homem (TAMBELLINI, 1996; DISSANAYAKE e CHANDRAJITH, 1999; PASCALICCHIO, 2002). Os ambientes modificados apresentam situações de risco que estão relacionadas com o crescente desenvolvimento econômico e industrial, com conseqüente poluição e degradação do meio ambiente (CÂMARA, 1997).

Em relação à degradação ambiental, merecem particular atenção no Brasil as bacias que drenam as regiões metropolitanas e as principais aglomerações urbanas do país, todas com graves prognósticos no que concerne à disponibilidade dos mananciais de abastecimento, ao controle de cheias e problemas relacionados à poluição de rios e córregos (MORAES e JORDÃO, 2002).

Brilhante (1999), salientou que a prevenção dos danos à saúde, deve ser tratada de forma integrada com fatores ambientais e, principalmente com fatores econômicos, utilizando um modelo de gestão de saúde ambiental no qual a atividade industrial deve respeitar os limites de renovação e recomposição dos recursos renováveis da natureza.

A contaminação ambiental por substâncias tóxicas tem sido discutida há vários anos pela Organização Mundial de Saúde e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. A partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, a noção de sustentabilidade começou a se firmar como novo paradigma do planeta. No cerne desta conferência esteve o conceito de Meio Ambiente Sustentável, que colocou o ser humano como centro das preocupações, vivendo em uma sociedade em harmonia com a natureza, em uma vida produtiva e saudável (AGENDA 21, 1992). Para proporcionar as necessidades do presente sem comprometer as habilidades das futuras gerações de obter suas próprias necessidades, é necessário o conhecimento da atual situação dos recursos naturais, principalmente das bacias hidrográficas que drenam as regiões metropolitanas.

Segundo a Agenda 21 (1992), os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo diferentes situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, de inadequado controle de efluentes industriais, da perda e destruição das bacias de

captação, da localização errônea de unidades industriais, do desmatamento, da agricultura migratória sem controle e de práticas agrícolas deficientes. Todas estas situações perturbam os ecossistemas aquáticos e ameaçam as fontes de água doce.

No Brasil, existem leis que regulamentam a utilização e a qualidade das águas. A classificação das águas é definida pela resolução CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986 (BRASIL, 1986), que considera que saúde e bem-estar humanos, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados como consequência da deterioração da qualidade das águas, e define para cada classe, o teor máximo permitido de elementos e compostos químicos e demais substâncias potencialmente prejudiciais.

Quanto à água potável, as concentrações máximas permitidas de elementos químicos foram primeiramente definidas pela Portaria n. 1469 do Ministério da Saúde de 29 de dezembro de 2000 (BRASIL, 2000), que estabelecia os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, incluindo tanto o sistema de abastecimento de água para consumo humano quanto as soluções alternativas de abastecimento de água para consumo humano (fontes, poços, distribuição por veículo, instalações condominiais). Em 2004, foi publicada a Portaria n. 518 do Ministério da Saúde de 25 de março de 2004, que revogou a Portaria n. 1469 do Ministério da Saúde e reeditou os mesmos valores máximos permitidos contidos nela, estabelecendo também outras providências (BRASIL, 2004a).

Para avaliar a situação dos sedimentos de corrente das drenagens, podem ser utilizados os dados da resolução do CONAMA recentemente publicada, a Resolução n. 344 de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004b), que estabelece diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado, visando o gerenciamento de sua disposição em águas jurisdicionais brasileiras. Esta resolução classifica o material a ser dragado em dois níveis, o Nível 1, que estabelece que o material que apresente concentrações abaixo de seus valores oferece baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, e o Nível 2, que estabelece limiares acima dos quais prevê-se um provável efeito adverso à biota.

O estudo multielementar da composição química da água e de sedimentos de corrente possibilita a quantificação de elementos químicos em bacias hidrográficas sujeitas a diferentes tipos de contaminação, naturais e/ou antrópicas e auxilia a compreensão da realidade ambiental destas bacias, que em regiões metropolitanas

são particularmente marcadas por um complexo conjunto de atividades antrópicas. Segundo Paula (2000), estas atividades determinam vários tipos e graus de impactos sobre o ambiente e são passíveis de comparações e experimentos.

1.2.2. Geologia e Saúde

Muitas doenças que afetam o homem possuem um substrato causal, condicionante ou desencadeante de caráter ambiental, e podem ocorrer através de contaminações agudas ou crônicas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002). As contaminações ambientais que podem comprometer a saúde de homens e animais ocorrem tanto por processos naturais como antrópicos. A ligação entre o ambiente contaminado e a saúde é fornecida diretamente pela cadeia alimentar e por inalação de poeiras e gases atmosféricos, bem como por contato de substâncias com a pele.

As principais contaminações ambientais naturais são causadas por vulcanismo e atividades relacionadas que disponibilizam metais e outros elementos da profundidade da Terra para o ambiente superficial. Nuvens de poeira vulcânica podem promover grandes danos à saúde, causando problemas que vão desde irritações respiratórias até silicose pulmonar (SELENIUS et al, 2004). Intemperismo e terremotos também ameaçam a saúde por induzirem deslizamentos de terra que remobilizam elementos disponibilizando-os à biota em concentrações diferentes das anteriores aos eventos (DISSANAYAKE e CHANDRAJITH, 1999).

Licht (2001) relata que em 1959 já eram conhecidas por Vinogradov as conexões existentes entre a ocorrência de diversos elementos no solo e a vitalidade das plantações e sanidade humana e de animais domésticos. Ele notou uma dependência entre províncias biogeoquímicas e doenças endêmicas que eram especialmente evidentes em regiões com excesso ou carência de elementos no solo. Em 1975 Webb salientou que não haviam dúvidas quanto à existência de padrões de distribuição geográfica na incidência de muitas moléstias. Nesta época já era bem conhecida a importância dos elementos traço na saúde humana e em nutrição (WEBB, 1975 apud LICHT, 2001).

Dissanayake e Chandrajith (1999) relataram vários exemplos de doenças causadas pelo desequilíbrio da concentração de elementos químicos no organismo, caracterizando um relacionamento direto entre o ambiente geoquímico e as moléstias. São exemplos clássicos, a ocorrência de bócio endêmico relacionado à

deficiência de iodo e a ocorrência de cárie dentária relacionada à deficiência de flúor, bem como a ocorrência de fluorose dentária e do esqueleto por excesso de sua ingestão. Na Indonésia e no Sri Lanka, a freqüente ocorrência de cretinismo e de hipertrofia da tiróide estão relacionadas principalmente à geodisponibilidade do iodo. Quanto ao flúor, mais de 200 milhões de pessoas no mundo estão expostas à água com excesso de flúor, além da liberação de flúor no ar provenientes da queima doméstica de carvão que também causa extensos problemas à saúde (SELENIUS et al, 2004).

O selênio que é um elemento considerado essencial para o homem, está envolvido em várias funções metabólicas, em particular como componente de enzimas antioxidantes que previnem doenças degenerativas. Doses diárias de selênio inferiores a 0,04 mg são consideradas insuficientes para a manutenção de suas funções no organismo, enquanto que doses superiores a 0,1 mg podem ser consideradas tóxicas e levar à ocorrência de várias doenças como câncer, esclerose muscular, e distrofia muscular (CORTECCI, 2003). Na China, as doenças de Keshan (degeneração do músculo cardíaco: cardiomiopatia crônica) e Kashin-Beck (osteoartropatia endêmica) têm sido atribuídas a baixos níveis de selênio no solo e alimentos (SELENIUS et al, 2004).

O envenenamento por arsênio afeta pessoas no sudoeste da China, causando sintomas típicos que incluem hiperpigmentação, hiperqueratose e doença de Bowen. Diferentemente de outras comunidades afetadas, o problema na China não é causado pela água e sim pelas pimentas *chilli*. Estas pimentas são comumente desidratadas sobre fornos a carvão que utilizam o carvão obtido do local que é rico em arsênio. Enquanto pimentas frescas contêm menos de uma parte por milhão (ppm) de arsênio, as desidratadas sobre os fornos a carvão apresentam mais de 500 ppm de arsênio (SELENIUS et al, 2004).

Os exemplos de enfermidades relatados acima, representam correlações muito fortes entre as comunidades e seu ambiente. A dieta destas populações possuía estreita ligação com a terra em que viviam. No entanto, esta ligação torna-se inevitavelmente mais tênue à medida que aumenta o consumo de alimentos processados e de alimentos provenientes de diferentes localidades. As migrações populacionais também contribuem para atenuar esta ligação (LICHT, 2001). Mesmo as populações com ligações mais tênues meio ambiente/saúde apresentam problemas de enfermidades cujo fator determinante ou condicionante são elementos

e compostos químicos presentes no ambiente que provocam o rompimento da homeostasia dos organismos. Existem vários estudos publicados na literatura descrevendo estes desequilíbrios e doenças. São mencionados a seguir, alguns estudos relacionados às contaminações ambientais mais freqüentes.

Schroeder (1974) observou a qualidade da água em 42 estados norte-americanos e publicou uma série de correlações entre elementos traço presentes na água ingerida e a ocorrência de doenças cardiovasculares. Em 2004, Kousa et al estudaram a geoquímica da água subterrânea na Finlândia e sua relação com a ocorrência de infarto agudo do miocárdio. Eles verificaram a existência de relação inversa entre a dureza da água e a ocorrência de doença cardíaca coronariana, confirmando relatos anteriores de autores para esta região. Em seu trabalho, o estudo da geoquímica proporcionou uma análise espacial que permitiu a seleção de áreas adequadas para pesquisas mais detalhadas (KOUSA et al, 2004).

Brown *et al* (2000) relataram que em 1995 foi confirmada em Bangladesh na Índia uma contaminação por arsênio em proporções inimagináveis, proveniente da água de poços tubulares utilizados pela população como fonte de água potável. No Brasil, no estado do Rio de Janeiro, Rodrigues Filho *et al* (2002) constataram a ocorrência de anomalias nas concentrações de arsênio e zinco no rio Paraíba do Sul em condições favoráveis à absorção biológica. Jordão *et al* (1999), mostraram a poluição das águas de rios do estado de Minas Gerais por manganês, chumbo e cádmio, em níveis superiores aos indicados pela resolução CONAMA n. 20.

Em um artigo de revisão, Domingo (1994) relatou a toxicidade induzida por metais em mamíferos. Citou que alguns elementos como arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio e urânio induzem embriotoxicidade e teratogenicidade em alguns mamíferos. Ele também estudou a toxicidade de elementos essenciais como o cromo, cobalto, manganês, selênio e zinco, bem como o desenvolvimento de toxicidade por níquel e vanádio que são metais de interesse biológico. Alumínio, gálio e lítio que são metais tidos como terapêuticos podem estar envolvidos no desenvolvimento de toxicidade. A carcinogenicidade de alguns metais em humanos foi estudada por Hayes, que realizou uma revisão sobre vários estudos epidemiológicos envolvendo arsênio, berílio, cádmio, cromo, chumbo e níquel. Ele ainda relatou casos de câncer de pulmão ligados ao minério de antimônio (HAYES, 1997).

Vários elementos químicos podem atuar no sistema imunitário. Segundo Bigazzi (1996), alguns metais como berílio, chumbo, zinco e cádmio induzem respostas autoimunes, sendo que outros como alumínio, arsênio germânio, ferro, magnésio, manganês, molibdênio, níquel, platina, selênio e vanádio podem afetar as repostas imunes humoral ou celular. Existem evidências de indução de respostas autoimunes em animais experimentais desencadeadas pelo cobre. Descostes (1986) apud Bigazzi (1996) relatou os efeitos imunotóxicos do chumbo, um contaminante muito difuso no meio ambiente. O chumbo induz a proliferação de células T *in vitro*, aumenta a diferenciação e expressão de MHC classe II, e altera a habilidade dos macrófagos apresentarem antígenos.

Considerando ainda o sistema imunitário, Kilburn e Warshaw (1992) afirmaram que uma longa exposição a pequenas doses de cromo inorgânico (e outros produtos químicos) através da água contaminada desencadeia uma síndrome tipo LES - Lúpus Eritematoso Sistêmico. Descostes (1986) apud Bigazzi (1996) relata as propriedades imunotóxicas do cádmio, como depressão de respostas a anticorpos tanto *in vitro* como *in vivo*, bem como algumas repostas de potenciação do sistema imunitário. Yücesoy et al (1997) relataram que a exposição crônica a altos níveis ambientais de cádmio e chumbo pode afetar o nível de algumas citocinas em humanos. Stratta et al (2001) realizaram um estudo epidemiológico e de patogenicidade de metais em vasculite autoimune e concluíram que a exposição ao silício deve ser um fator de risco de vasculite associado à anticorpos anti-neutrófilos - ANCA, possivelmente devido ao aumento do dano endotelial provocado por radicais livres gerados pelos fagócitos.

Quanto ao alumínio, a principal consideração em relação à saúde, é seu potencial de toxicidade através de exposição excessiva. O risco de toxicidade aumenta em pessoas com prejuízo da função renal. O alumínio interage com outros elementos como cálcio, flúor, ferro, magnésio, fósforo e estrôncio, e quando ingerido em excesso pode reduzir suas absorções (OMS, 1998). O alumínio tem sido detectado em placas senis e teias neurofibrilares de neurônios de pacientes com doença de Alzheimer. Vários estudos epidemiológicos têm demonstrado uma associação entre a concentração de alumínio na água potável e o risco de doença de Alzheimer (MARTYN, 1997).

Sjögren et al (1996) comprovaram efeitos neurotóxicos tanto do alumínio quanto do manganês em grupo de soldados expostos ocupacionalmente, e Van

Landheghem et al (1998) estudaram a especiação, distribuição e toxicidade do alumínio e do silício em líquidos biológicos de pacientes em diálise. Estes pacientes desenvolveram certos estados patológicos associados ao alumínio devido ao tratamento deficiente do sistema de água nas unidades de diálise.

As interações toxicológicas entre arsênio, cádmio, cromo e chumbo em queratinócitos da epiderme humana foram estudadas por Bae et al (2001), que determinaram a citotoxicidade de todos e caracterizaram as interações entre os metais. Quanto ao chumbo, Nash et al (2003) estudaram em mulheres pós-menopausa, a associação da exposição ao chumbo e hipertensão arterial. Eles encontraram que, em níveis de exposição abaixo dos determinados pelos limites ocupacionais nos EUA (40 µg/dl), os níveis sanguíneos estavam positivamente associados ao aumento tanto da pressão sistólica como da pressão diastólica em mulheres com idades entre 40 e 59 anos. Esta relação foi mais pronunciada em mulheres pós-menopausa. Isto está de acordo com o achado por Meyer e Wilson (1998) que realizaram uma revisão dos níveis de exposição ao chumbo em vários países e afirmam que os níveis de chumbo dosados no sangue fornecem uma indicação mais direta da exposição sofrida pelos indivíduos do que os níveis ocupacionais estabelecidos (geralmente dosados no ar).

Os médicos devem manter estado de alerta para as possíveis fontes ambientais de contaminação por chumbo, bem como por outros metais, e possuírem um protocolo para identificação das exposições ambientais (SANBORN et al, 2002), pois elas são mais freqüentes do que o esperado e os sinais clínicos aparentes de intoxicação podem confundir-se com várias desordens. Como exemplo podem ser citados o aumento da pressão sanguínea, o dano da função renal, hiperuricemia e gota provenientes da inibição da excreção de urato como resultado de exposição a baixas quantidades de chumbo, (LIN et al, 2002), bem como uma diminuição da transtiretina (sintetizada pelo plexo coróide) que carrega hormônios da tiróide no líquido cerebrospinal (ZHENG et al, 2001).

O berílio no ambiente, sua relação com a saúde e as ações regulatórias foram revisadas por Taylor et al (2003). Eles relataram que os principais problemas de saúde ligados a este elemento, são a beriliose ou doença crônica do berílio e o câncer pulmonar. Quanto ao cromo, sua potencial carcinogenicidade (cromo hexavalente) é bem estudada, e é um problema de saúde ocupacional e ambiental. Ele é um carcinógeno quando inalado, e se ingerido, é acidificado pelo estômago

sendo reduzido à forma trivalente (STOECKER, 1999), que é uma forma essencial ao organismo e amplamente utilizada em suplementos, particularmente para pacientes diabéticos. No entanto, existe um relatado de caso de hepatite crônica induzida por picolinato de cromo (Cr III) em paciente que estava sob tratamento para perda de peso, ingerindo-o em conjunto com estratos vegetais. (LANÇA et al 2002). Este caso foi revertido pela suspensão da medicação.

O manganês é com frequência considerado um dos elementos menos tóxicos quando administrado oralmente. Assim, são poucos os casos relatados de toxicidade humana causada por ingestão oral de grande quantidade de manganês. A forma mais comum de toxicidade por manganês é a exposição ocupacional através de inalação crônica de grandes quantidades transportadas pelo ar em minas, minas de aço, e algumas indústrias químicas e em soldadores. Os sinais de toxicidade em mineiros de manganês chilenos foram manifestados a primeira vez na forma de anormalidades psiquiátricas, incluindo hiperirritabilidade, atos violentos, e alucinações. Estas mudanças foram chamadas de loucura mangânica. A progressão da doença acarretou distúrbios neurológicos incapacitantes permanentes do sistema extra-piramidal com lesões morfológicas similares às da doença de Parkinson (OMS, 1998).

Em humanos, o envenenamento agudo por cobre é raro, geralmente resultando de ingestão acidental. Os sintomas clínicos de toxicidade crônica são mais comuns e mais sutis, e aparecem quando a capacidade de seqüestro hepático protetor de cobre é excedida, levando à hepatite, cirrose hepática, icterícia e não freqüentemente a uma crise hemolítica similar à que acompanha a toxicidade aguda por cobre (OMS, 1998).

Os estudos mencionados anteriormente demonstram que problemas de saúde associados a riscos toxicológicos por poluição química ambiental estão presentes não só em ambientes de trabalho, mas também são causados por desequilíbrios de ingestão (ex., excessos de cádmio e chumbo e deficiências de selênio e zinco). Então, a preocupação com riscos ambientais deve estar voltada tanto para as populações expostas ocupacionalmente quanto para as populações de modo geral, expostas a ambientes que possam oferecer riscos de contaminação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002). Para que estas populações possam ser conhecidas, orientadas e atendidas, é de primordial importância a realização de estudos de diagnóstico

ambiental para conhecimento da composição do meio abiótico. Os estudos de hidrogeoquímica constituem a base para a realização destes diagnósticos.

1.2.3. Estudos de Hidrogeoquímica

A poluição da água por metais pesados e elementos químicos tornou-se nos últimos anos uma questão de considerável preocupação pública e científica à luz das evidências de sua toxicidade à sistemas biológicos e à saúde humana. Vários estudos têm sido conduzidos todos os anos com o objetivo de entender os ambientes hidrogeoquímicos e sua relação com a saúde do meio ambiente.

Na Península Ibérica, foram utilizados estudos de hidrogeoquímica para avaliação do impacto antropogênico na qualidade da água superficial e profunda. Em alguns locais do estudo, foram reveladas concentrações de elementos químicos que ultrapassavam os níveis máximos recomendados, e ficou estabelecido que estas ocorrências possuíam contribuição antropogênica (SALA, 2004).

Na Coreia, a qualidade da água do rio Anyang foi verificada através da presença de metais nos sedimentos de fundo e no sedimento em suspensão. Os resultados das análises revelaram que as concentrações encontradas de elementos traço na água do rio geralmente encontravam-se abaixo da média mundial com exceção dos elementos As, Mn, Ni e Cr. Mais de 99% dos metais traço estavam associados ao sedimento de fundo. As concentrações destes metais traço sofreram influência da distribuição do tamanho das partículas e do conteúdo de matéria orgânica. Os autores concluíram que os elementos traço acumulados no sedimento poderiam afetar a qualidade da água do rio (Lee et al, 2003).

No Japão, suspeitava-se que uma mina pudesse estar afetando a qualidade da água do rio Kawata. Para pesquisar o ambiente hidrogeoquímico, os autores estudaram a distribuição de metais pesados tanto na água como no sedimento de corrente. Eles quantificaram a distribuição geográfica de metais pesados acompanhando seu comportamento físico-químico de acordo com a corrente do rio. O estudo também avaliou a aplicabilidade de técnicas analíticas multivariadas em geoquímica ambiental. Os autores confirmaram suas suspeitas e concluíram que a distribuição geográfica dos metais pesados na região estudada era altamente controlada pelo fluxo de descarte da mina abandonada, que afetava a qualidade da água (Anazawa et al, 2004).

Para compreender o comportamento dos metais em sedimentos de drenagens e para prevenir o potencial dano tóxico, Gismera et al (2004) estudaram a disponibilidade e a mobilidade dos metais em sedimentos de corrente de rio e sua associação a outros componentes (especiação). Eles utilizaram difração de raio X na análise semi-quantitativa mineralógica do sedimento. Os autores ressaltaram a importância da especiação para a mudança de disponibilidade dos metais que, juntamente com condições ambientais, podem conduzir os elementos a tornarem-se tóxicos para animais e plantas em ambientes aquáticos.

Na Inglaterra foi realizado um estudo para determinação da extensão da contaminação dos sedimentos. Esta contaminação era proveniente de atividades anteriores realizadas na área de estudo. As amostras foram coletadas em intervalos de 1 km e os sedimentos foram analisados de forma multielementar. Os resultados foram comparados com dados regionais anteriores de pesquisa geoquímica e revelaram persistência da contaminação dos sedimentos. A área em questão era utilizada para agricultura, e a água retirada do local contaminado era utilizada para regar as plantações, configurando situação de risco para a população local (Lord e Morgan, 2003).

Na China, Cheung et al (2003) realizaram um estudo no delta do rio Pearl, e encontram alto conteúdo de níquel e zinco na água em certos pontos do rio. As concentrações destes elementos sugeriam a ocorrência de algum ponto de contaminação. Durante a pesquisa os autores depararam-se com a falta de dados em relação à origem e distribuição de poluentes persistentes em sedimentos de rios, e almejavam que a comparação dos níveis de poluentes em diferentes rios pudesse ser utilizada para identificar fontes de poluição que entravam na área estudada. Os dados preliminares encontrados por eles indicaram que o rio e os sedimentos transportavam poluentes que constituíam um dos fatores para a degradação da qualidade da água. Os dados base obtidos neste trabalho foram importantes para o delineamento e controle de políticas de conservação do Delta do Rio Pearl.

No Brasil, Guerra e Silva Júnior (1997) realizaram a caracterização físico-química do rio Taquari – RS através de análises das variações físicas, químicas e de coliformes em água bruta em quatro pontos do rio, no período de 1988 a 1995. Eles concluíram que a ação erosiva natural sobre as rochas da região e o uso do solo associado ao escoamento superficial da água influenciavam muito a qualidade do rio, e que fatores antrópicos mostravam-se variáveis e inconstantes ao longo do

tempo e ao longo do rio, que apresentou épocas de melhor ou pior qualidade ambiental.

Moraes e Jordão (2002) da Universidade de Mato Grosso do Sul, estudaram os fatores de degradação dos recursos hídricos e os efeitos sobre a saúde humana. Eles realizaram uma exposição sobre as várias atividades antrópicas que contribuem para a degradação ambiental, e concluíram que a escassez dos recursos hídricos é uma resposta ao descontrole social que produz efeitos negativos sobre a saúde humana através da degradação dos corpos d'água.

A qualidade da água subterrânea e a geoquímica do solo de um aterro sanitário foram avaliadas no Distrito Federal. Os pesquisadores observaram que em janeiro de 1995 estavam sendo depositados no aterro, além de resíduos domésticos, resíduos industriais e hospitalares em uma taxa que chegou a 1800 toneladas/dia. A infiltração e a percolação das águas pluviais através do aterro provocava a migração de uma série de compostos químicos orgânicos e inorgânicos que poderiam atingir a zona saturada e poluir o aquífero. Eles não detectaram alterações geoquímicas significativas na área, e as concentrações de metais tanto na água quanto no solo também não indicaram alteração geoquímica significativa, demonstrando que o solo da região era eficiente na retenção de metais (Boaventura et al, 1995).

A qualidade dos sedimentos na Baía da Ribeira no Rio de Janeiro foi avaliada através da distribuição de metais em áreas preservadas e em áreas impactadas da baía. Os autores optaram por este método para realizar comparações entre as áreas. Para a classificação dos metais eles utilizaram o alumínio como referência, classificando-os como: associados ao alumínio, intermediários, inversamente associados e não associados. Eles encontraram que fatores climáticos e hidrogeológicos foram importantes na distribuição dos metais e concluíram que a área estudada apresentava níveis naturais de metais comparáveis a folhetos médios e a outras áreas não impactadas (Cardoso et al, 2001).

Bisinoti et al (2004) avaliaram a influência da urbanização e da industrialização nas modificações ambientais do recurso hídrico através da determinação da concentração de vários metais pesados em quatro ribeirões da bacia hidrográfica da cidade de Londrina-PR, no período de fevereiro de 1997 a fevereiro de 1998. Eles conseguiram demonstrar a influência da urbanização e da industrialização no recurso hídrico de forma correspondente à ocupação.

No estado de Goiás, Araújo (2001) realizou um trabalho de levantamento de dados em hidrogeoquímica nos rios do entorno de Goiânia com o objetivo de verificar os parâmetros físico-químicos das águas, a composição multielementar dos sedimentos de corrente, e localizar possíveis fontes de contaminação antrópica ou natural. Foram escolhidos como pontos de coleta, o Rio Meia Ponte e os ribeirões Santo Antônio e João Leite, os dois primeiros por serem maiores e relativamente poluídos e o terceiro por ser um dos principais fornecedores de água potável para a cidade. As amostras foram coletadas em agosto de 1999.

O resultado do trabalho revelou valores anômalos dos elementos Pb, Cd, Cr e Zn no sedimento do rio Meia Ponte. O elemento cromo apresentou valores anômalos na amostra coletada abaixo de Goiânia, o que poderia relacionar-se a rochas básicas ou à proximidade de curtumes. O elemento Pb apresentou valores elevados na amostra coletada abaixo de Goiânia, o que poderia estar refletindo uma contaminação antrópica. As amostras nos pontos de coleta localizados acima de Goiânia apresentaram concentrações baixas para ambos elementos. A distribuição de Zn não coincidiu com a distribuição de Pb (normalmente correlacionam-se em função da litologia). O valor anômalo de Cd encontrado no córrego Santo Antônio pareceu estar relacionado ao ferro que também apresentou valores anômalos (Araújo, 2001).

Tomando por base o trabalho de Araújo (2001), foi proposta a realização de adensamento dos pontos de amostragem para identificação de locais com presença de possíveis fontes contaminantes. O presente trabalho adensou as amostras e disponibiliza seus resultados na forma de base de dados da composição multielementar da água e dos sedimentos de corrente das drenagens da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte na região Metropolitana de Goiânia, e de mapas de distribuição dos elementos químicos. Os dados apresentados podem contribuir para a tomada de decisão por parte de autoridades da saúde quanto às áreas de risco ambiental, e servem para o estabelecimento de ações para redução da exposição a elementos químicos potencialmente perigosos.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO

Goiânia, capital do estado de Goiás, está situada no coração do Brasil. É uma cidade nova, atualmente com 70 anos, fundada em 24 de outubro de 1933. Possui área de 704,08 km² e uma população total de 1.093.007 habitantes, sendo 1.085.806 na zona urbana e 7.201 na zona rural (GOIÂNIA, 2004a).

O município de Goiânia é limitado ao norte pelos municípios de Goianira, Nerópolis e Goianópolis; ao sul, pelo de Aparecida de Goiânia; a leste, pelo de Bela Vista de Goiás; e a oeste, pelos de Goianira e Trindade. O território, situado em uma região de topografia quase plana, surge como um degrau de acesso às terras mais elevadas do Brasil Central.

A Região Metropolitana de Goiânia é composta pelos municípios de Abadia de Goiás, Aragoiânia, Aparecida de Goiânia, Goianópolis, Goiânia, Goianira, Hidrolândia, Nerópolis, Santo Antônio de Goiás, Senador Canedo e Trindade, todos limítrofes e/ou conurbados à capital. A área estudada, localizada nesta região, está situada entre os paralelos 668000 e 700000 longitude e 8175200 e 8140000 latitude, possui área de aproximadamente 1260 km² e é uma área de grande significado econômico para o estado de Goiás.

O rio Meia Ponte e seus afluentes, entre os quais destaca-se o Ribeirão João Leite, principal fornecedor de água para o abastecimento de Goiânia, constituem a rede hidrográfica da cidade.

Para este trabalho foram selecionadas duas regiões da área estudada. A região leste, correspondendo à margem esquerda do rio Meia Ponte, que apresenta baixa densidade populacional e poucos sinais visíveis de contaminação das drenagens. As drenagens estudadas nesta região incluíram um corpo d'água que é tributário do ribeirão João Leite, e várias drenagens que desembocam diretamente no rio Meia Ponte, e que são utilizadas para irrigação de hortas e pomares.

A região oeste, correspondendo à margem direita do rio Meia Ponte, cujas drenagens selecionadas são afluentes de seu alto curso. A região é bem povoada e as drenagens apresentam sinais visíveis de contaminação. Nestes locais a vegetação e os corpos hídricos sofreram grande influência da presença humana. Nesta região estão sendo realizadas pesquisas ambientais para verificação de

possíveis contaminações naturais ou antrópicas pelas instituições parceiras CPRM, IBGE, CNPq (ARAÚJO et al, 2004). A área estudada e os pontos de amostragem selecionados são mostrados na Figura 1.

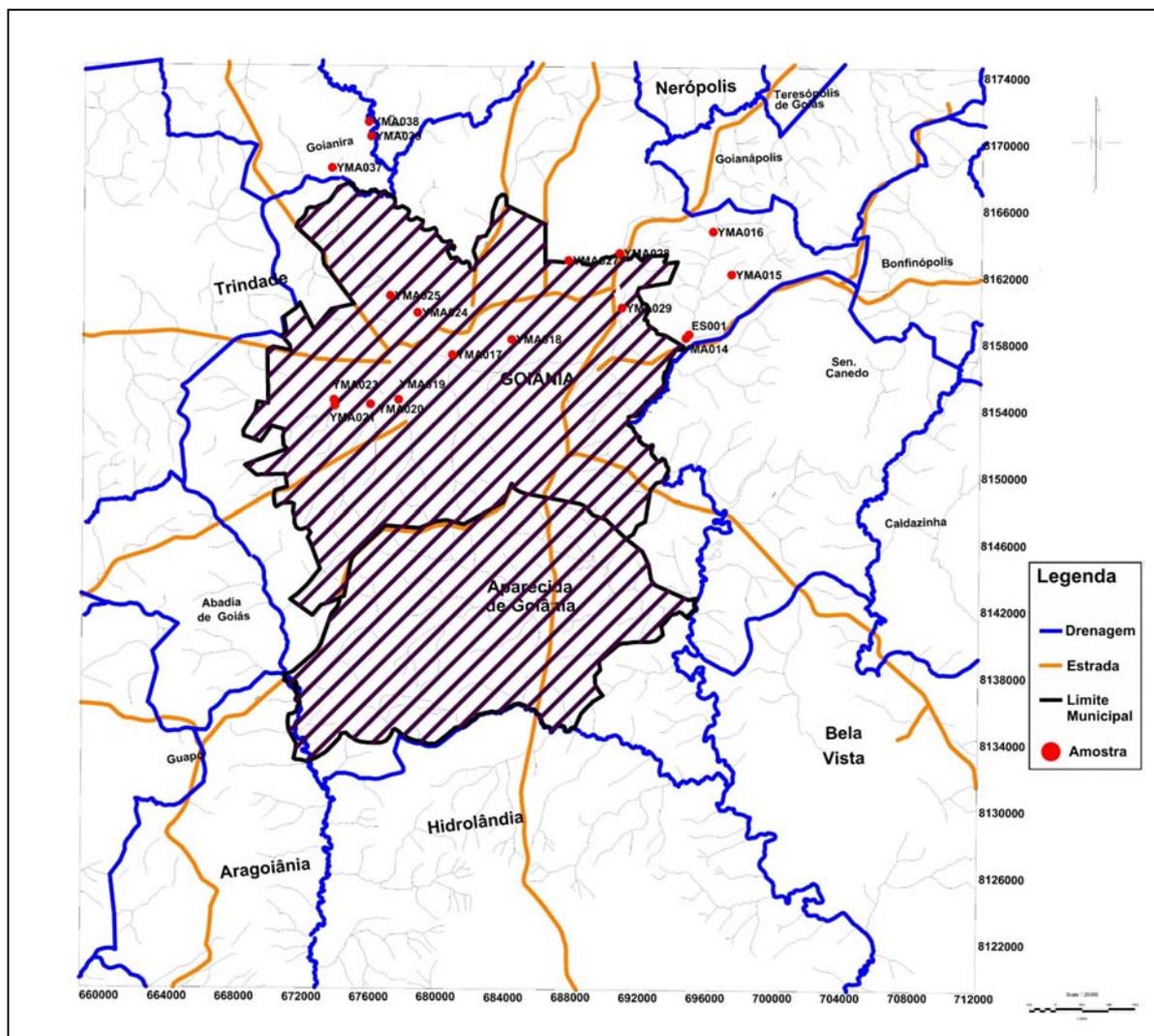


Figura - 1: Mapa de distribuição dos pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia, onde foram coletados água e sedimento de corrente em agosto de 2003

2.2. CLIMA

O clima mesotérmico é úmido, com uma estação seca com duração de cinco meses (maio a setembro). A temperatura média anual é de 21,9°C, devido à influência da altitude. As temperaturas mais baixas ocorrem de maio a agosto, 18,8°C a 21,0°C. A primavera é a estação mais quente, com média das máximas entre 29°C e 32°C (GOIÂNIA, 2004a).

Várias alterações na temperatura em Goiânia foram constatadas na série histórica de 1939 a 1987. Verificou-se que as alterações ocorreram em associação

direta ao crescimento populacional. Até aproximadamente 1958, as temperaturas médias encontravam-se abaixo da média da série analisada. A partir de então, começaram a aparecer irregularidades transitórias, e a partir de 1966, passaram a apresentar uma tendência térmica crescente; na década de quarenta, encontrava-se em torno de 21,0°C, enquanto na década de oitenta, aproximou-se dos 23,0°C, evidenciando um acréscimo térmico de 2°C. (GOIÂNIA, 2004b)

A umidade relativa do ar, que no início encontrava-se acima da média da referida série (entre 70 a 75%), a partir de 1966, apresentou uma tendência decrescente (entre 60 a 65%), reflexo do sensível aumento do calor associado ao índice de concreto, bem como à redução da cobertura vegetal (GOIÂNIA, 2004b).

As precipitações apresentaram uma média histórica (1939 a 1987) de 1.505,7mm. Desde então tendem a uma maior concentração, o que implica torrencialidades (concentrações de chuvas) com conseqüências catastróficas, sobretudo para os fundos de vale, onde a água escoada é conduzida, favorecida pela impermeabilização das superfícies pela ocupação humana. Atualmente registram-se oscilações em relação à média da série (1939/87), indo de 1.347,2 mm (estação Aeroporto Santa Genoveva) a 1.424,1 mm (estação Fazenda Capivara) (GOIÂNIA, 2004b).

2.3. HIDROGEOLOGIA

Na região ocorrem as duas unidades armazenadoras e fornecedoras de água subterrânea (aqüíferos): uma ligada ao manto de intemperismo (solo, rocha alterada e aluviões), denominada de aqüífero de domínio poroso, e outra mais profunda, denominada de aqüífero de domínio fraturado (GOIÂNIA, 2004b).

Os tipos porosos são aqüíferos livres de pequena profundidade, que são influenciados pelas variações climáticas, apresentam flutuações do nível freático e são muito suscetíveis à contaminação, principalmente nas regiões com maior ocupação humana. Esses reservatórios subterrâneos apresentam grandes extensões e espessuras que variam de poucos centímetros a até 50 metros (GOIÂNIA, 2004b).

No meio aqüífero fraturado, a água encontra-se em espaços representados por fissuras ou fraturas, juntas ou ainda em falhas. Com raras exceções, o aqüífero está limitado a profundidades de 150 metros e apresentam poços com vazões

superiores a 10.000 L/h, sendo que a grande maioria apresenta vazões entre 1.000 e 2.500 L/h (GOIÂNIA, 2004b).

2.4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para um melhor entendimento das concentrações dos elementos químicos, principalmente nos sedimentos de corrente, foi realizada uma integração com a geologia da área estudada.

O município de Goiânia encontra-se inserido no contato entre as estruturas arqueanas do Complexo Goiano correspondente à metade setentrional da área, e as estruturas metassedimentares do Proterozóico Médio, relativas ao Grupo Araxá. O Complexo Goiano é composto por um conjunto de rochas cristalinas submetidas a metamorfismo de grau médio a alto, e o Grupo Araxá ocorre na porção meridional do município (GOIÂNIA, 2004b).

Moreton (1994) considera como predominante na região metropolitana de Goiânia a presença do Grupo Araxá Sul, dividido em 02 principais unidades. A unidade C, composta principalmente por granada-clorita-muscovita quartzo xistos feldspato e calcíferos com intercalações subordinadas de gnaisse paraderivados e muscovita xistos, e uma Unidade D constituída principalmente de quartzitos micáceos, com intercalações subordinadas de quartzo-muscovita xistos, sericita xistos, filitos e quartzitos ferruginosos. Entretanto, recentemente, Lacerda Filho (1999) relatou que a área estudada encontra-se representada pelo complexo granulítico Anápolis-Itauçu. Este complexo compreende um conjunto de rochas gnáissicas de alto grau, orto e paraderivadas, que ocorre na porção sudeste do estado de Goiás, entre as cidades de Itaguaru e Pires do Rio (MARINI et al,1984a). Estas rochas apresentam coloração esverdeada, bandamento e textura de fino a média, encontrando-se às vezes intensamente milonitizadas. Essas rochas foram inicialmente posicionadas no domínio dos terrenos arqueanos-paleoproterozóicos do embasamento cristalino, denominado Complexo Basal (BARBOSA,1996) ou Complexo Goiano (CUNHA et al,1981; DRAGO et al,1981; IANHNEZ et al,1983 e MARINI et al 1984b). Lacerda Filho (1995) reúne todo o complexo sob as denominações de Associação de Ortogranulitos (básicos e ultrabásicos) e Associação de Rochas Supracrustais.

Nas proximidades dos córregos Samambaia e Anicuns ocorre o Complexo granulítico Anápolis-Itauçu constituído por granulitos para e ortoderivados sendo os primeiros constituídos de gnaisses aluminosos a hiperaluminosos, granulitos bandados com intercalações de quartzitos aluminosos, quartzitos ferruginosos, gonditos, rochas calcossilicáticas e subordinadamente granulitos ortoderivados associados. Ocorrem também charnoquitos e/ou enderbitos, metagabros e subordinadamente granulitos paraderivados associados.

2.5. PONTOS DE AMOSTRAGEM

Os pontos de amostragem são apresentados na Tabela 1, que relaciona o nome das drenagens, o número da amostra no estudo e as coordenadas geográficas. A drenagem referente à amostra ES001 não apresenta denominação disponível nos mapas utilizados e foi denominada “amostra solicitada”.

Tabela 1 - TOPONÍMIA E LOCALIZAÇÃO DAS 18 DRENAGENS AMOSTRADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA

Local	Amostras	Longitude	Latitude
Córrego Lajeado Capoeirão	YMA014	695768	8158620
Córrego Perdido	YMA015	698494	8162428
Córrego Lajeado Capoeirão	YMA016	697400	8165000
Córrego Cascavel	YMA017	681884	8157654
Córrego Botafogo	YMA018	685414	8158564
Córrego Macambira	YMA019	678687	8154971
Córrego Taquaral	YMA020	677013	8154709
Córrego Cavalto Morto	YMA021	674904	8154636
Ribeirão Anincuns	YMA023	674847	8154978
Córrego Caveirinha	YMA024	679827	8160190
Córrego Fundo	YMA025	678200	8161211
Córrego Pedreira	YMA027	688800	8163300
Córrego Bálsamo	YMA028	691841	8163723
Córrego Ladeira	YMA029	691967	8158900
Córrego São Domingos	YMA037	674751	8168893
Rio Meia Ponte	YMA038	676938	8171647
Rio Capivara	YMA039	677350	8169600
Amostra solicitada	ES001	695960	8158830

2.6. PONTOS DE AMOSTRAGEM NA ÁREA ESTUDADA

As drenagens amostradas, suas denominações e localização na Região Metropolitana de Goiânia são apresentadas na Figura 2, onde pode ser vista a distribuição das amostras em duas regiões distintas, a região leste, correspondendo à margem esquerda do rio Meia Ponte e a região oeste à margem direita do rio Meia Ponte. A área total abrangida pelos pontos de amostragem originou um mapa base onde foram plotados os pontos de coleta nas drenagens e a partir do qual foram realizados os mapas de distribuição dos elementos químicos.

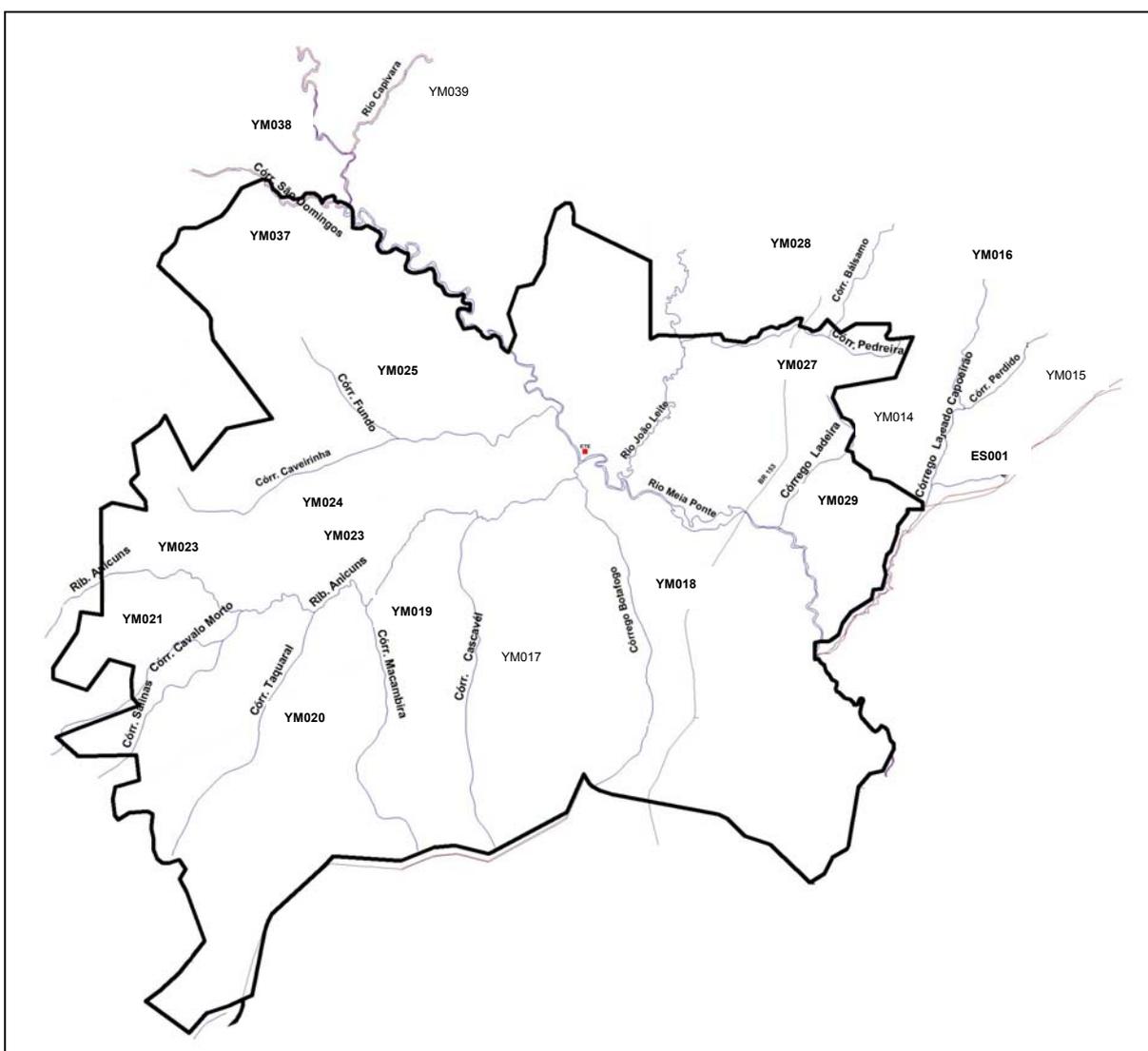


Figura 2. Mapa de localização dos pontos de amostragem na Região Metropolitana de Goiânia com nomes das drenagens e respectivas siglas utilizadas na coleta

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PLANEJAMENTO PRELIMINAR

3.1.1. Parâmetros para definição da área de estudo

A área de captação das amostras foi de 1 amostra/10 km², plotadas em base planimétrica do IBGE na escala 1:100.000, correspondente à Folha Goiânia (SE.22-X-B-IV). A quantidade de amostras foi definida para abranger a região metropolitana de Goiânia. Na seleção das estações de amostragem levou-se em consideração analisar drenagens bastante contaminadas em locais com intensa atividade urbana bem como drenagens menos poluídas para verificar os contrastes entre os elementos estudados (CARDOSO et al, 2001).

A coleta foi planejada para a época de estiagem na região centro-oeste. Este procedimento foi realizado para evitar diluição dos elementos nas amostras.

3.1.2. Sistemática de numeração das amostras

Cada estação de amostragem recebeu uma numeração constituída da sigla do nome do responsável pelo projeto (YM), seguida do número da amostra correspondente a cada drenagem, que havia sido pré-determinado no planejamento.

As amostras de água e sedimento de corrente de cada estação foram acrescidas das letras A ou S para água e sedimento respectivamente, inseridas após a sigla do nome do responsável pelo projeto e seguidas do número da estação.

Neste trabalho, primeiro de um projeto mais amplo que abrange os municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia, foram analisadas 17 amostras. Elas pertencem ao total de 50 amostras do projeto maior numeradas seqüencialmente de 01 a 50. Além destas 17 amostras selecionadas das 50 amostras originais, foi coletada uma amostra adicional em drenagem não constante do planejamento, denominada amostra solicitada, ES001. Ela foi solicitada por moradores do local em decorrência de presença de forte ação antrópica na área. No total, foram analisadas 18 amostras.

3.1.3. Elaboração do Mapa de Amostragem

O mapa de amostragem foi elaborado em escala 1:100.000, conveniente para o adensamento proposto, contendo a distribuição e numeração das estações de amostragem, drenagens, limites municipais e estradas.

3.1.4. Implantação da logística

Foram preparados equipamentos para a medida das coordenadas das estações de coleta – GPS, para as determinações físico-químicas em campo (pHâmetro Hach para medida de pH e temperatura, condutivímetro Hach para medida de condutividade e sólidos dissolvidos, turbidímetro Hach para medida de turbidez e oxímetro Hach para medida de oxigênio dissolvido), e kits para coleta de amostras de água e sedimento de corrente.

As equipes de coleta foram compostas pelo orientador do projeto, pelos coorientadores, por um técnico da CPRM, dois estagiários e pela mestranda.

3.2. ATIVIDADES DE CAMPO

As atividades de campo seguiram as orientações do Manual Técnico PGAGEM_Brasil (CPRM, 2003). Os pontos de amostragem foram localizados através das coordenadas obtidas com GPS. As amostras foram obtidas na calha dos córregos e rios, coletando-se preferencialmente os sedimentos ativos. No local, após a coleta de água e sedimento, procedeu-se o preenchimento da Ficha de Campo de Amostra Geoquímica. A Figura 3 apresenta o modelo da ficha, que é a utilizada pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM – Serviço Geológico do Brasil em seus levantamentos de campo. Esta ficha também é a adotada pelo Projeto de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – PGAGEM, de responsabilidade da CPRM. Ela contém, entre outros dados, parâmetros de localização (coordenadas geográficas), parâmetros descritivos do local de coleta (nome da drenagem, relevo, geologia, condições da água como cor, profundidade, movimentação superficial), bem como, local para registro dos resultados das análises físico-químicas.

FICHA DE CAMPO - AMOSTRA GEOQUÍMICA														1 - CENTRO DE CUSTO		2 - SUBCENTRO DE CUSTO		3 - NÚMERO DE CAMPO Coletor Nº da amostra		Nº DE LABORATÓRIO		FOLHA TOTAL							
PRATO:																						TOTAL							
4 - Base Cartográfico														5 - Escala		6 - Denominação local													
7 - Latitude														8 - Longitude		9 - Abcissa (x)		10 - Ordenada (y)		11 - UTM - Longitude		12 - UTM - Latitude		13 - Meridiano central					
14 - Classe amostra		15 - Tipo amostragem		16 - Fonte amostra		17 - Rocha regional		18 - Idade Geológica		19 - Material Coletado		20 - Pluviosidade		21 - Tipo vegetação		22 - Sit topográfica		23 - Sit amostra		24 - Altitude		25 - Profund da amostragem							
27 - Forma ígnea		28 - Situação estrutural		29 - Matriz predominante		30 - Grau de intemp/oxidação		31 - Tipo alteração		32 - Tipo mineral		34 - Caracterização depósito/ocorrência Forma Modo		35 -		36 - Largura da rio		37 - Profund da rio		38 - Velocidade corrente		39 - Nível da água		40 - Área drenagem		41 - Turb da água			
42 - Posição		43 - Cor da água		44 - Grau arredond		45 - Volume original		46 - Peso do concentrado		47 -		48 - Granulometria sedimento/solo Máxima Mínima		49 - Textura do Sedimento/solo (%) Cascalha Areia Silte Argila Mat.Org				50 - Car sed./solo		51 -		52 - Horiz do solo		53 - Tipo de solo		54 -		55 - Análise biológica	
57 - Eh Sinal		58 - pH		59 - Metal pesado a frio		60 - Outras análises		61 - Outras análises		62 - Outras análises		63 - Outras análises		64 - Codificação livre															
65 - Observações - comentários														66 - Observações - comentários															
														PERF.		Data		PERF./CONF.		Data									

Figura 3 - Ficha de Campo de Amostra Geoquímica, modelo utilizado pela Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais – CPRM, e adotado em nosso trabalho

3.2.1. Coleta de Água

Os coletadores utilizaram luvas cirúrgicas durante as coletas. A água foi coletada nas drenagens com auxílio de proveta de vidro e transferida a frascos de vidro com capacidade para 1L. Nos frascos destinados à análise dos cátions, foram adicionados 10 ml de ácido nítrico p.a. (HNO_3 , pH <2) para evitar contaminação bacteriana. Não foi colocado aditivo nos frascos destinados à análise de ânions. Os frascos foram devidamente etiquetados com os números das amostras, bem como com o tipo de análise a que se destinavam (cátions ou ânions) e acondicionados em caixas térmicas, para evitar exposição a altas temperaturas e à radiação solar. No local foram medidos os parâmetros físico-químicos (temperatura, turbidez, sólidos dissolvidos, pH, condutividade e oxigênio dissolvido). Os aparelhos foram calibrados antes de cada dosagem. As amostras foram então, encaminhadas ao Laboratório de Imunologia da Universidade Católica de Goiás - UCG, para o preparo e encaminhamento para dosagem no Laboratório Lamin da CPRM.

3.2.2. Coleta de Sedimento de Corrente

As amostras de sedimento ativo de corrente foram obtidas no canal ativo da drenagem, em trechos retilíneos abaixo do nível da água e foram acondicionadas em frascos de polietileno com capacidade para 2 kg. Após a coleta as amostras foram encaminhadas para a preparação e análise no Laboratório Espectroscopia Atômica Aplicada da UCB.

3.3. ATIVIDADES LABORATORIAIS

3.3.1. Água

No Laboratório de Imunologia da UCG as amostras de água foram filtradas em papel Micropore 0,45 μm e os filtrados foram mantidos a temperatura de 4°C ao abrigo de luz, até serem encaminhados, 36 horas após, ao Laboratório Lamin da CPRM – Serviço Geológico do Brasil onde foram realizadas as análises químicas de forma multielementar por ICP-AES para os elementos Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W e Zn; por cromatografia líquida para Br^- , Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_3^- , SO_4^- , e por espectrofotometria para determinação de Na e K.

3.3.2. Sedimento de corrente.

No Laboratório de Espectroscopia Atômica Aplicada da Universidade Católica de Brasília - UCB foi realizada a preparação e análise dos sedimentos de corrente. As amostras foram secas à temperatura ambiente, desagregadas em almofariz de porcelana e pistilo de borracha e peneiradas em malha 200 Mesh de náilon. Em todos os passos de preparação dos sedimentos foram adotados procedimentos para proteger as amostras e para eliminar possibilidades de contaminação. Após a preparação, os sedimentos foram acondicionados em sacos plásticos devidamente etiquetados com o número da amostra, e mantidos em local fresco e seco até o momento de realização da digestão para a dosagem.

3.3.2.1. Procedimento de Digestão de Sedimento de Corrente

A digestão (também chamada de ataque ou extração), visa liberar os elementos químicos da amostra permitindo sua quantificação. A seleção do ataque ou técnica de extração depende da forma de ocorrência ou especiação dos elementos químicos na amostra sob análise.

A digestão das amostras dos sedimentos foi feita por via úmida em sistema aberto. Foi utilizada a abertura por água régia.

Os procedimentos foram realizados em triplicata para cada amostra. Foi pesado 1.0 g de sedimento em tubo digestor. Os pesos exatos de cada amostra foram anotados considerando até 4 casas decimais. Adicionou-se a cada tubo, 20 ml de água régia (HCl : HNO₃, 3:1 v/v, 15 ml de HCl e 5,0 ml de HNO₃). Os tubos foram aquecidos em bloco digestor até 50°C e então a temperatura foi gradativamente aumentada 30°C a cada 10 minutos até atingir a temperatura de aproximadamente 150°C. A digestão foi mantida por duas horas. Procedeu-se a digestão até que não ocorresse mais liberação de gases escuros, e até que as amostras dos sedimentos tornaram-se claras. Após a digestão e o resfriamento, o sobrenadante foi separado por decantação e transferido a um balão volumétrico de 50 ml. O precipitado foi lavado 2 vezes com água milli-Q e o sobrenadante acrescentado ao balão volumétrico. Após este procedimento, o volume do balão foi completado para 50 ml com água milli-Q.

As amostras assim preparadas foram dosadas no Laboratório de Espectroscopia Atômica Aplicada da UCB em ICP-EAS para os seguintes elementos: Al, Ag, B, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sn, Sr, Zn. Quando a solução apresentou-se muito concentrada, utilizou-se água milli-Q para a realização das diluições necessárias.

Após as dosagens foi realizado o cálculo das concentrações de cada amostra, para a determinação dos elementos químicos na amostra original, utilizando-se a média dos pesos, média dos brancos e média das dosagens das triplicatas. A concentração foi expressa em mg/kg de sedimento, ou ppm (parte por milhão).

Para recuperação de dados, alíquotas de amostras de sedimento de corrente preparadas e não utilizadas foram armazenadas no Laboratório de Espectroscopia Atômica Aplicada da UCB.

3.4. TRATAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O tratamento estatístico e as matrizes de correlação das amostras foram realizados com o software OASIS 4.3 – módulo Chimera. A primeira determinação realizada foi a obtenção individual dos parâmetros estatísticos de cada elemento químico (média aritmética, desvio padrão e valores anômalos de 1^a, 2^a e 3^a ordens) e a construção das matrizes de correlação destes elementos. A partir destas determinações, foram definidas as associações geoquímicas (afinidades entre os elementos) que constituíram a base para a confecção dos mapas de distribuição dos elementos químicos.

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise e discussão dos resultados da presente dissertação, optou-se pela apresentação geral dos resultados obtidos na seqüência em que foram estudados, incluindo a caracterização geológica da área, os resultados físico-químicos da água, e os resultados das concentrações multielementares da água e sedimento de corrente. Em seguida, as drenagens foram analisadas em particular com apresentação dos resultados das concentrações de seus elementos químicos.

As variáveis analíticas, quando aplicável, foram caracterizadas numericamente através dos sumários estatísticos, e posteriormente os dados de cada elemento foram disponibilizados em mapas de distribuição na área estudada. A área é representada pela bacia hidrográfica do rio Meia Ponte na Região Metropolitana de Goiânia, e para a apresentação dos dados, optou-se por considerar e descrever as margens direita e esquerda do rio Meia Ponte, regiões oeste e leste da área estudada respectivamente.

Na margem direita os corpos d'água estudados escoam direta ou indiretamente para o rio Meia Ponte. É uma região bem povoada, onde a presença humana conduziu a vários sinais visíveis de impactos nas drenagens, com comprometimento da qualidade ambiental, como substituição da mata ciliar por espécies exóticas - principalmente gramíneas, presença de resíduos domésticos e industriais (GOIÂNIA, 2004a), e carcaças de animais em decomposição nas margens e na água de grande parte das drenagens. As drenagens estudadas da margem direita do rio Meia Ponte foram: ribeirão Anicuns (YMO23), córrego Cavalito Morto (YM021), córrego Taquaral (YM020), córrego Macambira (YM019), córrego Cascavel (YM017), córrego Botafogo (YM018), córrego Caveirinha (YM024), córrego Fundo (YM025), córrego São Domingos (YM037).

Na margem esquerda, a principal característica é a presença do ribeirão João Leite que fornece água para o abastecimento de Goiânia. A região é menos habitada que a margem direita e a maioria dos pontos de amostragem localizavam-se em chácaras e bairros menos povoados, com exceção das amostras do córrego Pedreira (YMA027) que é tributário do ribeirão João Leite, e do córrego Ladeira (YMA029), situado em loteamento residencial. As demais drenagens amostradas foram: rio Capivara (YM039), córrego Bálsamo (YM028), córrego Perdido (YM015),

córrego Lajeado Capoeirão – cabeceira (YM016), córrego Lajeado Capoeirão (YM014), na zona urbana de Goiânia, e uma amostra solicitada (ES001) em drenagem que desemboca do córrego Lajeado Capoeirão. Além das coletas nas drenagens nas margens esquerda e direita, também foi obtida uma amostra no próprio rio Meia Ponte (YM038), no limite norte do município de Goiânia.

4.1 ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

4.1.1 Resultados das análises físico-químicas da água

Os parâmetros físico-químicos da água foram medidos em campo, no momento da coleta que foi realizada em agosto de 2003. Os equipamentos foram calibrados antes das medidas, e os resultados foram anotados na Ficha de Campo de Amostra Geoquímica. Foram medidos temperatura, pH, condutividade, turbidez, sólidos dissolvidos, e oxigênio dissolvido. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (COLETA NO PERÍODO DE SECA, AGOSTO 2003)

Amostra	Drenagem	Temp.	O₂ Dissolvido	Turbidez
YMA014	Córrego Lajeado Capoeirão	25,30	6,30	11,50
YMA015	Córrego Perdido	21,80	4,30	11,40
YMA016	Córrego Lajeado Capoeirão	23,70	5,68	39,70
YMA017	Córrego Cascavel	27,30	nt	147,00
YMA018	Córrego Botafogo	22,20	nt	3,97
YMA019	Córrego Macambira	26,40	7,40	4,85
YMA020	Córrego Taquaral	22,40	7,40	8,72
YMA021	Córrego Cavalo Morto	22,40	5,20	16,10
YMA023	Ribeirão Anicuns	20,80	5,20	11,90
YMA024	Córrego Caveirinha	24,30	1,20	17,50
YMA025	Córrego Fundo	25,90	5,30	8,19
YMA027	Córrego Pedreira	24,40	5,80	12,70
YMA028	Córrego Bálamo	23,50	4,98	27,40
YMA029	Córrego Ladeira	22,90	5,30	12,20
YMA037	Córrego São Domingos	21,00	2,40	27,60
YMA038	Rio Meia Ponte	21,70	6,40	14,90
YMA039	Rio Capivara	22,10	6,50	12,80
ES001	Amostra solicitada	24,90	6,00	19,30

(continua)

(continuação)

Amostra	Drenagem	pH	Condutividade Mmhos/cm	Sólidos Dis. mg/L
YMA014	Córrego Lajeado Capoeirão	7,60	139,70	69,20
YMA015	Córrego Perdido	7,61	202,00	101,10
YMA016	Córrego Lajeado Capoeirão	7,90	93,20	46,30
YMA017	Córrego Cascavel	7,69	484,00	242,00
YMA018	Córrego Botafogo	7,09	237,00	118,60
YMA019	Córrego Macambira	7,50	126,40	63,20
YMA020	Córrego Taquaral	7,86	45,00	22,50
YMA021	Córrego Cavalo Morto	7,58	63,10	31,50
YMA023	Ribeirão Anicuns	7,40	62,60	31,30
YMA024	Córrego Caveirinha	7,32	635,00	318,00
YMA025	Córrego Fundo	7,40	52,60	26,30
YMA027	Córrego Pedreira	7,52	171,50	85,60
YMA028	Córrego Bálsamo	7,50	214,00	108,10
YMA029	Córrego Ladeira	7,25	231,00	115,40
YMA037	Córrego São Domingos	7,61	77,90	38,90
YMA038	Rio Meia Ponte	8,23	116,10	58,10
YMA039	Rio Capivara	8,17	115,50	58,30
ES001	Amostra solicitada	8,23	52,00	26,10

UNT: Unidade nefelométrica de turbidez; nt:não testado.

Para a medida dos parâmetros físico-químicos foram utilizados os aparelhos: pHâmetro Hach para pH e temperatura, Condutímetro Hach para condutividade e sólidos dissolvidos, Turbidímetro Hach para turbidez e Oxímetro Hach para medida de oxigênio dissolvido.

O comportamento do pH foi semelhante na maioria das amostras, com valores entre 7,09 e 7,86 o que caracteriza drenagens levemente alcalinas, com exceção das amostras do rio Meia Ponte (YM038), rio Capivara (YM039) e amostra solicitada (ES001) que apresentaram valores de pH um pouco mais alcalinos, acima de 8,0.

O pH é importante para monitoramento do poder de corrosão da água, para conhecimento da quantidade de reagentes necessários para a coagulação, para o crescimento de microrganismos e para a classificação da água na legislação pertinente (MACEDO, 2003). O pH está intimamente ligado à mobilidade dos elementos químicos em solução. Mudanças nos parâmetros geoquímicos (ex: pH) são causas de mobilização de poluentes dos sedimentos para as águas. (ZOUMIS, 2001). Korfali e Davies (2003) comentam que drenagens cujas bacias repousam sobre rochas carbonatadas exibem alto pH, baixa adsorção de metais e possuem alta capacidade de tamponamento contra descargas ácidas nos rios. Muitos elementos metálicos são solúveis apenas sob condições ácidas, e com o aumento do pH, tendem a precipitar como hidróxidos ou sais básicos. Na região estudada o

pH apresentou-se alcalino, provavelmente em função da presença de rochas carbonatadas pertencentes ao Grupo Araxá Sul.

O pH é um dos fatores mais importantes na mobilidade e na mobilização dos elementos em solução. Explica dentre outras coisas, porque alguns elementos são menos móveis em ambientes alcalinos, quando comparados a ambientes ácidos. Também explica um dos mecanismos de acumulação de elementos-traço em sedimentos de drenagem. O pH pode ser modificado quando duas fontes de água se misturam ou mesmo quando fontes de água percorrem rochas com diferentes litologias. O valor específico de pH que produz a precipitação de um elemento sob forma de hidróxidos ou sais é denominado pH de hidrólise. Elementos como Cu, Pb, e Zn são móveis apenas em condições ácidas, já que seus pH de hidrólise são 5,3, 6,0 e 7,0, respectivamente (LICHT, 1998).

Levando-se em consideração somente os valores de pH apresentados pelas amostras deste estudo, nota-se que elas não apresentam condição favorável para a mobilização de elementos químicos. No entanto, a mobilidade também sofre interferência de outros fatores não estudados, tais como a difusão dos poluentes no corpo d'água e os processos de degradação por microorganismos (ZOUMIS, 2001). Pode-se afirmar apenas que um dos principais fatores que contribui para a mobilização de metais é desfavorável a ela em todas as amostras analisadas. Na análise de mobilização de elementos químicos em ambientes aquáticos também devem ser consideradas suas formas física e química que variam constantemente no tempo e espaço (RAVERA, 2004), principalmente em ambientes que sofrem ação antrópica.

Em relação à condutividade, pudemos notar uma grande variação nos resultados interamostra. Os córregos Caveirinha (YM024) e Cascavel (YM017) apresentaram os maiores valores, 635 Mmhos/cm e 484 Mmhos/cm respectivamente. Os valores mais baixos, de 45 Mmhos/cm e 52 Mmhos/cm foram encontrados no córrego Taquaral (YM020) e amostra solicitada (ES001) respectivamente. Estas medidas estão de acordo com o relatado por Macedo (2002), que diz que a condutividade das águas superficiais e subterrâneas varia bastante, podendo ser baixa com valores de 50 Mmhos/cm indo até 50.000 Mmhos/cm, que é a condutividade da água do mar. A condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions.

A temperatura também variou bastante entre as amostras, com o córrego São Domingos (YM037) apresentando a temperatura mais baixa (21° C), e o córrego Cascavel (YMA017) apresentando temperatura mais elevada (27,3° C). Esta drenagem é canalizada e apresenta nítidos sinais visuais de contaminação, com presença de dejetos, lixo e forte odor de matéria orgânica em decomposição.

A temperatura influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água. A maior parte dos organismos possui faixas de temperatura ótimas para sua reprodução. Ela também influencia outros processos como a solubilidade de solutos. Com o aumento da temperatura da água a solubilidade dos gases dissolvidos decresce e a solubilidade dos minerais cresce (MACEDO, 2002).

O oxigênio dissolvido é um parâmetro utilizado para verificar a qualidade de águas superficiais e é o critério mais importante na determinação de suas condições sanitárias. Avalia o efeito de despejos oxidáveis (de origem orgânica) no recurso hídrico, serve para indicar as condições de vida na água e para avaliar o processo de auto purificação. Revela a possibilidade de manutenção da vida dos organismos aeróbios. A escassez de oxigênio dissolvido pode levar ao desaparecimento dos peixes de um determinado corpo d'água, e permitir a vida de microorganismos anaeróbios que se caracterizam por não possuírem a enzima superóxido dismutase que degrada os radicais tóxicos (MACEDO, 2003).

Os resultados de duas amostras, Córrego Cascavel (YM017) e córrego Botafogo (YM019) não puderam ser medidos devido a problemas técnicos no local. Os valores mais baixos foram encontrados no córrego Caveirinha (YM024) e córrego São Domingos (YM037), e foram 1,2 mg/L e 2,4 mg/L respectivamente. O córrego Caveirinha é uma drenagem que recebe despejos oxidáveis, mas o São Domingos localizado em região pouco habitada, fora do perímetro urbano de Goiânia, com água corrente, limpa e sem represamento não apresentou sinais de contaminação no momento da coleta.

A turbidez foi um parâmetro que também apresentou grande variação, com os maiores valores encontrados no córrego Lajeado Capoeirão (YM016) e córrego São Domingos (YM037). As partículas que alteram a penetração da luz e provocam sua difusão e absorção são constituídas por plâncton, bactérias, argila, silte em suspensão, materiais finos provenientes de fontes de poluição dentre outros (MACEDO, 2002). Os materiais em suspensão reduzem a ação do cloro.

Os sólidos dissolvidos são constituídos por todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos. Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas (MACEDO, 2002). O valor mais baixo foi encontrado no córrego Taquaral (YM020), cujo local de coleta não apresentava anomalias, e o mais elevado no córrego Botafogo (YM018), cujo local de coleta era habitado, com presença de bancos de areia e despejo de esgoto doméstico e lixo em suas margens.

4.1.2 Dosagem Química Multielementar da Água

As amostras de água foram analisadas de forma multielementar para cátions e ânions pelas metodologias relacionadas na Tabela 3. Após a coleta, as amostras foram filtradas, refrigeradas a 4° C em frascos âmbar, e encaminhadas para dosagem no laboratório Lamin da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Serviço Geológico do Brasil.

Tabela 3 - ELEMENTOS QUÍMICOS E COMPOSTOS DOSADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA E SUAS RESPECTIVAS METODOLOGIAS

Metodologia	Elementos e compostos químicos
ICP-AES	Al, As, B, Ba, Be, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sc, Se, Sn, Ti, V, W, Zn
Cromatografia Líquida	F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , SO ₄ ⁻
Espectrofotometria de absorção	Na, K

Os resultados das concentrações analisadas através de ICP-AES são apresentados na Tabela 4, com exceção dos resultados das concentrações dos elementos Be, Br, Cd, Mo, Ni, Sc, Se, Sn, Ti, V, W que apresentaram valores abaixo da detecção do método e não foram considerados. As concentrações das análises destes elementos são apresentadas no Anexo A. As concentrações determinadas através de cromatografia líquida e espectrofotometria de absorção são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4 - CONCENTRAÇÕES (MG/L) DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO 2003), DOSADAS POR ICP- AES

Amostra	Elemento Químico							
	Al	As	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu
YMA014	0,1	0,01	0,002	0,034	13,41	0,002	0,02	0,01
YMA015	0,1	0,01	0,002	0,057	20,42	0,002	0,02	0,01
YMA016	0,1	0,01	0,002	0,041	7,90	0,002	0,02	0,01
YMA017	0,3	0,01	0,013	0,051	17,26	0,002	0,02	0,02
YMA018	0,1	0,01	0,002	0,055	17,01	0,002	0,02	0,01
YMA019	0,1	0,01	0,002	0,033	13,48	0,002	0,02	0,01
YMA020	0,1	0,01	0,002	0,025	3,97	0,002	0,02	0,01
YMA021	0,1	0,01	0,002	0,018	4,48	0,002	0,02	0,01
YMA023	0,1	0,01	0,002	0,023	4,96	0,002	0,02	0,01
YMA024	0,2	0,01	0,002	0,035	11,47	0,002	0,02	0,01
YMA025	0,1	0,01	0,020	0,026	4,55	0,002	0,02	0,02
YMA027	0,1	0,01	0,002	0,041	15,89	0,002	0,02	0,01
YMA028	0,1	0,01	0,002	0,064	21,46	0,002	0,02	0,01
YMA029	0,1	0,01	0,002	0,041	22,20	0,002	0,02	0,01
YMA037	0,1	0,01	0,002	0,012	2,52	0,002	0,02	0,01
YMA038	0,1	0,01	0,002	0,035	10,07	0,002	0,02	0,01
YMA039	0,1	0,01	0,002	0,036	10,77	0,002	0,02	0,01
ES001	0,1	0,01	0,002	0,027	3,89	0,002	0,02	0,01

(continua)

(continuação)

Amostra	Elemento Químico						
	Li	Mg	Mn	Pb	Si	Sr	Zn
YMA014	0,001	5,99	0,110	0,005	9,82	0,066	0,040
YMA015	0,001	8,08	0,423	0,005	9,81	0,091	0,011
YMA016	0,001	3,91	0,263	0,005	8,22	0,041	0,020
YMA017	0,002	3,93	0,055	0,007	6,54	0,104	0,134
YMA018	0,002	3,28	0,073	0,005	5,30	0,100	0,041
YMA019	0,001	1,23	0,024	0,005	3,78	0,081	0,010
YMA020	0,001	1,09	0,075	0,013	3,48	0,031	0,035
YMA021	0,001	1,30	0,081	0,005	3,66	0,039	0,012
YMA023	0,001	1,54	0,098	0,011	4,57	0,031	0,019
YMA024	0,001	2,84	0,160	0,005	7,04	0,073	0,043
YMA025	0,001	0,70	0,140	0,005	3,00	0,031	0,028
YMA027	0,001	6,73	0,141	0,005	8,11	0,086	0,026
YMA028	0,001	8,88	1,076	0,005	10,58	0,100	0,026
YMA029	0,001	9,98	0,149	0,005	8,86	0,118	0,023
YMA037	0,001	1,07	0,053	0,005	3,26	0,023	0,018
YMA038	0,001	4,82	0,033	0,005	9,63	0,072	0,016
YMA039	0,001	4,90	0,037	0,005	9,66	0,073	0,037
ES001	0,001	1,91	0,263	0,005	4,62	0,027	0,015

Análises realizadas no Laboratório Lamin da CPRM

Tabela 5 - CONCENTRAÇÕES (MG/L) DOS COMPOSTOS E ELEMENTOS QUÍMICOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA, COLETADAS EM AGOSTO DE 2003 E DOSADAS POR CROMATOGRAFIA E ESPECTROFOTOMETRIA (K E NA)

Amostra	Ânions						Cátions	
	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	K	Na
YMA014	0,10	1,42	0,1	0,9	0,1	3,6	1,5	6,2
YMA015	0,14	1,06	0,1	0,2	0,1	3,5	1,4	8,1
YMA016	0,09	2,45	0,1	0,5	0,1	7,2	2,6	8,6
YMA017	0,52	31,20	0,1	0,1	4,9	21,1	8,5	44,4
YMA018	0,26	14,4	0,5	5,4	0,3	5,9	3,6	20,0
YMA019	0,34	4,62	0,2	9,4	0,1	3,0	2,0	9,9
YMA020	0,03	3,06	0,1	1,8	0,1	1,1	1,0	3,7
YMA021	0,03	4,65	0,1	1,3	0,1	1,5	1,5	5,1
YMA023	0,07	6,28	0,1	0,4	0,1	4,3	2,2	10,6
YMA024	0,14	192,40	0,1	1,3	10,1	6,6	11,8	153,5
YMA025	0,03	2,56	0,1	2,3	0,1	1,2	0,8	3,9
YMA027	0,17	3,64	0,1	2,5	0,1	8,1	2,4	11,1
YMA028	0,14	1,92	0,1	0,6	0,1	6,7	1,6	9,3
YMA029	0,15	1,55	0,1	0,4	0,1	8,2	2,8	8,9
YMA037	0,02	8,93	0,2	4,5	1,3	1,1	2,6	10,3
YMA038	0,07	2,22	0,1	0,8	0,1	1,2	1,7	4,9
YMA039	0,05	1,71	0,1	0,1	0,1	4,3	0,7	2,9
ES001	0,06	0,95	0,1	0,7	0,1	0,7	1,3	2,4

Análises realizadas no Laboratório Lamin da CPRM

Após obtenção das concentrações dos elementos químicos na água, os dados foram submetidos ao tratamento estatístico utilizando-se o programa OASIS Montaj v. 5.1.8, com o módulo Chimera. Foram relatados para cada elemento químico estudado, os valores mínimo e máximo das concentrações, e foram calculados, amplitude, média aritmética (X), desvio padrão aritmético (S), média geométrica e desvio padrão geométrico. Estes valores estão relacionados na Tabela 6.

Tabela 6 - VALORES MÍNIMO E MÁXIMO E SUMÁRIO ESTATÍSTICO* DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E COMPOSTOS DE 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA COLETADAS EM AGOSTO DE 2003

Elemento	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média Aritmética	Desvio Padrão	Média Geométrica	Desvio Geométrico
Al	0,051	0,283	0,232	0,108	0,058	0,098	0,058
As	0,005	0,010	0,005	0,008	0,001	0,008	0,001
B	0,002	0,015	0,010	0,003	0,002	0,002	0,002
Ba	0,012	0,064	0,052	0,036	0,014	0,003	0,014
Ca	2,520	22,200	19,680	18,428	6,574	9,381	6,574
Cl	0,950	192,400	191,450	15,820	44,656	4,116	44,65
Co	0,002	0,002	0,0001	0,002	0,00002	0,002	0,00002
Cr	0,017	0,020	0,004	0,020	0,001	0,020	0,001
Cu	0,005	0,022	0,017	0,009	0,005	0,008	0,005
F	0,020	0,520	0,500	0,134	0,128	0,092	0,128
K	0,700	11,800	11,100	2,777	2,841	2,061	2,841
Li	0,0005	0,002	0,002	0,001	0,0004	0,001	0,0004
Mg	0,702	9,982	9,279	4,009	2,914	2,994	2,914
Mn	0,023	1,076	1,052	0,181	0,245	0,110	0,245
Na	2,400	153,500	151,100	17,988	35,134	8,988	35,134
NO ₂	0,100	0,500	0,400	0,135	0,099	0,119	0,099
NO ₃	0,100	9,400	9,300	1,844	2,396	0,913	2,396
Pb	0,005	0,0128	0,0078	0,006	0,002	0,006	0,002
PO ₄	0,100	10,100	10,000	1,000	2,543	0,196	2,543
Si	3,004	10,580	7,570	6,662	2,714	6,097	2,714
SO ₄	0,700	21,100	20,400	4,961	4,785	3,383	4,785
Sr	0,022	0,117	0,095	0,066	0,031	0,058	0,031
Zn	0,011	0,134	0,123	0,031	0,028	0,025	0,028

* OASIS Montaj v. 5.1.8, com o módulo Chimera.

A partir destes dados estatísticos foram calculados os limites de primeira, segunda e terceira ordens. Valores de 3^a ordem correspondem àqueles situados entre o valor médio mais um desvio padrão e o valor médio mais dois desvios padrão. Valores de 2^a ordem estão entre os valores maiores que o valor médio mais dois desvios padrão e o valor médio mais três desvios padrão. Valores de 1^a ordem correspondem a valores maiores que o valor médio mais três desvios padrão. Então, valores de 1^a ordem correspondem às maiores concentrações encontradas. Estes valores para cada elemento químico estão relacionados na Tabela 7.

Tabela 7 - VALORES DE 1ª, 2ª e 3ª ORDENS DE CADA ELEMENTO QUÍMICO DOSADO EM 18 AMOSTRAS DE ÁGUA DE DRENAGENS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (AGOSTO 2003) E VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS (MG/L) CONSTANTES NAS PORTARIAS 1469 DE 29 DE DEZEMBRO DE 2000 E 518 DE 25 DE MARÇO DE 2004 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE

Elemento	1ª Ordem > X + 3S	2ª Ordem X + 2S - X + 3S	3ª Ordem X + S - X + 2S	VMP ¹ Port. 1469 M. S.	Port. 518 M. S. VMP ¹
Al	> 0,282	> 0,224 – 0,282	0,166 – 0,224	0,2	0,2
As	> 0,011	> 0,010 – 0,011	0,009 – 0,010	0,01	0,01
B	> 0,009	> 0,007 – 0,009	0,005 – 0,007	-	-
Ba	> 0,078	> 0,064 – 0,078	0,050 – 0,064	0,7	0,7
Ca	> 38,150	> 31,576 – 38,150	25,002 – 31,576	-	-
Cl	> 149,788	> 105,132 – 149,788	60,476 – 105,132	250	250
Co	> 0,00206	> 0,00204 – 0,00206	0,00202 – 0,00204	-	-
Cr	> 0,203	> 0,202 – 0,203	0,201- 0,202	0,05	0,05
Cu	> 0,024	> 0,019 – 0,024	0,014 – 0,019	2,0	2,0
F	> 0,518	> 0,390 – 0,518	0,262 – 0,390	1,5	1,5
K	> 11,300	> 8,459 – 11,300	5,648 – 8,459	-	-
Li	> 0,002	> 0,018 – 0,0022	0,0014 – 0,0018	-	-
Mg	> 12,751	> 9,837 – 12,751	6,923 – 9,837	-	-
Mn	> 0,916	> 0,671 – 0,916	0,426 – 0,671	0,1	0,1
Na	> 123,390	> 88,256 – 123,390	53,162 – 88,256	200	200
NO ₂	> 0,432	> 0,333 – 0,432	0,234 – 0,333	1,0	1,0
NO ₃	> 9,032	> 6,636 – 9,032	4,240 – 6,636	10	10
Pb	> 0,012	> 0,01 – 0,012	0,008 – 0,01	0,01	0,01
PO ₄	> 8,659	> 6,086 – 8,629	3,543 – 6,056	-	-
Si	> 14,804	> 12,090 – 14,804	9,376 – 12,090	-	-
SO ₄	> 19,316	> 14,531 – 19,316	9,746 – 14,531	250	250
Sr	> 0,159	> 0,128 – 0,159	0,097 – 0,128	-	-
Zn	> 0,115	> 0,087 – 0,115	0,059 – 0,087	5,0	5,0

¹ VMP = Valor Máximo Permitido. X – Média Aritmética, S – Desvio Aritmético

Concentrações nestes limites apresentam valores estatisticamente significativos, que não estão relacionados à qualidade da amostra em questão. Uma amostra pode apresentar um valor de 1ª ordem em relação às demais amostras, e este valor estar abaixo dos valores considerados prejudiciais à qualidade dos corpos d'água. Para comparação da magnitude destes dados em aplicações práticas e para auxílio na interpretação dos resultados obtidos, também foram relacionados na Tabela 6 os Valores Máximo Permitidos – VMP para água para consumo humano, definidos pelas portarias 1469 do Ministério da Saúde de 29 de dezembro de 2000 (BRASIL, 2000), reeditados pela portaria 518 do Ministério da Saúde de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004a) que revogou a Portaria 1469.

Após a obtenção dos limites de 1ª, 2ª e 3ª ordens, as concentrações dos elementos químicos foram comparadas com eles, e as que se enquadraram em seus