



**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“ CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS DRENAGENS AFETADAS PELO  
BENEFICIAMENTO DE OURO NO DISTRITO AURÍFERO DE GINEBRA,  
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA, COLÔMBIA”.**

TESE APRESENTADA POR

**JADER MUÑOZ RAMOS**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA**

Data de Aprovação 30/ 10 /95

**Comitê de Tese:**

*Jose F Ramos*  
.....  
JOSE FRANCISCO DA F. RAMOS ( Orientador )

*Olaf Malm*  
.....  
OLAF MALM

*Norbert Fenzl*  
.....  
NORBERT FENZL

BELÉM

Quiero dedicar, especialmente,  
este trabajo a mis padres Hilda y  
Humberto y a mis hermanos Maritza y  
Wilson, quienes fueron un estímulo  
constante para mi sed de  
conocimientos.

A mis dos sobrinos Christian y  
Edwin.

## AGRADECIMENTOS

É uma verdadeira satisfação agradecer às pessoas e entidades que colaboraram para o bom desenvolvimento deste trabalho:

ao meu orientador nesta tese, Prof. Dr. **José Francisco da Fonseca Ramos**, pela sua orientação acertada e estímulos oferecidos durante o curso;

ao Geólogo **Joaquín A. Buenaventura A.**, co-orientador da tese, Geólogo da INGEOMINAS (Colômbia), quem acompanhou passo a passo a fase do estudo desenvolvida na Colômbia e deu sugestões importantes para o bom desenvolvimento deste estudo;

aos Drs. **Norbert Fenzl** e **Olaf Malm**, membros da Banca Examinadora, pelas suas correções, críticas e sugestões na avaliação desta tese;

ao DAAD (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico), pela concessão da bolsa de mestrado, e a seus integrantes Dr. **Volker Geller**, Dr. **Friedhelm Schwamborn** e Sra. **Marilia de la Cal**, pela atenção e boa vontade com que sempre atenderam e estimularam os bolsistas;

a **Manoel Dias** e **Lia Marques Bellesi**, membros da UNAMAZ (Associação de Universidades Amazônicas), quem estiveram sempre disponíveis para oferecer ajuda logística em Belém;

ao convênio UNAMAZ-DAAD-UFPA, quem promove e difunde conhecimentos nas áreas de Geoquímica e Geofísica para os países da região amazônica;

à Subdireção da Área de Mineração da INGEOMINAS, na pessoa do Eng. de Minas **Antonio Romero**, pelo fornecimento do apoio logístico para a execução da fase de campo na Colômbia;

ao Químico **Carlos Júlio Cedeño**, Chefe do Laboratório de Geoquímica da INGEOMINAS, e a sua equipe técnica de colaboradores no Laboratório de Absorção Atômica, senhores **Luis Avellaneda** e **Luis Carrión**, pela sua ajuda na viabilização e execução das análises químicas feitas na Colômbia;

aos professores do CPGG-UFPA **Antonio Vaquera**, **Maâmar El Robrini**, **Thomas Scheller** e **Waterloo Napoleão de Lima**, quem compartilharam parte dos seus conhecimentos comigo;

ao meu grande amigo **Alberto Fajardo Oliveros**, companheiro de andanças e braço forte nas fraquezas, e

finalmente, aos colegas do CPGG-UFPA **Alayde**, **Cintia**, **Edielma**, **Fernanda**, **Lúcia**, **Maria do Socorro**, **Silvia**, **Afonso**, **Alex**, **Marcos** e **Renato Jr.**, pela sua amizade oferecida durante minha estada no Brasil.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>RESUMO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	5
1.1 LOCALIZAÇÃO, FISIOGRAFIA E CLIMA .....	6
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO .....	9
1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO .....	10
<b>2. AMBIENTE GEOLÓGICO</b> .....	12
2.1 MARCO GEOTECTÔNICO .....	12
2.2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO .....	16
2.2.1 Formação Amaime (JKa) .....	16
2.2.2 Maciço Ofiolítico de Ginebra .....	18
2.2.3 Batólito de Buga (Kcd-t) .....	19
2.2.4 Formação La Paila (Ts) .....	20
2.2.5 Depósitos Quaternários (Q) .....	20
2.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL .....	21
2.4 OCORRÊNCIAS MINERAIS .....	22
<b>3. AMOSTRAGEM</b> .....	26
<b>4. MÉTODOS GEOQUÍMICOS</b> .....	30
4.1 PRECISÃO .....	31
4.2 EXATIDÃO .....	32
<b>5. TRATAMENTO DE DADOS</b> .....	34
5.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	34
5.2 RESULTADOS NAS ÁGUAS .....	36
5.2.1 Cobre (Cu) .....	36
5.2.2 Chumbo (Pb) .....	39
5.2.3 Níquel (Ni) .....	39
5.2.4 Cobalto (Co) .....	40

<b>5.2.5 Manganês (Mn)</b> .....	41
<b>5.2.6 Cromo (Cr)</b> .....	41
<b>5.2.7 Arsênio (As)</b> .....	42
<b>5.2.8 Ferro (Fe)</b> .....	42
<b>5.2.9 Ouro (Au)</b> .....	43
<b>5.3 RESULTADOS NOS SEDIMENTOS</b> .....	43
<b>5.3.1 Cobre (Cu)</b> .....	46
<b>5.3.2 Chumbo (Pb)</b> .....	46
<b>5.3.3 Zinco (Zn)</b> .....	47
<b>5.3.4 Níquel (Ni)</b> .....	47
<b>5.3.5 Cobalto (Co)</b> .....	47
<b>5.3.6 Manganês (Mn)</b> .....	48
<b>5.3.7 Ferro (Fe)</b> .....	48
<b>5.3.8 Ouro (Au)</b> .....	49
<b>5.3.9 Mercúrio (Hg)</b> .....	49
<b>5.3.10 Arsênio (As)</b> .....	49
<b>5.3.11 Cromo (Cr)</b> .....	50
<b>5.3.12 Cadmio (Cd)</b> .....	50
<b>5.4 DISCUSSÃO</b> .....	51
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	67
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	70
<b>ANEXOS</b> .....	78
<b>ANEXO A: MÉTODOS GEOQUÍMICOS USADOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ANALISADOS NESTE ESTUDO</b> .....	78
<b>ANEXO B: RESULTADOS ANALÍTICOS PARA METAIS PESADOS NAS AMOSTRAS COLETADAS NO DISTRITO AURÍFERO DE GINEBRA</b> .....	83

## RESUMO

O Distrito Aurífero de Ginebra apresenta, regionalmente, três unidades geológicas bem definidas: a formação Amaime (*pillow*-lavas tectonizadas), em contato falhado com o maciço ofiolítico de Ginebra (sequência de peridotitos, gabros, metabasaltos, plagiogranitos e micro-brechas), e o batólito de Buga (quartzo-diorito com variações a tonalito). O batólito de Buga intruiu o maciço ofiolítico de Ginebra produzindo uma ampla zona de alteração hidrotermal e uma mineralização rica em sulfetos e ouro, na área de contato, gerando um depósito aurífero tipo *stockwork* e uma série de filões com ouro nas vizinhanças.

Os garimpeiros do setor vêm explorando e explotando o distrito há quase um século, utilizando técnicas rudimentares, desperdiçando o minério e jogando os rejeitos nos riachos que vertem seus efluentes no rio de onde é captada a água para os aquedutos dos municípios de Ginebra e Guacará. Daí a importância desse estudo.

Para caracterizar e avaliar geoquimicamente os níveis de metais pesados nas drenagens do setor, foram analisadas 27 amostras de água, para As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Pb, e 28 amostras de sedimento (das quais 1 de sedimento em suspensão), para Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn, coletadas no Distrito. Os resultados de tais análises foram submetidos a tratamento estatístico, obtendo-se valores anômalos locais associados às descargas mineiras.

Observaram-se anomalias para As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Pb nas águas, próxima aos locais de descarga dos rejeitos mineiros. O pH de *background*, que varia de levemente básico a básico, funciona como barreira geoquímica e faz baixar as concentrações anômalas dos metais em águas, aumentando suas concentrações nos sedimentos, que podem apresentar anomalias para As, Au, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn.

O mercúrio encontrado na área tem fonte antropogênica e é usado para amalgamar o ouro. As perdas na recuperação do amálgama e na queima do mesmo, para obter o ouro, aumentam a concentração desse metal nos sedimentos de corrente e no ar. O transporte aéreo do Hg foi deduzido através dos resultados das concentrações de Hg obtidos em perfis verticais em solos.

A possibilidade de mudanças maiores no pH e Eh das águas da área, produto da atividade antropogênica em geral, a remobilização mecânica dos sedimentos com concentrações altas de metais pesados (sejam sedimentos de corrente ou em suspensão) e o transporte aéreo do Hg, justificam um monitoramento contínuo das águas para consumo doméstico dos municípios de Ginebra e Guacari e dos sedimentos em suspensão contidos nelas, assim como o acompanhamento técnico do uso do mercúrio e melhoramento do beneficiamento do ouro, de modo a ser diminuída a agressão ao meio ambiente.

## ABSTRACT

The gold-bearing district of Ginebra shows regionally three well defined geological units: the Amaime formation (tectonized pillow-laves), the ophiolitic massif of Ginebra (sequency of peridotites, gabros, metabasalts, plagio-granites and micro-breccias) and the Buga's batolith (quartz diorite varying to tonalite).

The Buga's batolith intrusion in the ofiolitic massif of Ginebra produced a hydrothermal alteration and a gold bearing sulfide mineralization in the contact zone, resulting a stockwork-like gold-bearing deposit surrounded by gold-bearing veins.

The local miners have explored and exploted the district for almost a century, using rudimentar tecniques. A part of the ore and the tails are dispersed by gorges flowing into the Guabas river, from where the water for the municipal aqueducts of Ginebra e Guacarí is taken. This is the importance of this study.

To obtain the geochemical evaluation of the heavy metal levels in the drainages of the zone, 27 water samples were collected in the district and analysed for As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Pb. Additionally, 28 sediment samples (27 of stream sediments and 1 of suspension sediment) from the same zone were analysed for Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn. The statistical treatment applied to the results showed local anomalies related to the dispersion of mining tails.

Anomalous concentrations for As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Pb, as metals in solution in the waters, were detected near to the input of the effluents of mine to the gorges, due to a decay of the pH by oxidation of the sulfides within it. The pH background, varying from slightly basic to basic, is a geochemical barrier that decreases the anomalous concentrations of metals to normal levels in the waters, increasing their concentrations in the sediments. The stream sediments showed local anomalies for As, Au, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn.

The mercury detected in the district has an antropogenic source. This metal is used for gold amalgamation. Dangerous emissions of mercury to the stream sediments and the air are released by losses of amalgama's recovering and amalgama's burning (to recover the gold). The airborne transport of mercury was deduced by the observation of a vertical variation of the Hg concentrations in the soils.

The possibility of higher antropogenic changes on the pH and Eh conditions in the waters of the district gorges, the mechanical remobilization of the sediments with high heavy metal concentrations and the airborne transport of mercury justify a continuous monitoring of the concentrations of heavy metals in solution in the waters for domestic use at the municipalities of Ginebra and Guacarí and the suspension sediments within it. These analysis must be accompanied by technical directions for the use of mercury and recovering of gold, for the miners of the district, minimizing the environmental agressions.

## 1. INTRODUÇÃO

Na Colômbia o ouro é extraído desde os tempos pré-colombianos, apesar disso o país não alcançou um nível satisfatório de desenvolvimento da sua indústria extrativa, que elimine ao máximo as perdas e tenha em conta a conservação dos recursos naturais que usa para o seu funcionamento.

O Distrito Aurífero de Ginebra, como a maioria dos distritos mineiros colombianos, é explotado de forma artesanal e com baixa tecnologia. Os trabalhos de prospecção e exploração são efetuados por garimpeiros (*guaqueros* ou *baharequeros*) que com picareta, pá e bateia percorrem todo o distrito, lavando material de filão, solos e sedimentos e ficam trabalhando quando encontram pintas de ouro (*chispas* ou *peluzas*) no concentrado de bateia.

No caso da exploração de solos e filões, quer sejam por galerias ou a céu aberto, o material é extraído e acumulado, para depois passar por moinhos californianos e barris com esferas metálicas, onde o mercúrio é colocado para extrair o ouro por amalgamação.

O ouro de depósitos de filão encontra-se associado com As, Cu, Pb, Zn, entre outros metais pesados, que são liberados durante o beneficiamento rudimentar e alcançam o meio ambiente, causando prejuízos à saúde vegetal, animal e humana. O mercúrio apresenta a característica da bioacumulação, que faz dele um metal bastante perigoso ao entrar na cadeia alimentar.

No âmbito do projeto interdisciplinar chamado “Movilización del Oro en Ambientes Tropicales”, do Instituto de Pesquisa em Geociências, Mineração e Química (INGEOMINAS, Colômbia)<sup>1</sup>, começado em 1992, e através do convênio de colaboração científica INGEOMINAS-UFPA (Universidade Federal do Pará, Brasil), foi realizado este estudo no Distrito Aurífero de Ginebra, para se fazer a caracterização geoquímica das drenagens afetadas pela mineração, já que elas deságuam no Rio Guabas, de onde é captada a água para os aquedutos dos municípios de Ginebra e Guacará.

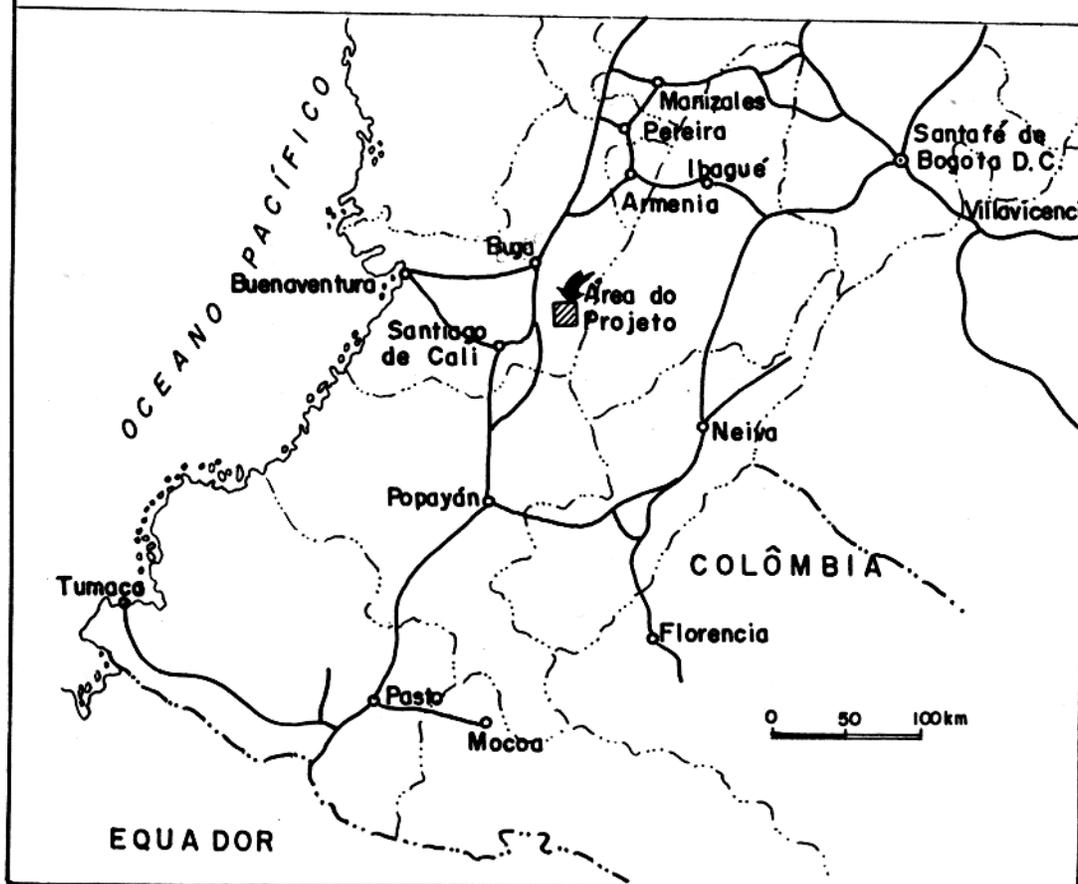
## 1.1 LOCALIZAÇÃO, FISIOGRAFIA E CLIMA

O Distrito Aurífero de Ginebra está localizado no flanco O da Cordilheira Central, ao NE dos municípios de Ginebra e Guacará, no departamento do Valle del Cauca, ao SO da Colômbia (Figura 1).

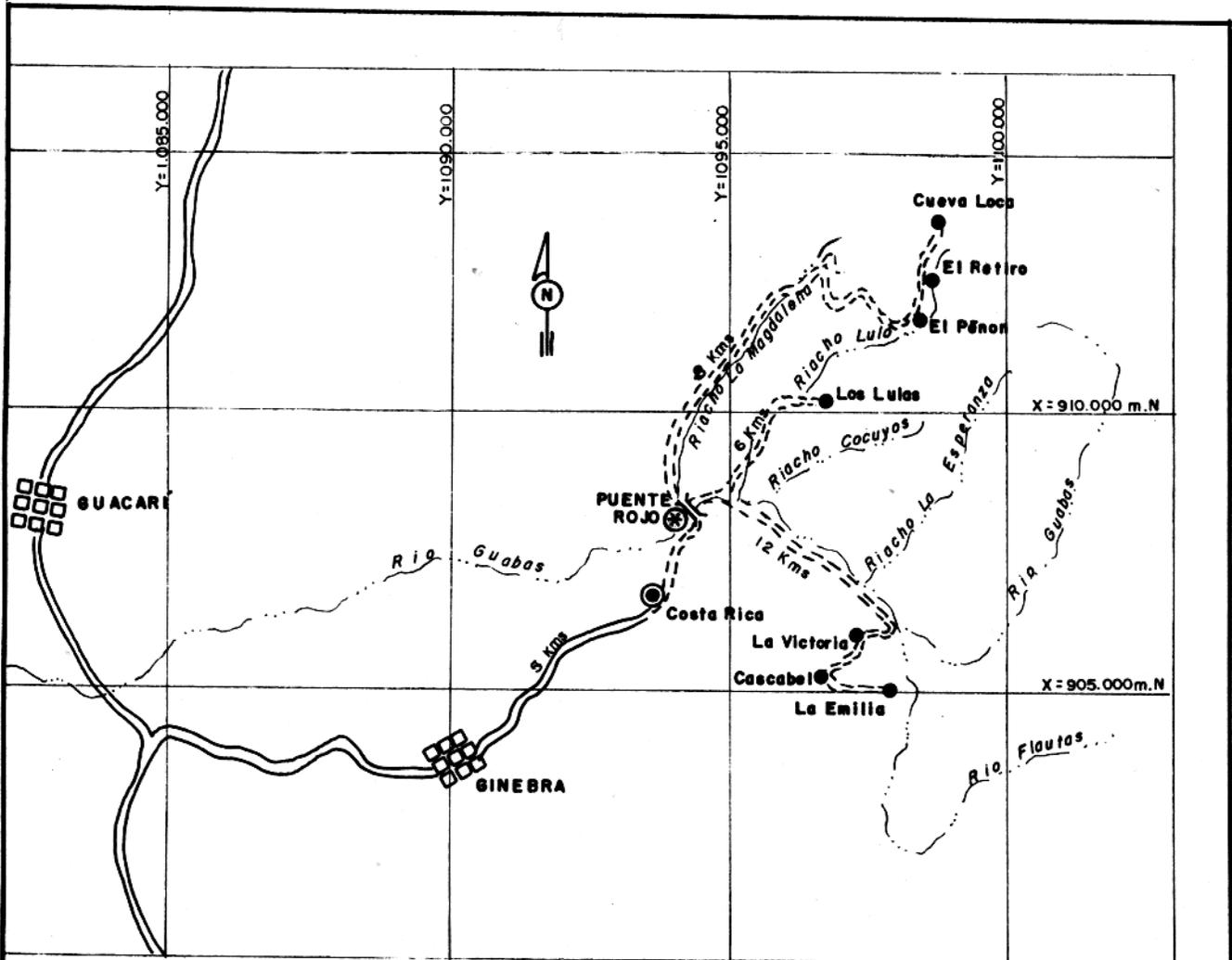
O município de Ginebra dista aproximadamente 60 km da cidade de Santiago de Cali, capital do Departamento del Valle del Cauca, seguindo ao norte pela rodovia Panamericana e virando ao Leste uns 16 km antes de chegar à cidade de Buga. Para o acesso até o distrito aurífero desde o município de Ginebra deve-se procurar primeiro o casario de Puente Rojo, lugar de onde partem diferentes estradas vicinais em direção às distintas frentes de trabalho (Figura 2).

---

<sup>1</sup> INGEOMINAS é um instituto de pesquisa ligado ao Ministério de Minas e Energia da Colômbia que tem por fim gerar e difundir informação e conhecimentos científicos e tecnológicos para assessorar o governo nacional e o setor privado em projetos e questões relacionados às geociências, mineração e química.



<b>INGEOMINAS</b>	
<b>MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE GINEBRA</b>	
<b>Autor:</b> ÁREA DE MINERIA	<b>Cartografia:</b> ÁREA DE MINERIA
	<b>Data:</b> AGOSTO 1994
	<b>Figura 1</b>



**CONVENÇÕES**

- Mina
- ▣▣▣▣ Município
- ⊙ Inspeção de Polícia
- == Estrada asfaltada
- - - Estrada vicinal
- ~ Rio ou riacho
- ⊕ Captação dos aquedutos dos Municípios de Ginebra e Guacarí

<b>INGEOMINAS</b>	
VIAS DE ACESSO ÀS PRINCIPAIS MINAS NO DISTRITO AURÍFERO DE GINEBRA	
Autor: ÁREA DE MINERIA	Cartografia: ÁREA DE MINERIA
0 1 2 3 Km	DATA Maio/1984
	FIGURA 2

Para este estudo foram utilizadas as cartas topográficas do Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, Colômbia), carta 280, na escala 1:100.000, e cartas 280-II-A e 280-II-C, na escala 1:25.000. A partir destas fizeram-se algumas ampliações. A topografia no setor é bastante abrupta, com altitudes entre os 1200 e 2950 m, onde destacam-se as montanhas escarpadas Chafalote, Lulo e Janeiro.

A hidrografia é formada por riachos com leitos controlados estruturalmente, afluentes do Rio Guabas, onde observam-se correntes de água importantes como o Rio Flautas e os Riachos Lulo, La Esperanza, La Magdalena e Cucuyos (Figura 2).

Devido à variação em altitudes dentro da área de trabalho, o clima varia desde temperado úmido, nas áreas baixas, até frio úmido, nas áreas altas, com temperaturas entre 10 e 23 °C.

## 1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

Os principais objetivos do estudo são:

- (1) caracterizar geoquimicamente as drenagens da mineração do ouro do Distrito Aurífero de Ginebra, e
- (2) conhecer e avaliar os níveis de metais pesados, incluindo mercúrio, procedentes dos minérios e do processamento dos minerais auríferos, da área em referência, com vistas à contaminação ambiental.

De forma complementar pretende-se fomentar um intercâmbio de conhecimentos e experiências entre a INGEOMINAS, na Colômbia, e a UFPA, no Brasil, consolidando as relações entre grupos de pesquisadores em geoquímica ambiental.

### 1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Para o desenvolvimento deste estudo foi fundamental o conhecimento da geologia e tipos de minérios presentes na área, informação tomada a partir da carta INGEOMINAS 280-Palmira e dos relatórios do estudo de mobilização do ouro, feitos pela INGEOMINAS.

Tendo em conta que a área de estudo apresenta dois tipos de minérios, um de tipo filoniano e outro de tipo disseminado (*stockwork*), os dois de origem hidrotermal, programou-se uma amostragem de águas e sedimentos nos leitos dos riachos diretamente afetados pela mineração do setor, fora e sobre as áreas de minério, para se poder realizar comparações. Além desta amostragem, a INGEOMINAS coletou na área de estudo amostras de rochas e solos para o “Proyecto P94Q01: Movilización del Oro en Ambientes Tropicales, Fase II”. Parte dos resultados obtidos pela INGEOMINAS, publicados por BUENAVENTURA & GONZALEZ (1994), foram usados nesse estudo.

Todas as amostras coletadas foram levadas aos laboratórios de química da INGEOMINAS em Santafé de Bogotá, D. C. (Colômbia), onde foram preparadas e

processadas para determinar os conteúdos de As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni e Pb, em águas, e Ag, Au, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em sedimentos. As análises para As, Cd, Cr e Hg, em sedimentos, foram feitas pelo Laboratório Geolab (GEOSOL), em Belo Horizonte, MG (Brasil). Os resultados obtidos foram processados estatisticamente, discutidos e utilizados para redigir o relatório final.

## 2. AMBIENTE GEOLÓGICO

### 2.1 MARCO GEOTECTÔNICO

Por volta das décadas 80 e 90, a geologia colombiana começou a ser estudada a partir do ponto de vista da nova teoria geotectônica de terrenos tectono-estratigráficos modificada por CONEY *et al.* (1980), mostrando a Colômbia como um grande mosaico de terrenos que formam o canto noroeste da América do Sul, afetado pela interação das placas Nazca, Caribe e Sul-americana.

ETAYO-SERNA *et al.* (1986) publicaram o primeiro mapa de terrenos geológicos da Colômbia, onde apresentam a Colômbia formada por 29 terrenos “Continentais” e três “Insulares”. Eles salientam, entretanto, que o número de terrenos pode ser o resultado de uma identificação de províncias geológicas mais do que de terrenos propriamente ditos.

Segundo estes autores, a área de trabalho está no interior do terreno Cauca-Romeral (Figura 3), formado por fragmentos de crostas oceânicas e continental e possivelmente de manto, depósitos de fossa oceânica e fragmentos de arcos insulares, acrescidos, colocados e justapostos em diferentes épocas e sob diferentes processos.

TOUSSAINT & RESTREPO (1988) apresentaram um novo modelo, sob o qual a geologia colombiana agrupa-se no interior de cinco mega-terrenos, três deles com embasamento cristalino continental e os outros dois com embasamento oceânico.

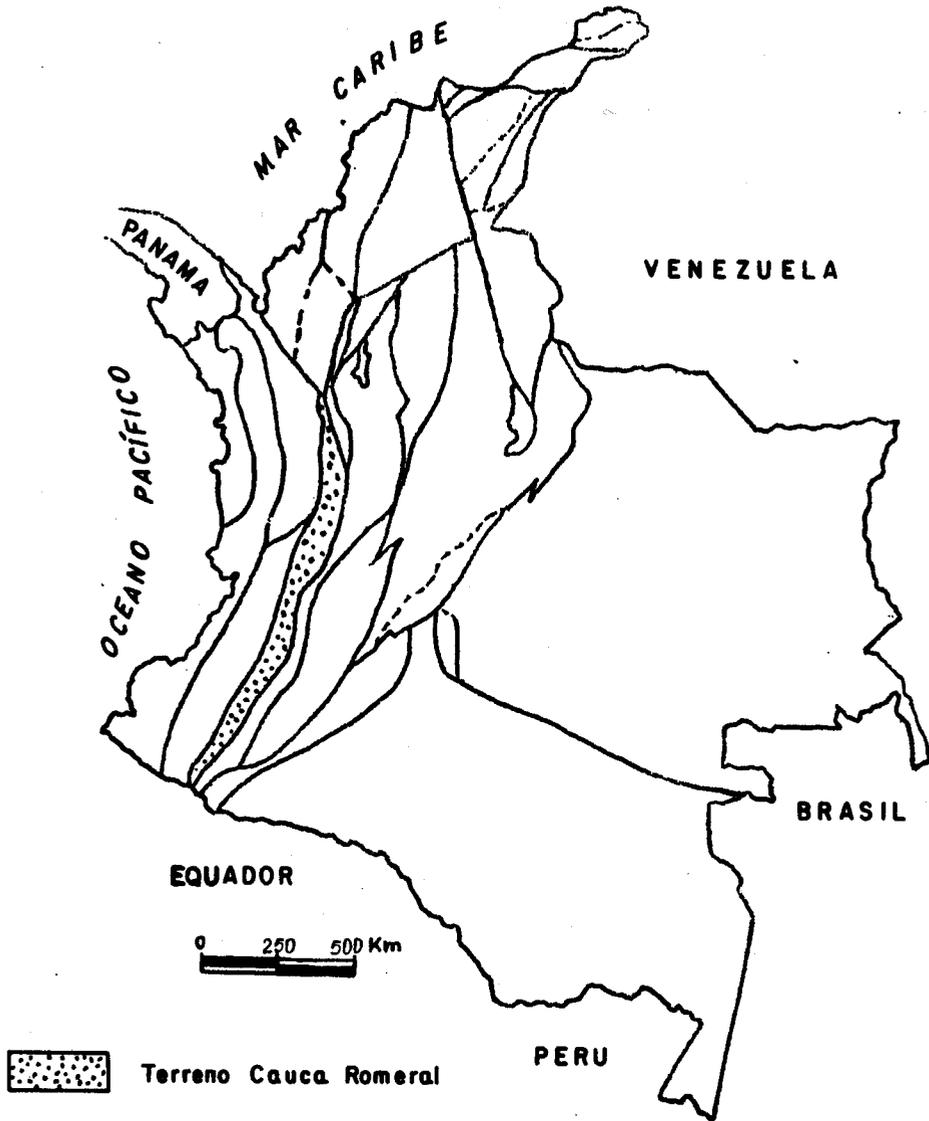


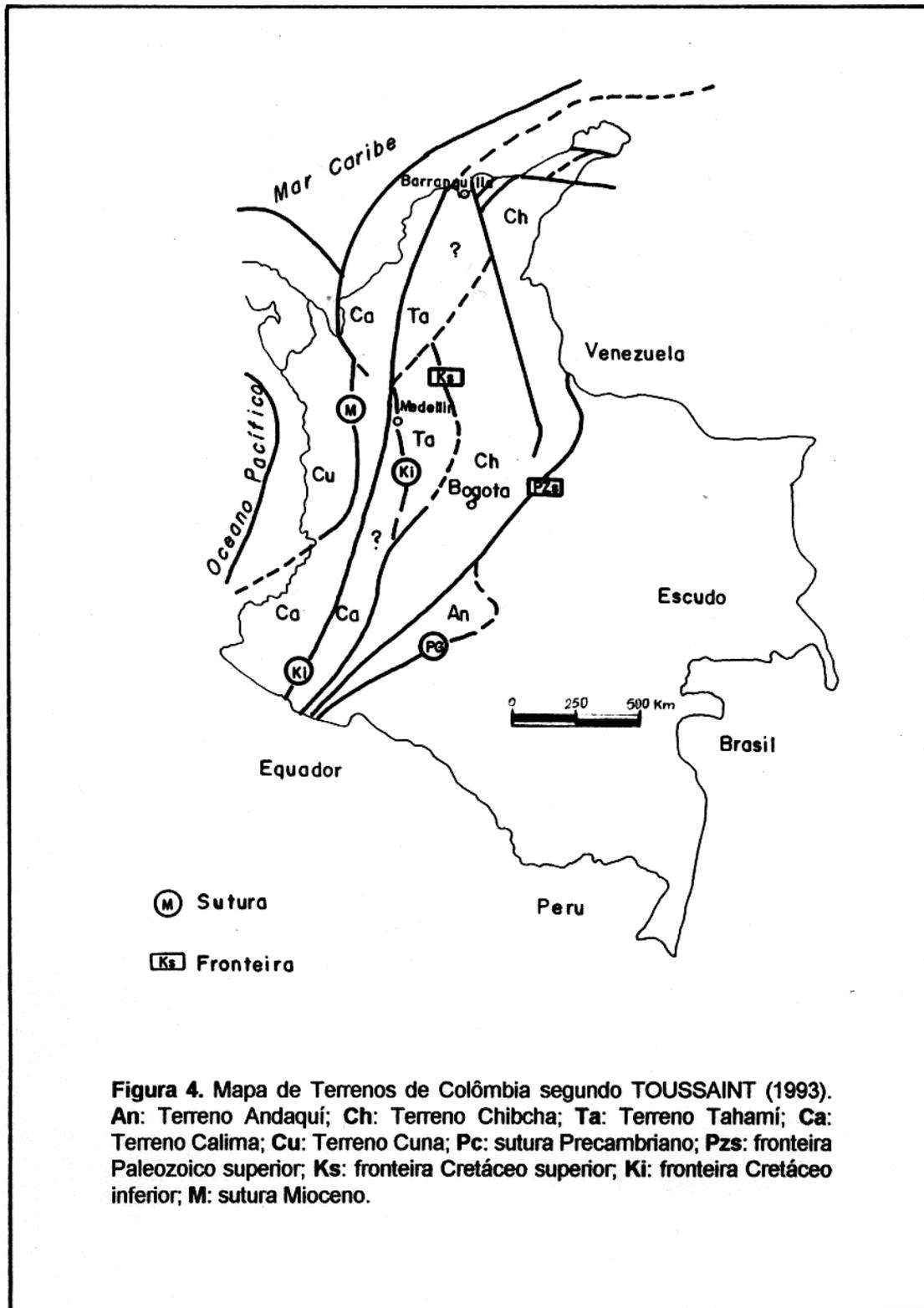
Figura 3. Mapa do Terreno Cauca-Romeral. Tomado de ETAYO-SERNA *et al.* (1986).

Em 1989 esses terrenos foram renomeados pelos autores com nomes de grupos étnicos precolombianos. Em 1993, TOUSSAINT apresentou uma modificação incluindo um sexto terreno, com estrutura litológica continental.

Segundo a nomenclatura de TOUSSAINT (1993), o distrito de Ginebra está localizado sobre o terreno Calima, que compreende grande parte da Cordilheira Ocidental e parte do flanco oeste da Cordilheira Central (Figura 4). Apresenta todas as unidades litológicas com idades cretácicas e está composto por rochas ígneas básicas e ultra-básicas, com associação de sedimentos marinhos profundos (cherts, radiolaritos e turbiditos), constituindo-se em fragmentos de sequências ofiolíticas (CASE *et al.*, 1971; GOOSENS *et al.*, 1977; BOURGOIS *et al.*, 1982) de natureza oceânica (ZEIL, 1979).

No interior deste terreno e ao longo do vale geográfico do Rio Cauca podem ser observados complexos ofiolíticos (Bolívar, Ginebra, Nechí e Los Azules) que representam uma crosta oceânica, sobre a qual desenvolveram-se possíveis arcos insulares (Formação Barroso e Grupo Diabásico). Na borda leste do terreno registram-se eventos metamórficos com séries de facies de média pressão (ao N) e de alta pressão (no S), todos de idade Cretáceo inferior (RESTREPO & TOUSSAINT, 1976; ORREGO *et al.*, 1980).

Em meados do Cretáceo começou a obdução do terreno Calima sobre o terreno Tahamí para formar um terreno composto que foi acrescido ao continente no Cretáceo superior-Terciário inferior.



O magmatismo está representado pela intrusão do Batólito Antioqueño, no Cretáceo superior. Posteriormente, no Paleoceno e Mioceno, houve várias intrusões de plutões no lado oeste do terreno Calima.

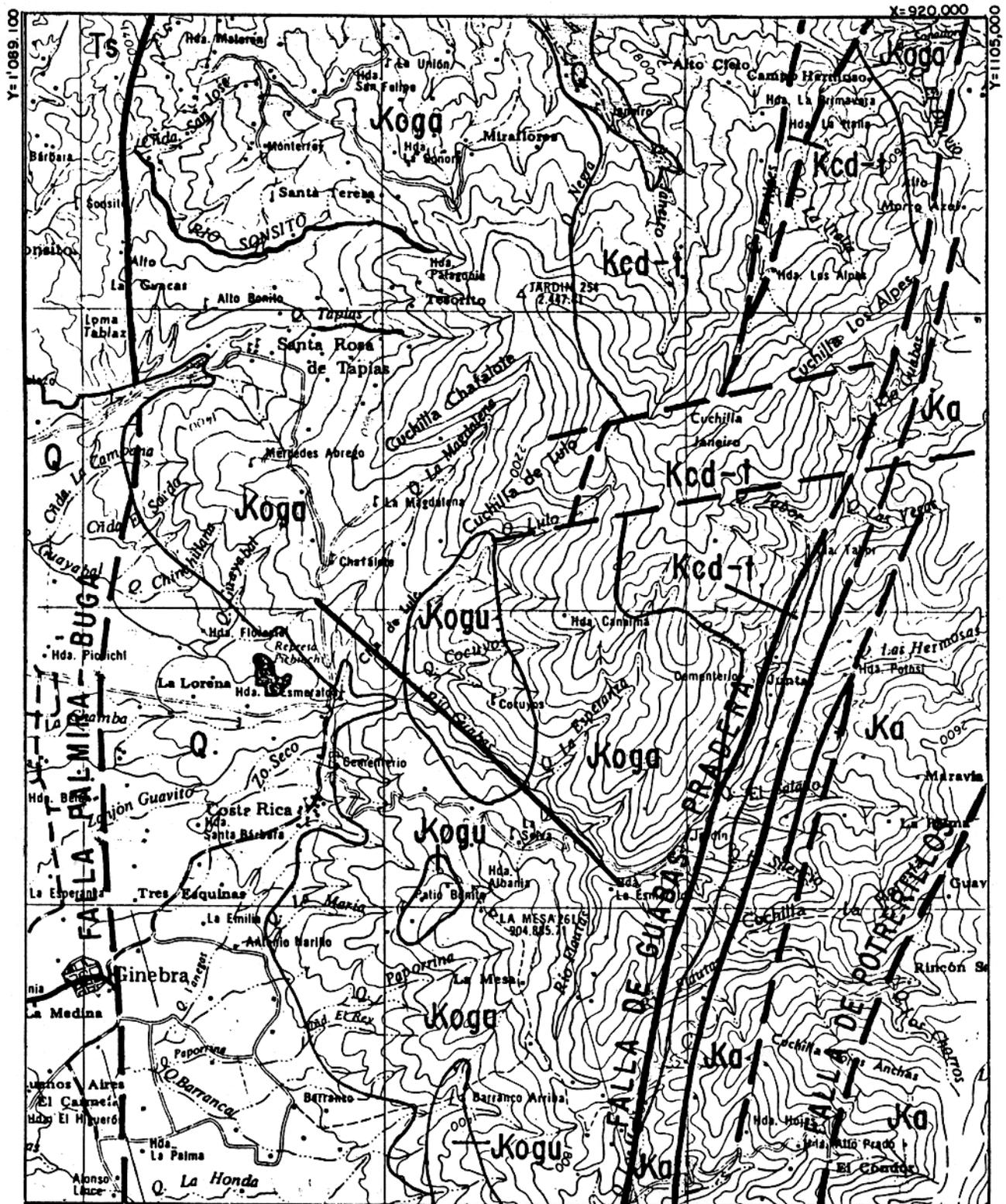
## 2.2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Na área de estudo afloram duas unidades litoestratigráficas maiores: o Maciço Ofiolítico de Ginebra (MOG), em contato falhado com a formação Amaime, e o batólito de Buga, que intrude o MOG (Figura 5). As rochas sedimentares estão representadas pelos arenitos e conglomerados Terciários da formação La Paila e os sedimentos aluviais do Quaternário.

### 2.2.1 Formação Amaime (JKa)

A formação Amaime foi definida por McCOURT *et al.* (1984a) e compõe-se por lavas básicas em almofada tectonizadas, em contato falhado com xistos Paleozóicos(?) ao longo da falha Romeral, e intrudidas pelo batólito de Buga. Localmente apresenta basaltos komatiíticos.

As rochas vulcânicas são toleitos com baixos teores de potássio e composição química de grande afinidade com basaltos de cristas mesoocênicas (McCOURT, 1984a).



CONVENÇÕES

- Q** Depósitos Quaternários não divididos.
- TS** Rochas Sedimentares Terciárias da Formação La Palla.
- Kcd-t** Rocha Intrusiva de composição quartzo diorito-tonalito (Batólito de Buga).
- Koga** Anfibolitos e gabros do maciço ofiolítico de Ginebra.
- Kogu** Rochas ultramáficas e gabros estratificados do maciço ofiolítico de Ginebra.
- Ka** Pillow-lavas tectonizadas da Formação Amaine.

Fonte: Carta 280 - Palmira (Mc COURT, et al., 1984)

<b>INGEOMINAS</b>	
<b>GEOLOGIA REGIONAL DO DISTRITO AURÍFERO DE GINEBRA</b>	
Autor: <b>ÁREA DE MINERIA</b>	Cartografia: <b>ÁREA DE MINERIA</b>
1km  2km	Data: <b>AGOSTO 1994</b>
<b>Figura 5</b>	

### 2.2.2 Maciço Ofiolítico de Ginebra

O Maciço Ofiolítico de Ginebra (MOG) foi definido por ESPINOSA (1985) e está localizado na borda leste do vale geográfico do Rio Cauca, com forma alongada, orientação regional N-S e dimensões de 40 km de comprimento e 8 km de largura.

O maciço apresenta da base para o topo a seguinte sequência: peridotitos, gabros estratificados, gabros, diques de dolerito, metabasaltos, plagiogranitos, microbrechas e tufos. Os diques de dolerito e veios de plagiogranito estão presentes na unidade gabróica. Há um predomínio de metabasaltos e anfibólitos. O MOG sofreu um metamorfismo de alta pressão e baixa temperatura, que permitiu-lhe alcançar localmente a fácies anfibólito.

Este maciço apresenta duas unidades litológicas bem definidas no mapa: a JKoga e JKogu. A JKoga é a maior das duas e é formada basicamente por anfibólitos e gabros não diferenciados; a JKogu está composta por peridotitos e gabros estratificados.

No contato leste apresentam-se tufos e microbrechas, que, segundo ESPINOSA (1985), podem ser parte do maciço, contrariando COLEMAN (1977), para quem a parte extrusiva dos ofiolitos não apresenta comumente tufos.

McCOURT (1984a) relata tufos ao longo da falha Guabas-Pradera, interpretados como uma possível brechação volátil-gasosa relacionada com a intrusão a leste do batólito de Buga.

O MOG é intrudido a norte e leste pelo batólito de Buga, o que lhe confere uma idade relativa pré-Aptiano. Apresenta contato falhado com a formação Amaime, a sudeste, e com as rochas sedimentares Terciárias da formação La Paila, a noroeste; é discordante a oeste e sudeste com os depósitos aluviais Quaternários do vale do Rio Cauca. A sua relação com a formação Amaime poderia ser interpretada como parte de um piso oceânico, onde extrudiram os basaltos da formação Amaime, ou como embasamento de um ofiolito completamente desenvolvido, onde os basaltos de Amaime formariam o teto (McCOURT, 1984a).

Regionalmente, o MOG apresenta um controle estrutural forte pelas falhas Guabas-Pradera e Palmira-Buga, que fazem parte do sistema de falhas regionais do flanco oeste da Cordilheira Central. A mineralização que apresenta parece ser pre-tectônica, já que foi afetada por deslocamentos tectônicos.

O MOG foi acrescido ao continente durante o Cretáceo inferior por fenômenos tectônicos que envolveram todo o ocidente colombiano.

### **2.2.3 Batólito de Buga (Kcd-t)**

É um corpo de composição ácida a intermediária, que varia de quartzodiorito-tonalito até hornblenda-diorito, cortou a formação Amaime ao longo da falha Guabas-Pradera e intruiu o MOG. McCOURT (1984b) atribui a sua origem a magmatismo produzido por subducção a oeste da colocação atual.

Regionalmente está afetado pela falha Guabas-Pradera, que fez controle da colocação do batólito no lado oriental, e localmente por falhas no sentido NNE-SSO e ENE-OSO que geraram zonas de cisalhamento e deslocamentos de poucos metros.

Em 1978, TOUSSAINT *et al.* dataram o batólito de Buga pelo método K/Ar, que forneceu uma idade de  $113 \pm 10$  M.a., porém, BROOK (1984) fez uma nova datação usando isócrona Rb/Sr obtendo uma idade de  $99 \pm 4$  M.a., ou seja, meados do Cretáceo (Albiano). Devido ao alto grau de tectonismo na área estas idades são consideradas mínimas.

#### **2.2.4 Formação La Paila (Ts)**

A formação La Paila está localizada no NE do povoado de Sonsón, na parte central da carta INGEOMINAS 280-Palmira. Foi definida por NELSON (1957) e compõe-se de conglomerados, arenitos e alguns níveis de piroclasto, sedimentos gerados na sua totalidade da Cordilheira Central. Essa formação apresenta contato falhado com os metabasaltos do MOG e uma idade Mioceno inferior (NELSON, 1957) a Mioceno médio (SCHWIN, 1969).

#### **2.2.5 Depósitos Quaternários (Q)**

Os depósitos quaternários encontram-se no O da área de estudo, apresentando relação com o vale do Rio Cauca e correntes de água principais, fazendo parte da

sequência que recheia o graben do Cauca. São principalmente depósitos aluviais, terraços, e leques aluviais, todos no flanco oeste da Cordilheira Central.

### 2.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL

O Distrito Aurífero de Ginebra encontra-se afetado regionalmente por uma série de falhas inversas de alto ângulo, com direção principal NNE-SSO, as quais foram transcorrentes no mínimo uma vez durante a sua evolução (EVANS *et al.*, 1984). Estas falhas fazem parte do sistema de falhas Cauca-Romeral, que afeta todo o ocidente colombiano.

As falhas mais importantes na área de trabalho são a Guabas-Pradera e a Palmira-Buga, que limitam o MOG a leste e oeste, respectivamente, e as falhas Potrerillo e Quebrada Nueva.

Como consequência dos movimentos da falha Cauca-Almaguer, a leste da área de estudo, desenvolveu-se um sistema de falhas transcorrentes com direção E-O, configurando-se numa grande zona de cisalhamento, com movimentos destrais (McCOURT *et al.*, 1984b).

Outro sistema de falhas regional e importante é formado pelas falhas mais jovens (McCOURT *et al.*, 1984b) que apresentam uma direção NO-SE.

## 2.4 OCORRÊNCIAS MINERAIS

Atualmente o Distrito Aurífero de Ginebra conta com 13 minas (Figura 6), das quais seis encontram-se em plena atividade, seis foram abandonadas e uma está começando a sua exploração.

As minas que estão funcionando são: El Retiro, com maior atividade, e El Peñón, que afetam a bacia do Riacho Lulo; as minas La Emilia, San Exposito e Cascabel, que influenciam a bacia do Rio Guabas, e a mina Cueva Loca, que joga os seus rejeitos à bacia do Riacho Janeiro.

As minas Los Lulos, sobre a bacia do Riacho Lulo, Santelina, na bacia do Riacho Janeiro, La Magdalena e Santa María de la Magdalena, na bacia do Riacho La Magdalena, La Montecristo, sobre a bacia do Riacho Esperanza, e La Victoria, na bacia do Rio Guabas, foram abandonadas, porque o minério acabou, por problemas econômicos ou por problemas legais, já que a maioria está *subjudice* e não tem permissão para funcionamento.

Embora existam restrições com respeito às explorações minerais em áreas que são consideradas como de alto risco de desastre natural, encontra-se atualmente em operação de abertura uma nova mina, a mina La Esperanza, localizada na parte alta da bacia do Riacho Esperanza.



Quase todas estas minas são ou foram exploradas através de galerias, as mesmas que foram construídas seguindo os filões ou veios do minério, que, após extraído, é levado a um moinho para começar o seu beneficiamento.

A única mina que tem exploração a céu aberto é El Retiro, onde é extraído o material alterado de um depósito aurífero disseminado localizado na parte alta da bacia do Riacho Lulo.

Segundo BUENAVENTURA & GONZALEZ (1994), a intrusão do batólito de Buga no MOG produziu o fluido hidrotermal mineralizador que ascendeu através das fraturas geradas pelas estruturas de falhas NNE-SSO, conformando minérios de dois tipos: disseminado, ou de *stockwork*, e de filão, localizados na zona de contato batólito-rochas ultramáficas.

Macroscopicamente, a mineralogia dos minérios no distrito de Ginebra é bastante simples, trata-se de quartzo com sulfetos, os quais apresentam-se em veios, filões, ou disseminado. O quartzo leitoso, anedral a eudral, encontra-se recheando cavidades ou fraturas. Os sulfetos são principalmente arsenopirita, pirita, calcopirita, esfalerita e galena, também anedrais a eudrais, anedral nos filões e subedral a eudral quando faz parte dos depósitos disseminados. Os depósitos de filão apresentam um conteúdo maior de metais base tais como Cu, Pb e Zn, por isto é comum que os filões apresentem malaquita, azurita, covelina, limonita, hematita, produto da oxidação dos sulfetos. Segundo PRIETO *et al.* (1994), o ouro do distrito encontra-se associado intimamente com os sulfetos de ferro (pirita).

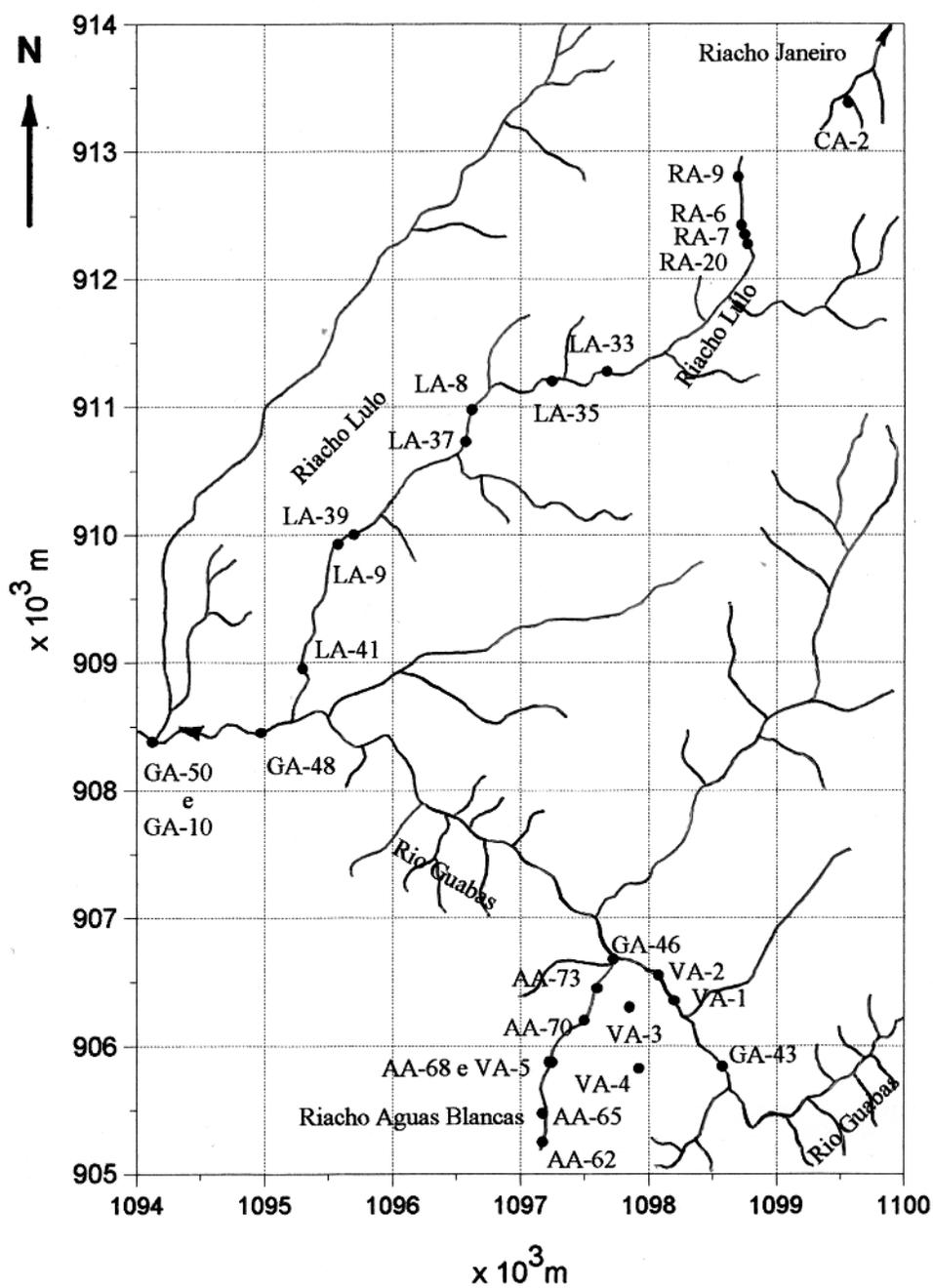
A alteração hidrotermal nos depósitos filonianos está restrita às bordas de resfriamento de cada veio ou filão, enquanto no depósito tipo *stockwork* a alteração é maior, dos tipos argílica e propilitica, com intensa silicificação e cloritização.

### 3. AMOSTRAGEM

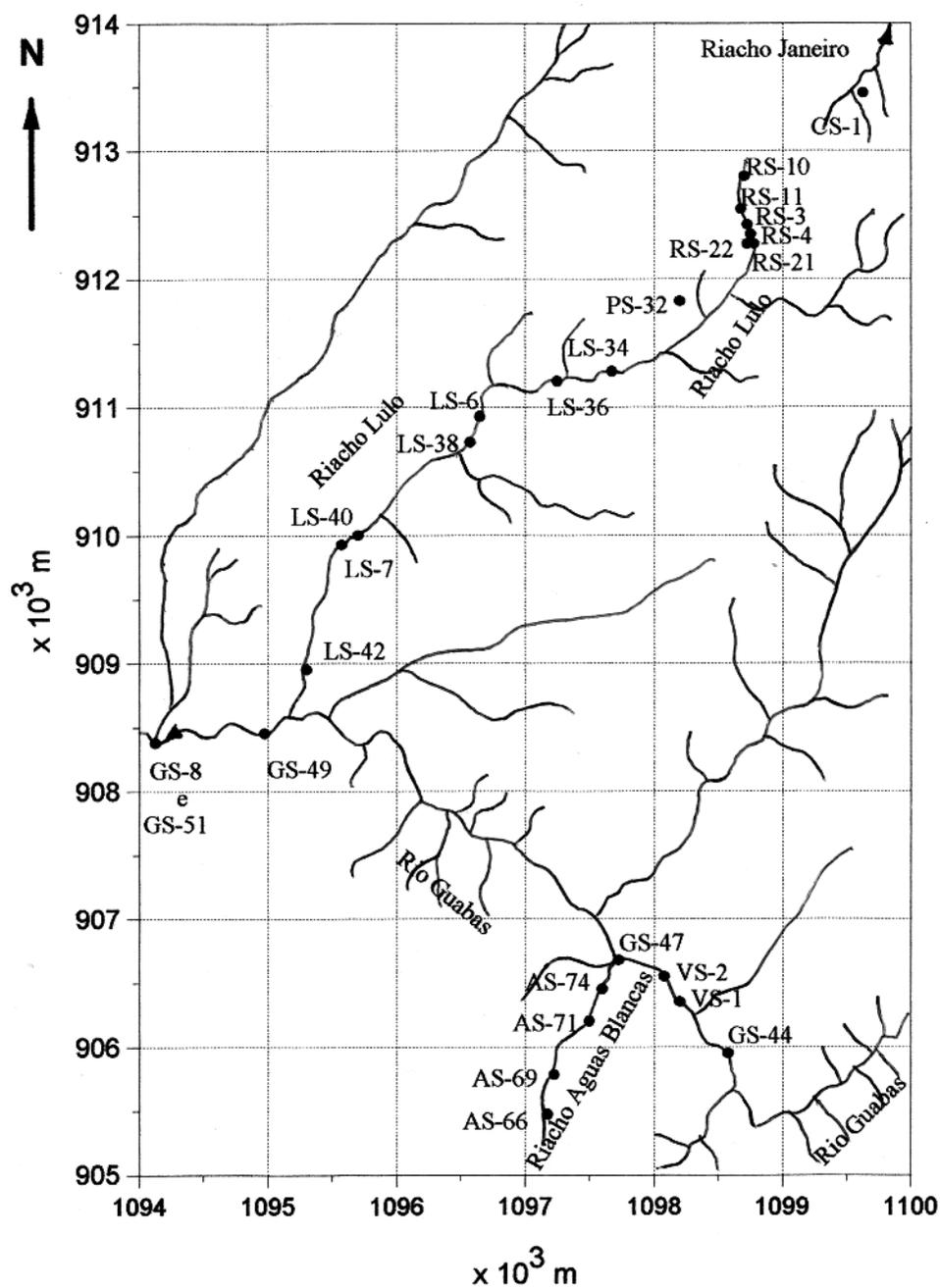
No desenvolvimento deste estudo foram feitas duas visitas à área de trabalho. A primeira para reconhecer a área, verificar as explorações minerais, selecionar as minas a serem visitadas novamente, fazer uma pre-amostragem, para se ter uma idéia do conteúdo de metais pesados nas amostras a serem amostradas posteriormente, e decidir sobre o padrão de amostragem. A segunda, para coleta das amostras de águas e sedimentos, deste estudo, e de rochas e solos, de interesse da INGEOMINAS, cujos resultados analíticos também foram, em parte, usados neste trabalho.

As coletas foram feitas na primeira semana do mês de agosto de 1994, no final do período seco, nos leitos do Riacho Lulo e do Rio Guabas (Figuras 7 e 8), antes e depois das descargas de efluentes mineiros, assim como em pontos intermediários entre as descargas, para observar o decaimento das concentrações dos metais pesados estudados. Como padrão de comparação, foram coletadas amostras na nascente do Riacho Lulo e ao longo do Riacho Aguas Blancas, que são consideradas como menos sujeitas a contaminação. O alto custo de deslocamento até a área de trabalho e a falta de financiamento impediram uma segunda campanha de coleta de amostras, no período de chuvas.

As amostras de água foram coletadas diretamente das correntes, em garrafas plásticas que foram previamente lavadas com ácido clorídrico (HCl) a 10 % durante, no mínimo, um dia. Em cada local de amostragem coletaram-se 3 l de água, 2 l para a análise de ouro e 1 l para as demais análises.



**Figura 7.** Mapa de amostragem de águas no Distrito Aurífero de Ginebra. Coordenadas tomadas das cartas topográficas IGAC 280-IIA e IGAC 280-II-C.



**Figura 8.** Mapa de amostragem de sedimentos de corrente no Distrito Aurífero de Ginebra. Coordenadas tomadas das cartas topográficas IGAC 280-II-A e IGAC 280-II-C.

Cada uma das amostras d'água foi filtrada (usando filtros MILLIPORE de 45  $\mu\text{m}$ ), lido o seu pH e acidificadas com 20 ml de ácido clorídrico (HCl) a 50 % por cada litro de água, para assegurar um pH ao redor de 2. Cada garrafa foi depois rotulada e selada para transporte.

Os sedimentos de corrente foram coletados com a mão<sup>2</sup> e embalados em sacos plásticos transparentes, rotulados, tendo-se especial cuidado de não se pegar a amostra de um só ponto, mas de vários pontos do local de amostragem, a fim de aumentar sua representatividade. Quando coletada uma quantidade suficiente, aproximadamente 1 kg, o saco foi batido suave e continuamente até que a água se separasse e fosse descartada, virando-se um pouco a boca do saco. Depois o saco foi selado para o transporte.

---

<sup>2</sup> Apesar de não se dispor de dados sobre a vazão dos riachos, calcula-se que, dificilmente, alguma ultrapasse os 50 l/seg na foz. Esse fato permite a amostragem com a mão e sem necessidade de mergulhar. No caso do Rio Guabas, com vazão aproximada de 7 m<sup>3</sup>/seg, as amostras foram coletadas perto das margens.

#### 4. MÉTODOS GEOQUÍMICOS

As amostras coletadas foram transportadas até os laboratórios de química da INGEOMINAS, na cidade de Santafé de Bogotá, D.C. (Colômbia), onde fizeram-se a maioria das análises necessárias a esse estudo. Os métodos utilizados para a determinação dos elementos químicos analisados neste trabalho são apresentados no Anexo A.

As amostras de sedimentos e solos foram levadas até o Laboratório de Geoquímica, na INGEOMINAS, onde foram desempacotadas e secadas a temperatura ambiente, com os cuidados para se evitar ao máximo a contaminação entre elas. As amostras secas foram desagregadas, homogeneizadas e peneiradas a <80 mesh.

Para estabelecer a influencia do minério nas drenagens da área, as amostras foram abertas parcialmente, de modo que fosse atacado só o minério e não a rocha encaixante do mesmo. Como o minério é rico em sulfetos, tais como pirita, calcopirita, galena e arsenopirita, foi usada uma mistura de ácidos nítrico e clorídrico e banho maria.

No caso da análise de ouro, as amostras foram calcinadas e depois atacadas com ácidos nítrico e clorídrico e bromato de potássio, para se destruir os sulfetos e liberar o ouro, que se transforma em bromoaurato, uma das formas mais solúveis.

No caso das leituras dos conteúdos de metais em águas, como os metais

encontravam-se em solução, o único que se fez foi passar as alíquotas diretamente ao aparelho de leitura, com a exceção das análises para arsênio e mercúrio, que precisaram de um pré-tratamento antes da leitura.

Os conteúdos dos metais Au, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn em todas as aberturas efetuadas, e nas amostras de água, foram lidos primeiramente num equipamento de absorção atômica *Perkin Elmer 306*, para se determinar as concentrações maiores, e, depois, em um equipamento de absorção atômica *Perkin Elmer 5000* com forno de grafite *HGA-76B*, para se determinar concentrações menores. As únicas exceções foram as análises para arsênio e mercúrio em águas, determinadas através de um gerador de hidretos *HMS-10* ligado ao *Perkin Elmer 5000*.

Alíquotas das amostras de sedimentos e solos foram trazidas para o Brasil e enviadas para o Laboratório Geolab (GEOSOL), Belo Horizonte, MG, para as análises de As e Cr, num equipamento de plasma de indução marca *ARL* modelo *35.000C*. As análises de Cd, num equipamento de absorção atômica *Varian* modelo *AA-175*, e as análises de Hg, num gerador de vapor *Varian* modelo *64* e no equipamento de absorção atômica *Varian* modelo *AA-175*.

#### 4.1 PRECISÃO

O controle da precisão das análises químicas foi feito através da abertura e análise de duplicatas do 10 % das amostras, assim como pela repetição de algumas

das análises, dois meses depois. Um exemplo do anterior é apresentado na Tabela 1, onde é mostrada a variação dos resultados obtidos para duas alíquotas da amostra de sedimento GS-51.

**Tabela 1.** Resultados obtidos nas análises químicas para duas alíquotas da amostra de sedimento GS-51, no Distrito Aurífero de Ginebra.

Elemento	Unidade	Alíq.	Alíq.	Varição
		1	2	%
<b>Cu</b>	ppm	68	69	+ 1,47
<b>Pb</b>	ppm	79	70	- 11,39
<b>Zn</b>	ppm	50	48	- 4,0
<b>Ni</b>	ppm	85	85	0
<b>Co</b>	ppm	23	23	0
<b>Ag</b>	ppm	< 1	< 1	n. d.
<b>Fe</b>	%	3,9	3,8	- 2,6
<b>Mn</b>	ppm	410	390	- 4,9

n.d.: Não determinado.

## 4.2 EXATIDÃO

Para controlar a exatidão dos métodos, foram analisadas amostras padrão internacional (padrões GXR-2 e GXR-4, da *US Geological Survey*), no caso dos sedimentos, e foi aplicado o método de adição de padrão interno, para a determinação da exatidão nas análises das amostras das águas.

A Tabela 2 apresenta as variações entre as concentrações relatadas por GOVINDARAJU (1994) para a amostra GXR-2 e as obtidas nesse estudo.

**Tabela 2.** Comparação entre as concentrações relatadas por GOVINDARAJU (1994) para os elementos químicos analisados na amostra padrão internacional GXR-2 (da *US Geological Survey*) e as concentrações obtidas nesse estudo.

Elemento	Unidade	Concen.	Concen.	Varição
		Relatada	Obtida	%
Cu	ppm	76	72	- 5,2
Pb	ppm	690	624	- 9,6
Zn	ppm	530	504	- 4,9
Ni	ppm	21	22	+ 4,8
Co	ppm	8,6	11	+ 27,9
Ag	ppm	17	17	0
Fe	%	1,85	1,7	- 8,1
Mn	ppm	994	860	- 13,5

GOVINDARAJU (1994) compilou os *working values* de 383 *geostandards* e no seu *Special Issue* relata simplesmente um valor de trabalho para cada elemento maior ou traço e não um intervalo aceitável, ficando difícil, às vezes, decidir se os valores obtidos em cada uma das rotinas analíticas é realmente confiável ou não, contudo, cada determinação analítica de um elemento químico nas amostras era acompanhada por alíquotas de três dos *geostandards*.

## 5. TRATAMENTO DE DADOS

### 5.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Além dos erros de amostragem geoquímica e de laboratório, a distribuição dos elementos químicos nas rochas é influenciada por diversos fatores que participam na formação do ambiente geológico (MILLER & GOLDBERG, 1955). A identificação da natureza da distribuição dos dados geoquímicos é necessária para facilitar a análise estatística (KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965), devido à íntima relação que existe entre as distribuições e a aplicação dos métodos estatísticos (JONES & BEAVEM, 1971).

Segundo a proposta de GARRET (1984), para o conhecimento das distribuições dos resultados obtidos para cada um dos elementos analisados neste trabalho, eles foram agrupados em histogramas de frequência com números de intervalos de classes calculados segundo a expressão de Burgess:

$$N^{\circ} \text{ de I.C.} = 1 + 3,3 \log (\text{número total de amostras})$$

A fim de se obter ditribuições semelhantes à normal, em alguns casos foi necessário transformar logaritmicamente os dados e eliminar os valores *outliers*, observando-se, no final, três tipos de distribuições: distribuições unimodais, distribuições bimodais e distribuições indefinidas. No caso das distribuições bimodais, a população que agrupa os valores mais baixos foi interpretada como a

população de *background*, e a segunda população como a de valores anômalos. Após estabelecidos os tipos de distribuições presentes, foram calculados a média e desvio padrão para todos os elementos químicos.

Para cada um dos histogramas foi elaborada uma curva de frequência acumulada, que permite visualizar melhor a distribuição, já que distribuições normais ou log-normais, quando plotadas em papel de probabilidade, delineiam uma linha reta, enquanto distribuições bimodais se apresentam com inflexões, devido à mistura de valores anômalos com valores de *background*.

A determinação dos valores limiares pode-se fazer usando os métodos gráficos propostos por LEPELTIER (1969) e SINCLAIR (1974), mas, por razão de simplicidade, os cálculos foram matemáticos, aplicando-se a fórmula de HAWKES & WEBB (1962):

$$t = x \pm 2s$$

onde:  $t = \textit{threshold}$  (valor limiar)

$x = \textit{média}$

$s = \textit{desvio padrão}$

Naqueles casos em que encontraram-se duas populações bem diferenciadas, praticamente todos os valores acima da média da segunda população já são valores acima do valor limiar calculado para a população de valores baixos, com base nisso, o valor limiar para o elemento foi calculado somando a média da segunda população mais um desvio padrão da mesma população.

Outro parâmetro estatístico a ser considerado na interpretação de dados geoquímicos é o coeficiente de correlação de Pearson, que permite avaliar o grau de dependência entre os elementos químicos (LEPELTIER, 1969).

## 5.2 RESULTADOS NAS ÁGUAS

A Tabela 3 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para os elementos químicos analisados nas águas. Como *background* local medido, ou padrão de comparação, usaram-se os resultados das análises químicas feitas para a amostra RA-9, coletada no Riacho Lulo (perto da nascente) antes de passar pela mina El Retiro, e as amostras AA-62, AA-65, AA-68, AA-70 e AA-73, coletadas no Riacho Aguas Blancas, que ainda não está afetado por nenhuma descarga de rejeitos mineiros (Figura 7). Os valores de *background* para águas naturais foram lidos na tabela de compilação apresentada por FÖRSTNER & WITTMANN (1983).

Os resultados obtidos para mercúrio nas águas do Distrito Aurífero de Ginebra não foram tratados estatisticamente, pois nenhum deles foi maior que o limite de detecção do método analítico (0,5 ppb).

### 5.2.1 Cobre (Cu)

O cobre, após a transformação logarítmica dos seus dados, apresenta uma distribuição bimodal. O primeiro grupo, com 75 % dos dados, representa os baixos valores, e tem uma média de 11,9 ppb, situando-se dentro do intervalo de

*background* local medido (9,47 - 22,47 ppb). Esse valor é alto, se comparado com o valor médio para águas naturais de 1,8 ppb publicado por GIBBS (1977) e Boyle<sup>3</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983). O segundo grupo, com 25 % dos dados, representa os valores altos, e tem uma média de 20,7 ppb.

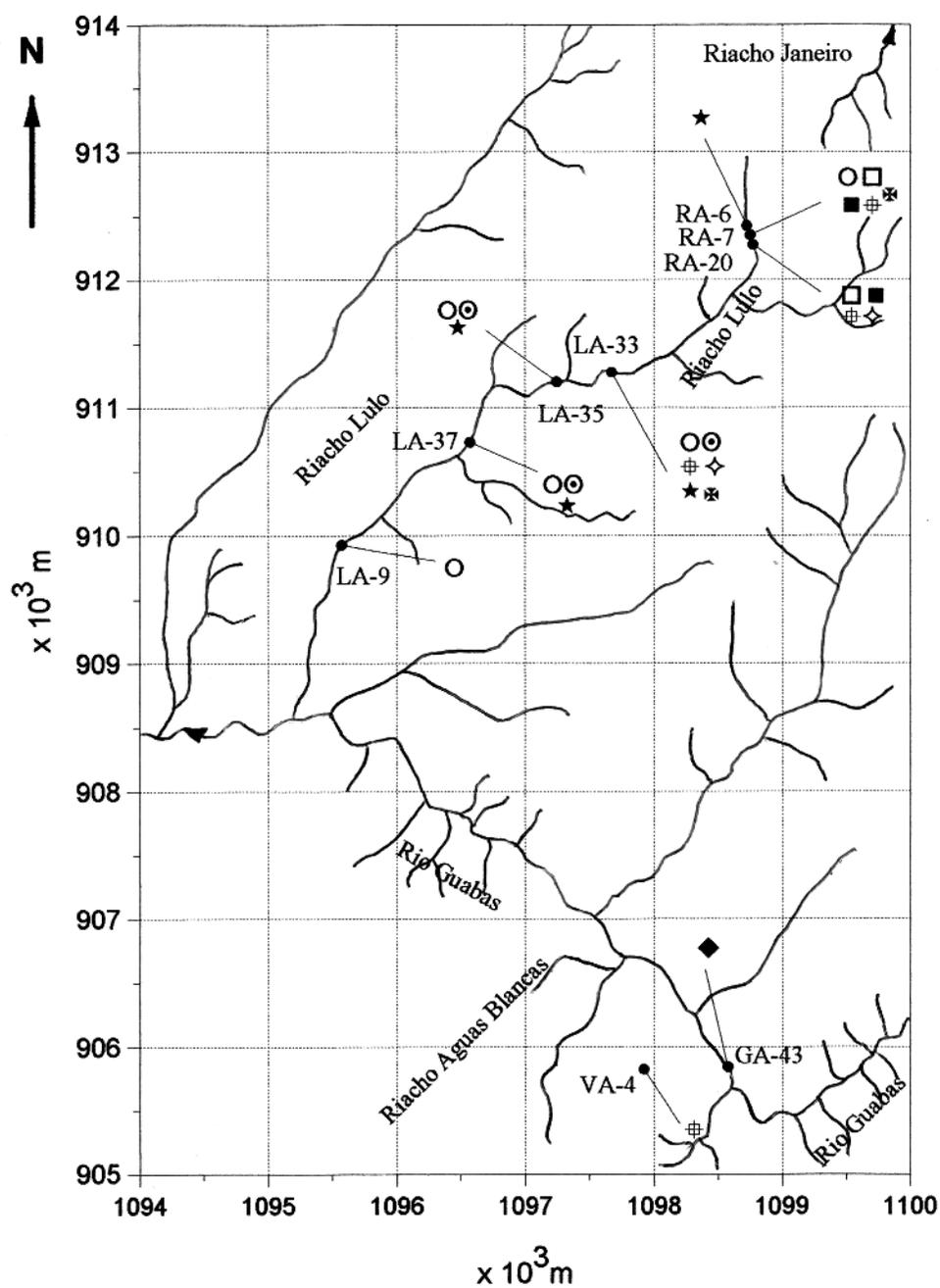
**Tabela 3.** Parâmetros estatísticos básicos para os elementos químicos analisados nas águas coletadas no Distrito Aurífero de Ginebra. Os cálculos foram feitos após eliminação dos valores *outliers*.

Elemento	Unid.	Transf.	% Popula.	Média	Des. Pad.	Threshold
Cu <sub>1</sub>	ppb	Log.	75	11,9	1,8	15,4
Cu <sub>2</sub>	ppb	Log.	25	20,7	4,0	*24,7
Pb <sub>1</sub>	ppb	Log.	78	4,7	2,8	10,3
Pb <sub>2</sub>	ppb	Log.	22	24,6	15,1	*39,6
Ni <sub>1</sub>	ppb	Log.	80	5,4	0,9	7,3
Ni <sub>2</sub>	ppb	Log.	20	15,7	6,9	*22,6
Co <sub>1</sub>	ppb	Aritm.	90	5,0	0,1	5,3
Co <sub>2</sub>	ppb	Aritm.	10	6,7	1,0	*7,7
Mn	ppb	Log.	100	28,2	25,1	78,4
Cr <sub>1</sub>	ppb	Log.	90	5,0	0,1	5,2
Cr <sub>2</sub>	ppb	Log.	10	10,0	6,9	*16,8
As	ppb	Log.	100	0,6	0,6	1,3
Fe	ppm	Log.	100	0,2	1,7	1,9
Au <sub>1</sub>	ppb	Aritm.	85	0,04	0,03	0,10
Au <sub>2</sub>	ppb	Aritm.	15	0,14	0,04	*0,18

<sup>1</sup> e <sup>2</sup>: Populações 1 e 2 respectivamente.

\*: *Threshold* calculado pela soma da média mais um desvio padrão.

<sup>3</sup> BOYLE, E.A. 1978. *Trace Element Geochemistry of the Amazon and its Tributaries*. Abstr. 1978 Spring Meeting AGU. EOS 59:276.



**Figura 9.** Mapa de anomalias para os elementos químicos analisados em águas do Distrito Aurífero de Ginebra. ●: ponto de amostragem; ○: Cu > 24,7 ppb; ⊙: Pb > 39,6 ppb; □: Ni > 22,6 ppb; ■: Co > 7,7 ppb; ⊕: Mn > 78,4 ppb; ◇: Cr > 16,8 ppb; ★: As > 1,3 ppb; ✕: Fe > 1,9 ppm e ◆: Au > 0,18 ppb. Coordenadas tomadas das cartas topográficas IGAC 280-II-A e IGAC 280-II-C.

O valor limiar local de 24,7 ppb para a população dos altos valores resultou da soma da média mais um desvio padrão. Acima do valor limiar encontram-se os resultados obtidos para cinco amostras: RA-7, LA-9, LA-33, LA-35 e LA-37 (Figura 9).

### 5.2.2 Chumbo (Pb)

Os dados para o chumbo foram transformados logaritmicamente e obteve-se uma distribuição bimodal, com uma população de valores baixos, 78 % dos dados, e uma população de valores altos com os restantes 22 %. A população dos baixos valores apresenta uma média de 4,7 ppb, que encontra-se no intervalo de *background* local medido (< 3 - 9,8 ppb) e contrasta fortemente com o valor médio de 0,2 ppb para águas naturais, relatado por Trefry & Presley<sup>4</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983). A média da segunda população é de 24,6 ppb.

O valor limiar local é de 39,6 ppb e separa três amostras como anômalas: LA-33, LA-35 e LA-37 (Figura 9).

### 5.2.3 Níquel (Ni)

O níquel também apresenta uma distribuição bimodal, com uma população de valores baixos, que contém 80 % dos dados e uma média de 5,4 ppb, e uma

---

<sup>4</sup> TREFRY, J.H. & PRESLEY, B.J. 1976. Heavy Metal Transport from the Mississippi River to the Gulf of Mexico. In: WINDOM, H.L. & DUCE, R.A. (eds.). **Marine Pollutant Transfer**. Lexington Books. pp.39-76

população com valores altos, que abrange 20 % dos dados e tem uma média de 15,7 ppb. A média da população de *background* entra no intervalo do *background* local medido (< 5 - 8,43 ppb) e é maior do que o valor médio de 0,3 ppb, apresentado para águas naturais por GIBBS (1977).

Obteve-se um valor limiar de 22,6 ppb somente ultrapassado por duas amostras: a RA-7 e a RA-20 (Figura 9).

#### 5.2.4 Cobalto (Co)

Os resultados analíticos para cobalto foram tratados sem sofrer qualquer transformação e produziram uma distribuição bimodal, com 90 % dos dados fazendo parte da população de *background* e 10 % da população de valores altos. A média da primeira população é de 5,0 ppb, valor que excede o *background* local medido (< 5 ppb) e o valor médio para águas naturais (0,05 ppb) relatado por Turekian *et al.*<sup>5</sup>. *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983). A população dos valores altos tem uma média de 6,7 ppb.

O valor limiar de 7,7 ppb da população dos altos valores separou duas amostras como anômalas: RA-7 e RA-20 (Figura 9).

---

<sup>5</sup> TUREKIAN, K.K.; HARRISS, R.C.; JOHNSON, D.G. 1967. The Variations of Si, Cl, Na, Ca, Sr, Ba, Co, Ag in the Neuse River. *Limnol. Oceanogr.* 12:702-706.

### 5.2.5 Manganês (Mn)

Os dados geoquímicos do manganês foram transformados logaritmicamente para se obter uma distribuição unimodal com uma média de 28,2 ppb, que entra no intervalo de *background* local medido (3,88 - 52,79 ppb) e excede o valor médio de < 5 ppb para águas naturais, apresentado por Kennedy *et al.*<sup>6</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983).

Acima do valor limiar de 78,4 ppb encontram-se quatro amostras: a VA-4, a RA-7, a RA-20 e a LA-33 (Figura 9).

### 5.2.6 Cromo (Cr)

Depois de serem transformados logaritmicamente, os dados do cromo apresentam uma distribuição bimodal, com uma população de *background* que contém 90 % dos dados e uma média de 5,0 ppb, e uma população de valores altos com 10 % dos dados e média de 10,0 ppb. A média da população de *background* excede o *background* local medido (< 5 ppb) e o valor médio para águas naturais, de 0,5 ppb apresentado por Trefry & Presley<sup>7</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983).

---

<sup>6</sup> KENNEDY, V.C.; ZELLWEGER, G.W.; JONES, B.F. 1974. Filter Pore-Size Effects on the Analysis of Al, Fe, Mn, and Ti in Water. *Water Resour. Res.* 10:785-790.

<sup>7</sup> TREFRY, J.H. & PRESLEY, B.J. 1976. Heavy Metal Transport from the Mississippi River to the Gulf of Mexico. In: WINDOM, H.L. & DUCE, R.A. (eds.). *Marine Pollutant Transfer*. Lexington Books. pp.39-76.

O valor limiar é de 16,8 ppb e separa duas amostras anômalas, a RA-20 e a LA-33 (Figura 9).

### 5.2.7 Arsênio (As)

Aplicando uma transformação logarítmica nos dados geoquímicos para arsênio se obtém uma distribuição unimodal com uma média de 0,6 ppb, valor que entra no intervalo de *background* local medido (< 0,5 - 0,74 ppb) e que está abaixo do valor médio de 2 ppb para águas naturais, publicado por Kanamori & Sugawara<sup>8</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983).

O valor limiar de 1,3 ppb separa quatro amostras anômalas: RA-6, LA-33, LA-35 e LA-37 (Figura 9).

### 5.2.8 Ferro (Fe)

Os dados para o ferro foram transformados logaritmicamente e se obteve uma distribuição unimodal com uma média de 0,2 ppm, que difere do *background* local medido (< 0,1 ppm) e é maior do que o limite de 30 ppb, dado para águas naturais por Kennedy *et al.*<sup>9</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983). O valor limiar de 1,9 ppm separa duas amostras anômalas: RA-7 e LA-33 (Figura 9).

---

<sup>8</sup> KANAMORI, S. & SUGAWARA, K. 1965. Geochemical Study of Arsenic in Natural Waters, Part 2: Arsenic in River Water. *Res. Lab. Rep., Fac, Sci., Nagoya Univ.* 13:36-45.

<sup>9</sup> KENNEDY, V.C.; ZELLWEGER, G.W.; JONES, B.F. 1974. Filter Pore-Size Effects on the Analysis of Al, Fe, Mn, and Ti in Water. *Water Resour. Res.* 10:785-790.

### 5.2.9 Ouro (Au)

Sem aplicar nenhuma transformação aos dados geoquímicos para ouro, obteve-se uma distribuição bimodal, com uma população de *background* que contém 85 % dos dados e uma população de valores altos com os 15 % restantes. A média da população de *background* (0,04 ppb) entra no intervalo de *background* local medido (0,04 - 0,18 ppb) e excede o valor médio de 0,01 ppb relatado por Crocket<sup>10</sup> apud FÖRSTNER & WITTMANN (1983) para águas naturais. A segunda população apresenta uma média de 0,14 ppb.

O valor limiar de 0,18 ppb separa uma amostra anômala, a GA-43 (Figura 9).

### 5.3 RESULTADOS NOS SEDIMENTOS

FÖRSTNER & WITTMANN (1983) apresentam uma discussão a respeito da escolha dos valores de *background* para elementos químicos nos sedimentos e concluem que o melhor é se fazer comparações com os conteúdos de elementos em folhelhos fósseis, onde a contaminação antropogênica é mínima. Com base no anterior, como valores de *background* foram tomados os publicados por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) e medições recentes feitas por SALOMONS & FÖRSTNER (1984).

---

<sup>10</sup> CROCKET, J.H. 1974. Gold - Abundance in Natural Waters and in the Atmosphere. In: WEDEPOHL, K.H. (ed.). **Handbook of Geochemistry**. New York. Springer-Verlag. Vol. 79-I. 6 p.

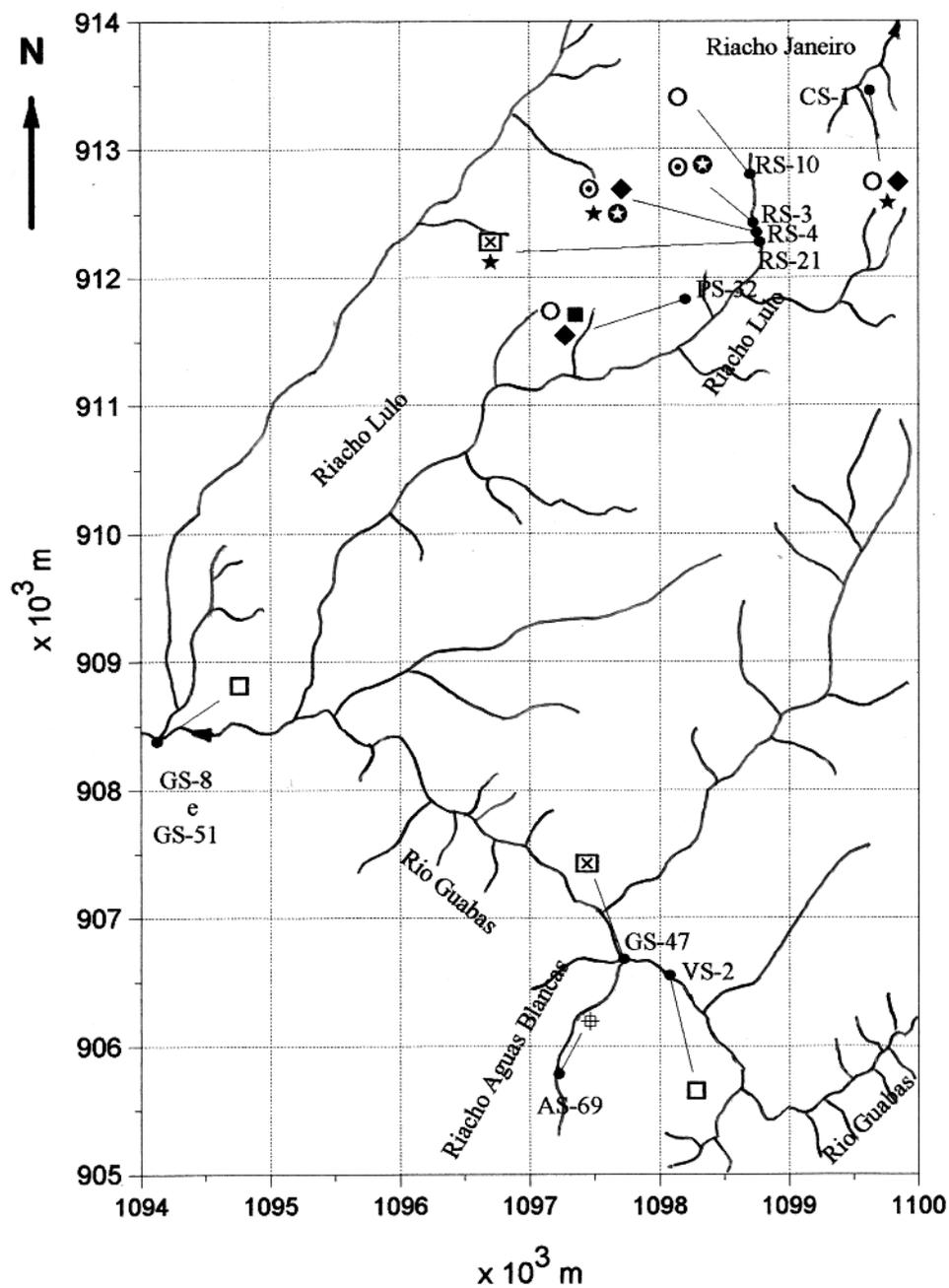
Os parâmetros estatísticos obtidos para os sedimentos de corrente da área de Ginebra são apresentados na Tabela 4. À semelhança das águas, foram coletadas amostras como referência do *background* local na nascente do Riacho Lulo (amostra RA-10) e ao longo do Riacho Aguas Blancas (amostras AS-66, AS-69, AS-71 e AS-74) (Figura 8).

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos básicos para os elementos químicos analisados nos sedimentos de corrente coletados no Distrito Aurífero de Ginebra. Os cálculos foram feitos após eliminação dos valores *outliers*.

Elemento	Unid.	Transf.	% Popula.	Média	Des. Pad.	Threshold
Cu	ppm	Aritm.	100	68,3	20,8	109,9
Pb <sub>1</sub>	ppm	Log.	40	19,7	8,0	35,7
Pb <sub>2</sub>	ppm	Log.	60	97,6	39,6	*137,2
Zn	ppm	Log.	100	40,2	6,7	53,7
Ni <sub>1</sub>	ppm	Aritm.	65	37,3	10,6	58,4
Ni <sub>2</sub>	ppm	Aritm.	35	73,9	9,7	*83,6
Co	ppm	Aritm.	100	23,3	6,0	35,3
Mn	ppm	Aritm.	100	354,7	197,0	748,7
Fe	%	Aritm.	100	3,9	0,5	4,9
Au	ppm	Log.	100	0,2	1,9	4,1
Hg	ppb	Log.	100	210,5	566,3	1343,1
As <sub>1</sub>	ppm	Log.	45	1,4	0,8	3,1
As <sub>2</sub>	ppm	Log.	55	9,3	10,5	*19,8
Cr	ppm	Log.	100	96,2	312,7	408,9
Cd	ppm	Log.	100	1,0	0,1	1,2

<sup>1</sup> e <sup>2</sup>: Populações 1 e 2, respectivamente.

\*: *Threshold* calculado pela soma da média mais um desvio padrão.



**Figura 10.** Mapa de anomalias para os elementos químicos analisados em sedimentos de corrente no Distrito Aurífero de Ginebra. ●: ponto de amostragem; ○: Cu > 109,9 ppm; ⊙: Pb > 137,2 ppm; ⊠: Zn > 53,7 ppm; □: Ni > 83,6 ppm; ■: Co > 35,3 ppm; ⊕: Mn > 748,7 ppm; ◆: Au > 4,1 ppm; ★: As > 19,8 ppm; e ⊗: Hg > 1343,1 ppb. Coordenadas tomadas das cartas topográficas IGAC 280-II-A e IGAC 280-II-C.

Os valores obtidos para prata (Ag) situam-se próximos ao limite de detecção de 1 ppm do método e não foram tratados estatisticamente.

### 5.3.1 Cobre (Cu)

Os dados para o cobre foram tratados sem aplicar neles nenhuma transformação e obteve-se uma distribuição unimodal com média de 68,3 ppm, que não difere do intervalo de *background* local medido (37 - 121 ppm) e do valor de *background* para sedimentos (31 ppm) relatado por SALOMONS & FÖRSTNER (1984), e um valor limiar de 109,9 ppm, que separa três amostras anômalas: CS-1, RS-10 (que é uma das amostras tidas como referência) e PS-32 (Figura 10).

### 5.3.2 Chumbo (Pb)

No caso do chumbo, os dados foram transformados logaritmicamente e se obteve uma distribuição bimodal, com uma população de valores baixos que abrange o 40 % dos dados e tem uma média de 19,7 ppm (valor maior que 14 - 18 ppm, que é o intervalo de *background* local medido) e uma população de valores altos, com uma média de 97,6 ppm.

A média da primeira população concorda com o *background* de 20 ppm para sedimentos, relatado por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961). O valor limiar de 137,2 ppm separa duas amostras: RS-3 e RS-4 (Figura 10).

### 5.3.3 Zinco (Zn)

Nos dados de zinco, aplicou-se uma transformação logarítmica e obteve-se uma distribuição unimodal com uma média de 40,2 ppm, que excede um pouco o intervalo de *background* local medido (31 - 40 ppm) e é menor que o *background* de 95 ppm, publicado para sedimentos por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), e um valor limiar de 53,7 ppm, que separa duas amostras anômalas: RS-21 e GS-47 (Figura 10).

### 5.3.4 Níquel (Ni)

Os dados para níquel, sem transformação, apresentam uma distribuição bimodal. Uma população de valores baixos com 65 % dos dados e média de 37,3 ppm, menor que o intervalo de *background* local medido (50 - 63 ppm) e maior que o *background* de 32 ppm para sedimentos, segundo SALOMONS & FÖRSTNER (1984). A população de valores altos, com 35 % dos dados, tem média de 73,9 ppm.

O valor limiar é de 83,6 ppm e separa três amostras anômalas: VS-2, GS-8 e GS-51 (Figura 10).

### 5.3.5 Cobalto (Co)

A distribuição dos dados para cobalto é unimodal, com média de 23,3 ppm, valor menor que o intervalo de 30 - 32 ppm, correspondente ao *background* local

medido e maior que o *background* para sedimentos de 13 ppm, apresentado por SALOMONS & FÖRSTNER (1984), e um valor limiar de 35,3 ppm, que separa uma amostra anômala, a PS-32 (Figura 10).

### 5.3.6 Manganês (Mn)

Os dados diretos geoquímicos do manganês apresentam uma distribuição unimodal com média de 354,7 ppm, valor menor que o intervalo de *background* local medido (630 -780 ppm). A média é menor que 600 ppm, o *background* para sedimentos publicado por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961).

O valor limiar é de 748,7. Neste caso, o intervalo de *background* local medido já contém anomalias e o valor limiar separa só uma amostra, que está contida no intervalo, a AS-69 (Figura 10).

### 5.3.7 Ferro (Fe)

Os resultados obtidos para o ferro apresentam uma distribuição unimodal, com média de 3,9 %, que entra no intervalo de *background* local medido (3,7 - 4,6 %) e é ligeiramente menor que o *background* estabelecido por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) para sedimentos (4,72 %), e um valor limiar de 4,9 %.

Nenhuma das amostras de sedimento analisadas para ferro apresenta quantidade anômala.

### 5.3.8 Ouro (Au)

Os dados de ouro, com transformação logarítmica, apresentam uma distribuição unimodal com média de 0,2 ppm, que excede o intervalo de *background* local medido (< 0,05 - 0,23 ppm), e valor limiar de 4,1 ppm que separa três amostras anômalas: a CS-1, a RS-4 e a PS-32 (Figura 10). O valor de *background* relatado por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) é da ordem de dezenas de ppb, ou seja 0,0X ppm.

### 5.3.9 Mercúrio (Hg)

Para o mercúrio, os dados foram transformados logaritmicamente e obteve-se uma distribuição unimodal com média de 210,46 ppb, valor que faz parte do intervalo de *background* local medido (89 - 349 ppb), e um valor limiar de 1343,1 ppb que separa duas amostras anômalas: RS-3 e RS-4 (Figura 10). O valor de *background* para sedimentos, publicado por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) é de 0,2 ppm.

### 5.3.10 Arsênio (As)

A transformação logarítmica foi aplicada nos resultados para arsênio, obtendo-se uma distribuição bimodal, com uma população de baixos valores, que abrange 45% dos dados e tem uma média de 1,4 ppm, valor menor que 13 ppm, o *background* para sedimentos estabelecido por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), e está no interior do intervalo de *background* local medido (1 - 3 ppm). A população

de valores altos, com média de 10,5 ppm, contém o 55 % restante de dados.

O valor limiar de 19,8 ppm separa três amostras anômalas: a CS-1, a RS-4 e a RS-21 (Figura 10).

### 5.3.11 Cromo (Cr)

Com transformação logarítmica, os dados do cromo apresentam uma distribuição unimodal, com média de 96,2 ppm, valor que está abaixo do intervalo de *background* local medido (146 - 311 ppm) e é maior que o *background* para sedimentos (60 ppm) publicado por SALOMONS & FÖRSTNER (1984), e um valor limiar de 408,9 ppm. Nenhuma das amostras apresenta anomalia local para cromo.

### 5.3.12 Cadmio (Cd)

Os dados para cadmio foram transformados logaritmicamente e obteve-se uma distribuição unimodal com média de 1,0 ppm, valor no interior do intervalo de *background* local medido (0,9 - 1 ppm), mas, esse valor excede os 0,3 ppm do valor de *background* para sedimentos estabelecido por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961).

Nenhuma amostra apresenta valor maior que o limiar de 1,2 ppm.

## 5.4 DISCUSSÃO

As águas do Distrito Aurífero de Ginebra são desde levemente ácidas até um pouco básicas, com pH entre 6,71 e 8,09, a exceção das amostras RA-7 e RA-20 (Figura 7), que têm pH de 5,16 e 4,0, respectivamente.

A condição de águas fracamente ácidas diminui amplamente a mobilidade dos elementos químicos e permite que alguns deles alcancem o seu ponto de hidrólise e precipitem, diminuindo sua concentração em solução. As correlações fortemente negativas entre o pH e os elementos próprios das rochas básicas e ultrabásicas (Ni, Co, Mn, Cr), percorridas pelas drenagens, confirma o anterior (Tabela 5). No caso do Cu e Fe, embora apresentem-se em altas concentrações nas mesmas rochas, não têm correlações tão negativas com o pH, provavelmente devido a que parte do  $Cu_{(total)}$  e  $Fe_{(total)}$  é proveniente dos sulfetos (pirita ( $FeS_2$ ), calcopirita ( $CuFeS_2$ ), arsenopirita ( $FeAsS$ ), esfalerita ( $Zn,Fe,Cd$ )S) produzidos pela alteração hidrotermal, fato evidenciado nas correlações altamente positivas entre Cu-Pb, Cu-As, Cu-Fe, Fe-Pb e Fe-As (Tabela 5).

Contudo, dos dez elementos analisados nas águas (Cu, Pb, Ni, Co, Mn, Cr, As, Fe, Au e Hg), a exceção do Hg, cujas concentrações estão abaixo do limite de detecção do método analítico, e do As, todos apresentam valores de *background* locais, medidos e calculados, maiores que o *background* mundial para águas naturais relatados por FÖRSTNER & WITTMANN (1983), conferindo às águas do setor um relativo carácter anômalo.

**Tabela 5.** Matriz de coeficientes de correlação para os elementos químicos analisados nas águas do Distrito Aurífero de Ginebra.

	Cu	Pb	Ni	Co	Mn	Cr	As	Fe	Au	pH
Cu	1,000									
Pb	0,952	1,000								
Ni	0,317	0,431	1,000							
Co	0,063	0,169	0,914	1,000						
Mn	0,055	0,163	0,914	0,998	1,000					
Cr	0,164	0,262	0,923	0,992	0,986	1,000				
As	0,928	0,892	0,199	-0,038	-0,056	0,061	1,000			
Fe	0,921	0,946	0,228	-0,002	-0,008	0,107	0,880	1,000		
Au	-0,196	-0,323	-0,225	-0,245	-0,242	-0,268	-0,231	-0,293	1,000	
pH	0,286	-0,361	-0,815	-0,888	-0,895	-0,896	-0,171	-0,221	0,267	1,0000

A pesar das águas do distrito ter um *background* local com valores altos, tem-se também anomalias locais. Na Figura 9 pode-se observar que quase todas as anomalias estão relacionadas com as áreas de descarga de rejeitos de minas ativas, onde os efluentes líquidos apresentam uma maior acidez, devido à oxidação dos sulfetos que compõem a mineralização. A moagem do minério aumenta a superfície de exposição dos sulfetos que, ao reagirem com a água, produzem ácido sulfúrico, ou seja, liberam ions  $H^+$  nas águas, tornando-as mais ácidas, mais agressivas quimicamente, o que leva a uma maior concentração de elementos em solução.

Ainda que conteúdos um pouco altos de alguns elementos nas águas, como Cu, Ni, Co, Mn, Fe, representem pouco risco para à saúde humana, concentrações altas de Cr, Pb, As e Hg são muito perigosas.

A presença de altas concentrações de Cu em águas para consumo doméstico sofrem restrição mais sob o ponto de vista estético, pois causa sabor desagradável e forma  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , que aumenta a turbidez (SHUVAL, 1965). A deficiência de Cu nos humanos produz anemia nutricional e ingestões elevadas causa danos ao fígado.

No caso do chumbo, verifica-se uma baixa mobilidade nas águas naturais, o que diminui sua concentração em solução (HEM, 1970). No entanto, a periculosidade do chumbo, à semelhança do mercúrio, reside na sua bioacumulação, ou seja, pode alcançar limites tóxicos através da ingestão de pequenas doses isoladas não tóxicas. Após a ingestão pelos humanos, o chumbo transporta-se nos eritrócitos do sangue e acumula-se nos tecidos ósseos. Concentrações tóxicas no sangue de 80 - 100 ppm, ou maiores, causam anemia, seguida de encefalopatia e parada cardíaco-respiratório, assim como a ingestão oral de elevadas doses de chumbo, absorvido em forma de óxidos, carbonatos e outros compostos solúveis em água, através do trato digestivo, causa problemas gastrointestinais graves (ALBERT, 1988).

Pouco se conhece dos problemas que tem origem em altas concentrações de zinco nas águas potáveis, mas SANDSTEAD (1974), com base em relatórios de outros autores, publicou que a deficiência de Zn na nutrição humana causa falhas no crescimento, infantilismo sexual e perda dos sentidos de gosto e sabor, assim como, falhas na síntese de DNA, RNA, proteínas e colágeno.

O manganês e o ferro são metais que oxidam facilmente nas águas, passando a  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ , e tendem a formar partículas coloidais que adsorvem outros metais, tais como Ni e Co, diminuindo suas concentrações em solução. Nas estações de

tratamento d'água, a presença de Mn e Fe favorece o crescimento de bactérias que danificam os filtros e obstruem canalizações (RODIER, 1981).

Nas águas naturais, os teores de Ni são maiores que os de Co (HEM, 1970) e raramente ocorrem em concentrações elevadas. Os sais de Ni são pouco tóxicos, mas doses de Co de 1 a 6 ppm/dia provocam graves intoxicações em crianças.

O perigo da absorção de arsênio em humanos, por inalação, ingestão ou pela pele, reside na possibilidade de se formarem compostos orgânicos lipossolúveis, que penetram nas membranas biológicas com maior facilidade do que os compostos inorgânicos. Após a absorção, o arsênio concentra-se nos leucócitos e acumula-se no fígado, rins, pulmões, dentes, unhas e pele, produzindo danos gastrointestinais, danos renais, vasodilatação, anormalidades cardíacas, depressão, parálise da respiração, des-coordenação de movimentos, câncer, mutações e efeitos teratogênicos (alteração na formação armônica do produto da concepção), tais como má-formação, diminuição de tamanho, morte perinatal e fetal e abortos espontâneos (ALBERT, 1988)

Os compostos de cromo, quando ingeridos pelos humanos, podem danificar vários sistemas, produzindo danos gastrointestinais, insuficiências hepato-renais e lesões nasais, cutâneas, hepáticas e renais (ALBERT, 1988). As formas trivalentes do cromo são hidrolisadas completamente sob as condições de águas naturais, precipitando como hidróxido, daí à sua pouca ocorrência em solução (SHUVAL, 1965), mas a possibilidade de formar sais hexavalentes representa um alto risco, pois produzem câncer de pulmão, cavidades nasais e seios paranasais (ALBERT, 1988).

A solubilidade das sais de cádmio em água é variável. Os sulfetos, nitratos e halogenetos são relativamente solúveis, enquanto os óxidos, hidróxidos e carbonatos são muito pouco solúveis. Segundo ALBERT (1988), o cádmio pode ser inalado por via respiratória, depositando-se nos alvéolos pulmonares, ou por via oral, onde a absorção é quatro vezes maior em indivíduos com deficiência de Fe no sangue. Quando chega ao sangue, o cádmio circula pelo organismo e se deposita principalmente no fígado e rins.

O mercúrio é um metal usado em áreas de garimpo (para amalgamar o ouro livre) que representa o maior perigo, caso ocorra contaminação, devido à sua bioacumulação e as graves doenças que ele provoca na saúde humana, razão porque neste trabalho deu-se muito ênfase à avaliação desse metal.

Tanto o mercúrio metálico como compostos alquilmercuriais e certas formas inorgânicas do mercúrio (como cloreto mercúrico) podem ser absorvidos através da pele, ou por vias inalatória e digestiva, entrar na corrente sanguínea e se distribuir por todo o organismo e, ao chegar no cérebro, ionizar e unir-se às proteínas do cérebro, destruindo neurônios do cerebelo e produzindo danos morfológicos, eletrofisiológicos e bioquímicos no sistema nervoso, antes de aparecerem os sintomas de intoxicação (ALBERT, 1988).

A fonte antropogênica do mercúrio evidencia-se na Tabela 6, onde o mercúrio apresenta correlações negativas com o Ni, Co, Mn e Cr, enquanto que, apresenta correlação positiva com o Au, indicando perdas na recuperação do amálgama Hg-Au. Ademais, nas rochas mineralizadas amostradas na mina El Retiro, o conteúdo de

mercúrio está entre < 50 - 90 ppb, com 70 % das amostras < 50 ppb (Anexo B), descartando a rocha como possível fonte desse metal.

**Tabela 6.** Matriz de correlação para os elementos químicos analisados nos sedimentos do Distrito Aurífero de Ginebra.

	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	Au	Hg	As	Cr	Cd
<b>Cu</b>	1,000											
<b>Pb</b>	0,126	1,000										
<b>Zn</b>	-0,059	0,105	1,000									
<b>Ni</b>	-0,289	-0,591	-0,174	1,000								
<b>Co</b>	0,462	-0,567	-0,191	0,251	1,000							
<b>Mn</b>	-0,182	-0,691	-0,270	0,576	0,713	1,000						
<b>Fe</b>	-0,066	-0,172	0,028	0,152	0,273	0,354	1,000					
<b>Au</b>	0,648	0,478	0,024	-0,611	0,045	-0,449	-0,016	1,000				
<b>Hg</b>	-0,062	0,514	-0,018	-0,344	-0,420	-0,347	0,312	0,592	1,000			
<b>As</b>	0,340	0,555	0,245	-0,590	-0,391	-0,622	-0,164	0,675	0,619	1,000		
<b>Cr</b>	-0,509	-0,608	-0,156	0,625	0,350	0,795	0,183	-0,630	-0,248	-0,519	1,000	
<b>Cd</b>	0,100	0,306	0,088	0,056	0,013	0,060	0,169	0,157	0,184	0,118	0,097	1,000

Nas águas naturais, o mercúrio existe em três estados: como mercúrio elementar ( $Hg^0$ ), estado mercurioso ( $Hg^{1+}$ ) ou como estado mercúrico ( $Hg^{2+}$ ) e a abundância de cada um deles depende do pH, do potencial redox (Eh) e da concentração de ânions com os que o mercúrio forma complexos estáveis (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984). Jonasson & Boyle<sup>11</sup> *apud* FÖRSTNER & WITTMANN (1983), relataram que o mercúrio dissolvido é rapidamente adsorbido aos sedimentos, daí a necessidade de métodos para sedimentos hidroquímicos nas análises de material particulado (argilas, óxidos de ferro, matéria orgânica, etc.).

<sup>11</sup> JONASSON, I.R. & BOYLE, R.W. 1972. Geochemistry of Mercury and Origins of Natural Contamination of the Environment. *CIM Trans.* 75:8-15

Segundo medições feitas nesse estudo, após a descarga de efluentes da mina El Retiro, o Riacho Lulo, com vazão aproximado de 11,6 l/seg, carrega 34,3 g/l de sedimentos em suspensão, dos quais 80 % é < 80 *mesh*. A composição destes sedimentos é apresentada na Tabela 7, onde pode-se apreciar um conteúdo de mercúrio de 1,2 ppm e conteúdos altos para As, Au, Cu, Ni e Pb, se comparados com os sedimentos de corrente.

**Tabela 7.** Concentrações de metais em sedimentos em suspensão obtidos a partir da amostra de água RA-20, no Distrito Aurífero de Ginebra.

<b>Elem.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Conc.</b>
<b>Ag</b>	ppm	3
<b>As</b>	ppm	27
<b>Au</b>	ppm	1,5
<b>Cd</b>	ppm	1
<b>Co</b>	ppm	25
<b>Cr</b>	ppm	380
<b>Cu</b>	ppm	201
<b>Fe</b>	%	5,2
<b>Hg</b>	ppm	1,2
<b>Mn</b>	ppm	390
<b>Ni</b>	ppm	114
<b>Pb</b>	ppm	618
<b>Zn</b>	ppm	99

Das 27 amostras coletadas de sedimentos de corrente, quatro apresentam valores acima de 1000 ppb (RS-3, RS-4, RS-21 e LA-42) e, destas, duas estão acima

do valor limiar local (calculado em 1343,1 ppb): a RS-3 e a RS-4, com conteúdos de mercúrio de 8170 e 17516 ppb, respectivamente.

Para observar as variações verticais das concentrações dos metais, a INGEOMINAS fez na área de trabalho amostragem de quatro locais, três nos arredores do moinho abandonado da mina Lulos e um na mina El Retiro, onde coletaram-se amostras de solo a diferentes profundidades, em cada ponto (fato observado na caderneta de campo do Projeto INGEOMINAS-P94Q01). Nos solos amostrados pela INGEOMINAS a média das concentrações de mercúrio em amostras do horizonte B do solo é de 317,6 ppb (Anexo B).

Segundo os resultados apresentados na Tabela 8, existe uma maior concentração de mercúrio nos níveis superiores do solo, concordando com o publicado por LOUCHOUARN *et al.* (1993), para quem o mercúrio não é afetado pelos procesos de lixiviação que levam o Fe para o horizonte de acumulação (horizonte B) e o confinamento do mercúrio no horizonte A indica uma forte associação entre este metal e a matéria orgânica. O perigo que oferece esta associação é que, segundo Evans<sup>12</sup> e McMurty *et al.*<sup>13</sup> *apud* LOUCHOUARN *et al.* (1993), o intemperismo e o escoamento sobre solos com matéria orgânica rica em mercúrio são a principal fonte deste metal nos ambientes lacustres.

---

<sup>12</sup> EVANS, R.D. 1986. Sources of Mercury Contamination in the Sediments of Small Head Water Lakes in South-Central Ontario, Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 15:505-512.

<sup>13</sup> McMURTY, M.J.; WALES, D.L.; SCHEIDER, W.A.; BEGGS, G.L.; DIMOND, P.E. 1989. Relationship of Mercury Concentration in Lake Trout (*Salvelinus namaycush*) and Smallmouth Bass (*Micropterus dolomieu*) to the Physical and Chemical Characteristics of Ontario Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46:426-434.

**Tabela 8.** Concentração em ppb de Hg<sub>(TOTAL)</sub> segundo a profundidade, em quatro locais amostrados no Distrito Aurífero de Ginebra. Informação tomada dos resultados obtidos pela INGEOMINAS na área, relatados por BUENAVENTURA & GONZALEZ (1994).

Profundidade (cm)	Mina Lulos			Mina El
	LSO- 3	LSO-5	LSO- 8	Retiro RSS-23
0 - 5	3920	600	1240	363
5 - 10	2080	920	860	183
10-15	1420	n. d.	670	189
Horizonte B	n. d.	n. d.	n. d.	170

n. d.: Não determinado.

No Distrito Aurífero de Ginebra, o amálgama Hg-Au é queimado ao ar livre (com exceção da mina La Victoria, onde é usada a retorta) para recuperar o Au, sem a preocupação com as emissões de mercúrio ao ambiente. Esse fato unido aos resultados apresentados na Tabela 8 permitem deduzir a possibilidade de transporte aéreo de mercúrio na área de trabalho.

Segundo Van Horn<sup>14</sup> *apud* LINDBERG (1987), as emissões de mercúrio à atmosfera, a partir das áreas de exploração mineira e refinamento de minérios, perfazem cerca de 12 % das emissões antropogênicas globais ao ar. O tempo de residência do mercúrio no ar ainda não está bem definido pelos diferentes autores:

<sup>14</sup> VAN HORN, W. 1975. **Material Balance and Technology Assessment of Mercury and its Compounds on National and Regional Bases.** Environmental Protection Agency EPA 560/3-75-007. USEPA. Washington, D.C. 293 p.

alguns minutos (Stevens *et al.*<sup>15</sup> *apud* LINDBERG, 1987), 0,03 a 0,1 anos (WEISS *et al.*, 1971; Andren & Nriagu<sup>16</sup> *apud* LINDBERG, 1987) e 0,7 a 2 anos (Slemr *et al.*<sup>17</sup> e Fitzgerald *et al.*<sup>18</sup> *apud* LINDBERG, 1987), são algumas das propostas.

Por outro lado, grandes blocos encontrados nos leitos dos riachos evidenciam que, em temporadas de chuvas, a maior quantidade de água, unida aos fortes declives dos percursos dos riachos, produz avalanches de mediana proporção (dado confirmado com moradores do setor). Este fato permite pensar no risco potencial do deslocamento das anomalias, produto da remobilização mecânica dos sedimentos, até encontrar variações de pH e Eh que solubilizem e reiniciem os ciclos dos metais pesados contidos neles.

Dos elementos químicos analisados nos sedimentos, o Cu e o Mn apresentaram uma característica diferente. Para cada um deles, uma das amostras consideradas como de *background* local (a RS-10, para o Cu, e a AS-69, para o Mn) mostrou conteúdos que ultrapassaram os valores limiares calculados, indicando a possibilidade de se tratar de falsas anomalias ou, no caso do Cu, de um maior aporte desse metal, produto do intemperismo químico e físico da rocha alterada hidrotermalmente. O ponto desfavorável para esta última possibilidade é que ela

---

<sup>15</sup> STEVENS, R.D.S.; REID, N.W.; SCHROEDER, W.H.; McLEAN, R.A.N. **The Chemical Forms and Lifetimes of Mercury in the Atmosphere**. Presentation to the 65<sup>th</sup> Canadian Chemical Conference, Toronto, Canada, May, 1982.

<sup>16</sup> ANDREN, A.W. & NRIAGU, J.O. 1979. The Global Cycle of Mercury. In: NRIAGU, J.O., ed. **The Biogeochemistry of Mercury in the Environment**. Amsterdam. Elsevier/North Holland Biomedical Press. pp. 1-21.

<sup>17</sup> SLEMR, F.; SEILER, W.; SCHUSTER, G. 1981. Latitudinal Distribution of Hg Over the Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 86:1159-1166.

<sup>18</sup> FITZGERALD, W.F.; GILL, G.A.; HEWITT, A.D. 1983. Air-Sea Exchange of Mercury. In: WONG, C.S.; BOYLE, E.; BRULAND, K.W.; BURTON, J.D.; GOLDBERG, E.D. (eds.). **Trace Metals in Sea Water**. New York. Plenum Publishing Corp. pp. 297-316.

significaria também um aumento no conteúdo dos outros metais que são liberados após a decomposição dos sulfetos, pelo menos dos mais imóveis (Cd, Pb, Au), fato que não ocorre.

O ouro presente nos sedimentos tem como fonte a alteração hidrotermal, fato evidenciado nas correlações positivas Au-As, Au-Cu e Au-Pb (Tabela 6). Mas, o beneficiamento rudimentar do ouro no distrito permite grandes perdas do metal, encontrando-se concentrações de até aproximadamente 5 ppm de Au em sedimentos de corrente nos locais de descarga de rejeitos de mina (amostra CS-1, para a mina Cueva Loca; amostra RS-4 para a mina El Retiro; e amostra PS-32, para a mina El Peñón), e 1,5 ppm na amostra de sedimentos em suspensão.

No caso do Cd, este metal aparece em quantidades muito pequenas nos sedimentos (ao redor de 1 ppm), indicando a pouca formação de esfalerita na alteração hidrotermal. Os baixos teores de Zn e o baixo coeficiente de correlação entre os dois metais confirmam o anterior. Esses dois metais praticamente não oferecem perigo algum na área, o que não acontece com o As, Cr e Pb que estão oferecendo o maior risco potencial de contaminação das águas do distrito.

O fato do cromo não estar relacionado com processos hidrotermais (GOLDSCHMIDT, 1958) e as altas concentrações do metal no intervalo de *background* local medido, assinalam as rochas máficas e ultramáficas do Maciço Ofiolítico de Ginebra como a sua fonte.

Como já foi citado anteriormente, a moagem do minério aumenta a superfície dos minerais presentes nele, acelerando a oxidação dos mesmos. Este processo explica a presença de As e Pb como produto da oxidação da arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) e galena ( $\text{PbS}$ ), minerais que formaram-se a partir da alteração hidrotermal presente na área (BUENAVENTURA & GONZALEZ, 1994).

Apesar do arsênio ser relativamente móvel em soluções ácidas no ambiente secundário, em soluções levemente ácidas, neutras ou alcalinas o arsênio solúvel passa a ser relativamente imóvel devido à fixação nos óxidos hidratados de ferro e aos fenômenos de hidrólise (GOLDSCHMIDT, 1958; BOYLE & JONASSON, 1973). Este fato explicaria as maiores concentrações do metal nas cercanias das descargas mineiras, onde estão concentradas as partículas coloidais de  $\text{Fe}^{3+}$  formadas a partir da oxidação do ferro liberado na decomposição dos sulfetos deste metal presentes no minério.

No caso do chumbo, no ambiente secundário este metal forma facilmente cátions de soluto que reagem com os ânions presentes, para formar compostos insolúveis, como ocorre quando a galena ( $\text{PbS}$ ) oxida-se, formando ions divalentes de chumbo que ligam-se com os ions sulfato para formar anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) (GOLDSCHMIDT, 1958; LEVINSON, 1980). Segundo WEDEPOHL (1974), a adsorção do chumbo nas argilas e nas substâncias orgânicas, onde o chumbo assume-se adsorbido como  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  (aq.),  $\text{PbCO}_3$  (aq.) ou como  $\text{Pb}^{2+}$ , controlam as concentrações desse metal nas águas naturais.

Todo o anterior deve-se ter em conta quando as águas vão ser utilizadas para consumo humano. A Tabela 9 apresenta uma comparação entre as concentrações máximas recomendadas por WHO (1984), para os elementos químicos analisados, e os conteúdos obtidos nas análises das duas amostras (GA-10 e GA-50) coletadas no ponto de captação de águas para os aquedutos municipais de Ginebra e Guacará.

**Tabela 9.** Comparação entre as concentrações recomendadas por WHO (1984), para os elementos analisados nas águas do Distrito Aurífero de Ginebra, e as obtidas nas amostras tomadas no ponto de captação de água para os municípios de Ginebra e Guacará.

<b>Elemento</b>	<b>Conc. Recom. (ppm)</b>	<b>GA-10 (ppm)</b>	<b>GA-50 (ppm)</b>
<b>As</b>	0,05	0,00056	0,00056
<b>Au</b>	-	0,000002	0,000060
<b>Co</b>	-	< 0,005	< 0,005
<b>Cr</b>	0,05	< 0,005	< 0,005
<b>Cu</b>	1,0	0,01045	0,01245
<b>Fe</b>	0,3	0,1	0,1
<b>Hg</b>	0,001	< 0,0005	< 0,0005
<b>Mn</b>	0,1	0,02344	0,01675
<b>Ni</b>	-	< 0,005	< 0,005
<b>Pb</b>	0,05	0,00565	0,00358

Apesar dos metais pesados apresentarem valores anômalos locais, em algumas das amostras de água analisadas, na Tabela 9 observa-se que todos esses valores

descem a níveis permissíveis quando a água chega à captação para os aquedutos. Este fato pode ser explicado por variações do pH. Como foi discutido anteriormente, as anomalias estão associadas com águas que variam de levemente ácidas a ácidas, mas, a condição do pH *background* variar de levemente básico a básico faz que rapidamente os metais em solução consigam o seu pH de hidrólise (relatados na Tabela 10) e precipitem, passando a formar parte dos sedimentos de corrente e deixando a água apta para o consumo humano; em outras palavras, a barreira geoquímica do pH funcionaria como um filtro natural para metais em solução.

**Tabela 10.** Precipitação como hidróxidos de alguns metais em solução, como função do pH. Dados relatados por Dean *et al.*<sup>19</sup> *apud* MOORE & MOORE (1976).

<b>Metal</b>	<b>pH</b>	<b>Metal</b>	<b>pH</b>
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	2,0	<b>Ni<sup>2+</sup></b>	6,7
<b>Al<sup>3+</sup></b>	4,1	<b>Cd<sup>2+</sup></b>	6,7
<b>Cr<sup>3+</sup></b>	5,3	<b>Zn<sup>2+</sup></b>	6,7
<b>Cu<sup>2+</sup></b>	5,3	<b>Co<sup>2+</sup></b>	6,9
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	5,5	<b>Hg<sup>2+</sup></b>	7,3
<b>Pb<sup>2+</sup></b>	6,0	<b>Mn<sup>2+</sup></b>	8,5

Os sedimentos confirmam o anterior. Todas as anomalias observadas neles (Figura 10) encontram-se nas águas abaixo dos pontos de descarga dos rejeitos de

<sup>19</sup> DEAN, J.G.; BOSQUI, F.L.; LANOUILLE, K.H. 1972. *Environ. Sci. Technol.*, 6(6):518-522.

minas. A distância entre a descarga e a anomalia depende do grau de mobilidade do elemento químico no ambiente secundário, do seu pH de hidrólise e da presença de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  em forma coloidal, que funcionam como excelentes fixadores de metais em solução.

Com exceção do mercúrio, todos os metais pesados presentes na área tem uma fonte natural que está sendo alterada pelos garimpeiros, aumentando as emissões ao ambiente, mas, o mercúrio tem uma fonte antropogênica que está pondo em risco a ecologia e a saúde da população dos municípios vizinhos. O mercúrio pode chegar a afetar diretamente à comunidade se ele entra nas águas de consumo doméstico; o risco é bastante alto quando se analisa a possibilidade de transporte aéreo, após a emissão na queima de amálgama Hg-Au, ou mecânico, adsorbido nos sedimentos.

A possibilidade de remobilização mecânica dos sedimentos de corrente com concentrações altas de metais pesados, unida à facilidade de transporte destes metais em sedimentos em suspensão ou por via aérea (no caso do mercúrio) e os altos declives topográficos do distrito, evidenciam o perigo potencial de contaminação por liberação de concentrações tóxicas de ditos metais em solução nas águas que estão consumindo os moradores dos municípios de Ginebra e Guacari.

Este risco pode ser minimizado construindo-se armadilhas hidráulicas para catar o mercúrio metálico nas águas, e barragens de retenção nas drenagens de descarga dos efluentes de mina, para reter e separar os rejeitos sólidos, antes de jogá-los aos riachos do setor. A queima dos amálgama Hg-Au usando retortas de

destilação reduz as emissões de mercúrio à atmosfera. Além disso, deve-se manter um controle contínuo na qualidade das águas para consumo doméstico, analisando os metais pesados tanto dissolvidos como adsorbidos nos sedimentos em suspensão.

Em resumo, pode-se dizer que, além da destruição dos recursos florestais por uso da madeira para construção de galerias, e do solo, no caso da exploração a céu aberto na mina El Retiro, o recurso hídrico está sofrendo um forte impacto pela atividade mineira na área. Os efluentes líquidos ácidos e os resíduos sólidos despejados nas bacias dos riachos estão aumentando os conteúdos de metais pesados dissolvidos nas águas e, devido à variação do pH de levemente básico a básico, os níveis destes metais nos sedimentos de corrente.

O anterior justifica o monitoramento contínuo dos conteúdos de metais pesados que chegam, em solução e em suspensão, à captação de água dos aquedutos dos municípios de Ginebra e Guacarí e a programação e execução de campanhas de conscientização e assessoramento tecnológico para os garimpeiros do distrito.

## 6. CONCLUSÕES

A alteração hidrotermal presente no maciço ofiolítico de Ginebra produziu uma mineralização aurífera que é explotada há quase um século, conhecida como Distrito Aurífero de Ginebra.

As amostras de água coletadas no distrito foram analisadas para As, Au, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni e Pb. A exceção do Au e do Hg, todos esses elementos em solução apresentaram concentrações anômalas locais em amostras de água relacionadas às descargas de efluentes mineiros. O mercúrio em solução nas águas não foi determinado devido às concentrações estarem abaixo do limite de detecção do método (0,5 ppb).

A oxidação dos sulfetos que contem o minério acidifica as águas perto das descargas mineiras e eleva as concentrações dos metais em solução até níveis perigosos para a saúde humana. O pH de *background* das águas do distrito, que varia de levemente básico a básico, funciona como uma barreira geoquímica, que abaixa as concentrações nas águas até níveis permissíveis para o consumo humano, enquanto aumenta as concentrações dos metais em sedimentos.

Os sedimentos de corrente amostrados foram analisados para Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn, e foram encontradas anomalias locais para As, Au, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn em águas localizadas abaixo das descargas de rejeitos mineiros, de acordo com o fato apresentado no parágrafo anterior. À semelhança do mercúrio nas águas, a Ag não foi determinada por

apresentar concentrações ao redor do limite de detecção de 1 ppm. A amostra de sedimento em suspensão analisada apresentou concentrações altas de As, Au, Cu, Fe, Hg, Ni e Pb, se comparada com as amostras de sedimentos de corrente.

A fonte do As, Au, Cu, Fe e Pb é a alteração hidrotermal dos sulfetos presentes na área, enquanto que o Co, Cr, Mn e Ni tem origem nas rochas básicas e ultrabásicas do maciço ofiolítico de Ginebra.

O mercúrio presente no distrito tem fonte antropogênica. A perda do mercúrio usado na amalgamação do ouro, na recuperação do ouro amalgamado e na queima do amálgama para purificação do metal precioso, são as fontes das emissões do mercúrio para as águas, sedimentos e ar.

A remobilização mecânica dos sedimentos de corrente com concentrações anômalas de metais pesados, até encontrar variações no pH e Eh, e o transporte aéreo do mercúrio, podem ser a fonte de contaminação das águas abaixo do Rio Guabas e da atmosfera das vizinhanças do distrito.

O beneficiamento rudimentar do minério de ouro, sem assessoria técnica, causa altas emissões de metais pesados ao ambiente e perdas na recuperação do ouro (as concentrações de ouro nos sedimentos despejados são ao redor de 5 ppm nos sedimentos de corrente e 1,5 ppm nos sedimentos em suspensão). Essas emissões põem em risco toda a cadeia alimentar e, por isso, devem ser controladas.

**Assistência técnica aos garimpeiros e monitoramento contínuo das águas para consumo doméstico nos municípios vizinhos ao Distrito Aurífero de Ginebra são recomendados.**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALBERT, L.A. 1988. **Curso Básico de Toxicología Ambiental**. 2. ed. México, D.F., Editorial Limusa. 311p.
- BOURGOIS, J.; AZEMA, J.; TOURNON, J.; BELLON, H.; CALLE, B.; PARRA, E.; TOUSSAINT, J.F.; GLACON, G.; FEINBERG, H.; DE WEVER, P.; ORIGILIA, I. 1982. Age et Structure des Complexes Basiques et Ultrabasiques de la Facade Pacifique entre 3°N et 12°N (Colombie, Panamá et Costa Rica). *Soc. Geol. de France Bull.*, 3:545-554.
- BOYLE, R.W. & JONASSON, I.R. 1973. The Geochemistry of Arsenic and its Use as an Indicator Element in Geochemical Prospecting. *Jour. Geoch. Expl.*, 2(3):251-296.
- BROOK, M. 1984. **New Radiometric Age Data from SW Colombia**. Santiago de Cali. INGEOMINAS-British Mision (B.G.S.). (Report, 10).
- BUENAVENTURA, J.A. & GONZALEZ, L.M. 1994. **Proyecto P94Q01. Movilizacion Geoquímica del Oro en Ambientes Tropicales. Fase II**. Santafé de Bogotá, D.C., INGEOMINAS. 120 p.
- CASE, J.E.; DURAN, L.G.; LOPEZ, A.; MOORE, W.R. 1971. Tectonic Investigations in Western Colombia and Eastern Panamá. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82:2685-2712.

- COLEMAN, R.G. 1977. **Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere?** Berlin, Springer-Verlag. 229 p.
- CONEY, P.J.; JONES, D.L.; MONGER, J.W.H. 1980. Cordilleran Suspect Terranes. *Nature*, 288 (27):329-333.
- DE ARMAS, M. 1984. **Geología de la Plancha 261-Tuluá.** Escala 1:100.000. Santiago de Cali. INGEOMINAS-British Mision (B.G.S.). 8p.
- DE ARMAS, M. 1986. **Preliminary Geochemical Prospecting in the Area Ginebra Valle-Colombia.** Santiago de Cali. INGEOMINAS-University of Leicester. 120 p.
- DUQUE-CARO, H. 1985. La Cuenca del Atrato en el Bloque del Chocó (Suramérica Nor-Occidental) y sus Implicaciones Estratigráficas y Estructurales. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 6., Santafé de Bogotá, D.C., 1985. **Memorias.** Santafé de Bogotá, D.C. I:61.
- ESPINOSA, A. 1985. El Macizo de Ginebra (Valle) una Nueva Secuencia Ofiolítica Sobre el Flanco Occidental de la Cordillera Central. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 6., Santafé de Bogotá, D.C., 1985. **Memorias.** Santafé de Bogotá, D.C. II:46-57.
- ETAYO-SERNA, F. *et al.* 1986. **Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia.** Santafé de Bogotá, D.C. INGEOMINAS. 235 p. (Publ. Esp. No. 14-I).

- EVANS, R.B.; AUCOTT, J.W.; BERMUDEZ, A. 1984. **Geophysical and Geological Studies in the Cauca Graben, Department of Valle del Cauca.** Santiago de Cali. INGEOMINAS-British Mision (B.G.S.).
- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G.T.W. 1983. **Metal Pollution in the Aquatic Environment.** 2. ed. Berlin, Springer-Verlag. 486 p.
- GARRET, R.H. 1984. Workshop 5: Threshold and Anomaly Interpretation. *Jour. Geoch. Expl.*, 21(1-3):137-142.
- GIBBS, R.J. 1977. Transport Phases of Transition Metals in the Amazon and Yukon Rivers. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88:829-843.
- GOLDSCHMIDT, V.M. 1958. **Geochemistry.** Oxford, Oxford University Press. 730 p.
- GOOSENS, P.J.; ROSE Jr., W.I.; FLORES, D. 1977. Geochemistry of Tholeiites of the Basic Igneous Complex of Northwestern South America. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 88:1711-1720.
- GOVINDARAJU, H. 1994. Compilation of Working Values and Sample Description for 383 Geostandards. *Geostandards Newsletters*, 18:1-158. Special Issue.

- HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. 1962. **Geochemistry in Mineral Exploration**. New York, Harper and Row. 415 p.
- HEM, J.D. 1970. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. 2 ed. Washington D.C., U.S. Government Printing Office. 1473 p.
- JONES, M.P. & BEAVEM, C.H.J. 1971. Sampling of Non-Gaussian Mineralogical Distributions. *Trans. Insti. Min. Met. (London)*, 80:8316-1323.
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F.A. 1965. **An Introduction to Statistical Models in Geology**. New York, McGraw-Hill. 475 p.
- LEPELTIER, C. 1969. A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation. *Econ. Geol.*, 64:538-550.
- LEVINSON, A.A. 1980. **Introduction to Exploration Geochemistry**. 2. ed. Chicago, Applied Publishing. 924 p.
- LINDBERG, S.E. 1987. Emission and Deposition of Atmospheric Mercury Vapor. *In: HUTCHINSON, T.C. & MEEMA, K.M. (eds.). 1987. Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*. Chichester, John Wiley & Sons. p. 89-106. (SCOPE 31).

- LOUCHOUARN, P.; LUCOTTE, M.; MUCCI, A.; PICHET, P. 1993. Geochemistry of Mercury in Two Hydroelectric Reservoirs in Quebec, Canada. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.*, 50(2):269-281.
- MCCOURT, W. J. 1984a. **The Geology of the Central Cordillera in the Departments of Valle del Cauca, Quindío and NW of Tolima (Sheets 243, 261, 262, 280 and 300).** Santiago de Cali, INGEOMINAS-British Mision (B.G.S.). (Report, 8).
- MCCOURT, W.J. 1984b. A Paleozoic Paired Metamorphic Belt in the Central Cordillera of Colombia. *Brit. Geol. Surv. Rep. Series*, 16(1):22-7.
- MCCOURT, W.J.; ASPDEN, J.A.; BROOK, M. 1984a. New Geological and Geochronological Data from the Colombian Andes: Continental Growth by Multiple Accretion. *Jour. Geol. Soc. London*, 141:831-845.
- MCCOURT, W.J.; MILLWARD, D.; ESPINOSA, A. 1984b. **Reseña Explicativa del Mapa Geológico Preliminar 280-Palmira.** Escala 1:100.000. Santiago de Cali. INGEOMINAS.
- MILLER, R.L. & GOLDBERG, E.D. 1955. The Normal Distribution Geochemistry. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 8(1-2):53-62.
- MOORE, J.W. & MOORE, E.A. 1976. **Environmental Chemistry.** New York, Academic Press. 500 p.

MOORE, J.W. & RAMAMOORTHY, S. 1984. **Heavy Metals in Natural Waters.** New York, Springer-Verlag. 270 p.

NELSON, H.W. 1957. Contribution to the Geology of the Central and Western Cordilleras of Colombia in the Sector Between Ibagué and Cali. *Leidse. Geol. Meded.*, 22:1-76.

ORREGO, A.; RESTREPO, J.J.; TOUSSAINT, J.F.; LINARES, E. 1980. Datación de un Esquisto Sericítico de Jambaló. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. *Publ. Esp. Geol.*, 25:1-2.

PRIETO, G.; GONZALES, L.M.; MUÑOZ, C.A.; JIMENEZ, L.C. 1994. **Proyecto P93Q03. Estudio de la Movilización del Oro en Ambientes Tropicales. Fase I. Informe Final.** Santafé de Bogotá, D.C. INGEOMINAS. 78 p.

RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1976. Edades Radiométricas de Algunas Rocas de Antioquia, Colombia. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. *Publ. Esp. Geol.*, 6:1- 18.

RODIER, J. 1981. **Análisis de las Aguas.** Barcelona, Omega. 1059 p.

SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. 1984. **Metals in the Hydrocycle.** Berlin, Springer-Verlag. 349 p.

- SANDSTEAD, H.H. (*Chairman*). 1974. Cadmium, Zinc and Lead. *In: WORKSHOP GEOCHEMISTRY AND THE ENVIRONMENT*. Washington, D.C., 1974. Washington, D.C., Printing and Publishing Office, National Academy of Sciences. I:43-57
- SCHWIN, W.L. 1969. Guidebook to the Geology of the Valle del Cauca Area. *In: ANN. FIELD TRIP, 10.*, Santafé de Bogotá, D.C., 1969. Santafé de Bogotá, D.C., Colombian Soc. Petrol. Geol. Geophys. p. 279-297.
- SHUVAL, H. 1965. **Readings in Water Quality and Pollution Control**. Jerusalém, Human Environmental Sciences. 143 p.
- SINCLAIR, A.J. 1974. Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs. *Jour. Geoch. Exp.*, 3(2):129-149.
- TOUSSAINT, J.F. 1993. **Evolución Geológica de Colombia 1. Precámbrico y Paleozoico**. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. p: 26-38.
- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1988. Son Alóctonos los Andes Colombianos?. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. *Revista I.C.N.E.*, 1(1):17-41.

- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1989. Acreciones Sucesivas en Colombia: Un modelo de Evolución Geológica. *In*: CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA, 5., Bucaramanga, 1989. **Memorias**. Santafé de Bogotá, Ediciones Cartec. I:127-146.
- TOUSSAINT, J.F.; BOTERO, G.; RESTREPO, J.J. 1978. Datación K/Ar del Batolito de Buga, Colombia. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. *Publ. Esp. Geol.*, 13:1-3.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72:175-192.
- WEDEPOHL, K.H. 1974. Lead. *In*: WEDEPOHL, K.H. (ed.). **Handbook of Geochemistry**. Berlin, Springer-Verlag. Vol II-4. p. 82-H-4
- WEISS, H.V.; KOIDE, M.; GOLDBERG, E.D. 1971. Mercury in the Greenland Ice Sheet: Evidence of Recent Input by Man. *Science*, 174:692-694.
- WHO. 1984. **Guidelines for Drinking Water-Quality**. Geneva, World Health Organization. Vol. 1. 128 p.
- ZEIL, W. 1979. **The Andes: a Geological Review**. Berlin, Gebrüder Borntraeger. 260 p.

## ANEXOS

### ANEXO A: MÉTODOS GEOQUÍMICOS USADOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ANALISADOS NESTE ESTUDO.

#### MÉTODO DA ÁGUA RÉGIA PARA A DETERMINAÇÃO DE Ag, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb E Zn EM SEDIMENTOS E SOLOS, USANDO AAS-CHAMA

- Pesar 1 g de amostra em tubos de ensaio aferidos a 10 ml e 20 ml.
- Adicionar 1 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e 3 ml de ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ), concentrados. Agitar.
- Preparar o banho maria e um recipiente com água fria.
- Introduzir os tubos de ensaio no banho maria. Como a reação de oxidação da matéria orgânica é forte, caso exista a possibilidade de derrame da amostra deve-se retirar imediatamente os tubos de ensaio do banho maria e mergulhá-los no recipiente com água fria. Repetir este processo até obter a estabilização.
- Deixar os tubos de ensaio no banho maria por 1 h.
- Aferir com ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) a 25 % até 10 ml. Agitar.
- Levar de novo ao banho maria por meia hora.
- Esfriar os tubos e aferir a 20 ml com ácido clorídrico a 25 %. Agitar e deixar repousar por 24 h.
- Levar as amostras ao aparelho de AAS-Chama e fazer a leitura. Caso as concentrações sejam menores do que o limite de detecção do aparelho, pode-se tomar uma pequena alíquota e levá-la ao AAS-Forno de Grafite.

MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DE Au EM SEDIMENTOS E SOLOS,  
USANDO AAS-CHAMA

- Pesar 5 g de amostra em crisois.
- Calcinar em mufla a 500 °C, por uma hora.
- Passar as amostras para tubos de ensaio de aproximadamente 70 ml, com tampa.
- Adicionar 1,25 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e 6,25 ml de ácido clorídrico (HCl) concentrados e 0,2 g de bromato de potássio (KBrO<sub>3</sub>). Agitar.
- Deixar em repouso por 12 h.
- Agitar e levar ao banho maria por 1 h.
- Agitar e levar a um volume aproximado de 50 ml com água desmineralizada e deionizada. Agitar novamente.
- Após esfriamento, adicionar 10 ml de metil-isobutil-cetona (MIBK) e agitar fortemente por 2 min.
- Deixar em repouso, com o tubo fechado, até a separação total do MIBK. Centrifugar se necessário.
- Levar imediatamente ao aparelho de AAS-Chama e fazer a leitura, porque o MIBK é muito volátil.
- Caso as concentrações sejam muito baixas e tenham que ser lidas usando o AAS-Forno de Grafite, é recomendável que se tome uma pequena alíquota da camada de MIBK e lavá-la com ácido clorídrico a 10 %, equilibrado com MIBK, para a eliminação da interferência do ferro.

## DETERMINAÇÃO DE As, Cd, Cr E Hg EM SEDIMENTOS E SOLOS.

A determinação destes quatro elementos foi feita pelo Laboratório Geolab (GEOSOL), conforme a seguinte metodologia:

- Pesquisar 1 g de amostra.
- Diluir a amostra usando água régia (1 HNO<sub>3</sub>:3 HCl conc.) a quente, em banho de areia durante 40 min.
- Após o esfriamento, deve-se aferir o volume, homogenizar e decantar a solução e levá-la ao aparelho de leitura, para quantificar a concentração dos elementos desejados.
- O equipamento usado para As e Cr foi Plasma de Indução, marca *ARL* modelo *35.000C*.
- O Cd teve sua concentração quantificada em um aparelho de Absorção Atômica *Varian* modelo *AA-175*.
- Para determinar o mercúrio deve-se usar também 1 g da amostra. Fazer a extração a frio, em meio sulfúrico, com agitação constante por 30 min. Determinar em um gerador do vapor de mercúrio e quantificar por Absorção Atômica. Os equipamentos usados foram: Gerador de Vapor *Varian*, modelo *64*, e Absorção Atômica *Varian*, modelo *AA-175*.

## MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DE As EM ÁGUAS, USANDO O GERADOR DE HIDRETOS

- Tomar uma alíquota de 10 ml de água.

- Adicionar 2 ml de ácido clorídrico (HCl), concentrado, 1 ml de iodeto de potássio (KI) a 10 %, e deixar repousar por 1:45 h.
- Preparar borohidreto de sódio (NaBH<sub>4</sub>) a 3 %, em soda (NaOH) a 1 % em quantidade suficiente (depende do número de amostras).
- Levar ao gerador de hidretos e fazer a leitura por AAS-Chama. É recomendável fazer as leituras antes de alcançar 2:30 h após adicionado o KI.

#### MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DE Hg EM ÁGUAS, USANDO O GERADOR DE HIDRETOS-VAPOR FRIO

- Tomar uma alíquota de 40 ml de água.
- Adicionar 10 ml da mistura 1:1 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1,5 %):HNO<sub>3</sub> (1,5 %)) de ácidos sulfúrico e nítrico. Agitar.
- Agregar 2 pingos de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) a 10 %. Agitar.
- Preparar borohidreto de sódio (NaBH<sub>4</sub>) a 3 %, em soda (NaOH) a 1 % em quantidade suficiente (depende do número de amostras).
- Levar ao gerador de hidretos e fazer a leitura em AAS-Vapor Frio.

#### MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DE Au EM AGUAS, USANDO AAS-FORNO DE GRAFITE

- Evaporar lentamente 1 lt de água em um beaker (copo de precipitado), colocando-

- o em uma chapa quente a baixa temperatura (embaixo do ponto de ebulição).
- Adicionar 10 ml de solução de  $\text{Br}_2/\text{HBr}$  (5 ml de bromo em 1 lt de HBr).
  - Deixar repousar 30 min.
  - Aquecer a baixa temperatura, na chapa quente, durante 15 min.
  - Repassar a amostra para um tubo de ensaio de 30 ml com tampa.
  - Lavar o becker com 10 ml de água desmineralizada e deionizada. Repassar a solução ao tubo de ensaio com amostra.
  - Agregar 2 ml de metil-isobutil-cetona (MIBK).
  - Tampar e agitar fortemente durante 2 min.
  - Deixar em repouso, com o tubo fechado, até a separação total do MIBK. Centrifugar se necessário.
  - Pipetar 1 ml da camada orgânica e repassá-la para outro tubo de ensaio (de 10 ml, com tampa) que contém 8 ml de HBr 0,1 N (previamente equilibrado com MIBK).
  - Tampar e agitar fortemente durante 30 seg.
  - Deixar separar as duas camadas, centrifugando se necessário.
  - Levar ao AAS-Forno de Grafite e fazer as leituras. Importante: preparar um branco de reagentes.

#### DETERMINAÇÃO DE Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni E Pb EM ÁGUAS, USANDO AAS-FORNO DE GRAFITE

- Preparar pequenas alíquotas das amostras (aproximadamente 2 ml).
- Levá-las diretamente ao aparelho AAS-Forno de Grafite e fazer as leituras.

## ANEXO B: RESULTADOS ANALÍTICOS PARA METAIS PESADOS NAS AMOSTRAS COLETADAS NO DISTRITO AURÍFERO DE GINEBRA.

### AMOSTRAS DE AGUA

MUESTRA	COORDENADAS(XY)	Cu(ppb)	Pb(ppb)	Ni(ppb)	Co(ppb)	Mn(ppb)	Cr(ppb)	As(ppb)	Fe(ppm)	Hg(ppb)	Au(ppb)	pH
CA-02	913375 1099562	12.95	3.58	5.18	<5	13.66	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.080	7.3
RA-09	912800 1098700	9.45	<3	<5	<5	30.6	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.040	7.2
RA-20	912275 1098775	16.70	34.71	57.32	29.73	1370	62.92	<0.5	0.2	<0.5	0.002	4.0
LA-33	911275 1097675	50	119.4	19.05	7.42	100	17.68	4.23	2.6	<0.5	0.012	6.71
LA-35	911200 1097250	42	114.04	22.4	<5	50	5.48	3.21	1.9	<0.5	0.024	6.72
LA-37	910725 1096575	25.22	43.01	5.18	<5	50	7.77	1.54	1.6	<0.5	0.040	6.75
LA-39	910000 1095700	13.95	19.49	<5	<5	46.09	<5	0.98	0.6	<0.5	0.002	6.81
LA-41	908950 1095300	11.45	8.76	5.18	<5	37.86	<5	1.12	0.3	<0.5	n. d.	6.85
GA-43	905840 1098575	11.20	4.61	<5	<5	22.41	<5	0.79	0.2	<0.5	0.260	7.09
GA-46	906675 1097725	11.20	3.58	<5	5.54	18.29	<5	0.56	0.1	<0.5	0.040	7.15
GA-48	908450 1094975	10.69	4.27	<5	<5	24.47	<5	n. d.	0.2	<0.5	0.070	7.23
GA-50	908375 1094125	12.45	3.58	<5	<5	16.75	<5	0.56	0.1	<0.5	0.060	7.22
AA-62	905250 1097175	22.47	9.8	7.57	<5	52.79	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.140	6.76
AA-65	905475 1097175	13.70	5.65	<5	<5	20.87	<5	0.51	<0.1	<0.5	0.090	7.12
AA-68	905875 1097225	11.95	3.22	8.43	<5	11.34	<5	0.61	<0.1	<0.5	0.040	7.33
AA-70	906200 1097500	16.45	<3	<5	<5	3.88	<5	0.74	<0.1	<0.5	0.180	7.6
AA-73	906450 1097600	12.20	<3	<5	<5	17.77	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.040	7.78
VA-01	906350 1098200	11.95	<3	18.57	<5	27.56	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.160	8.09
VA-02	906550 1098075	10.95	<3	<5	<5	32.97	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.020	7.5
VA-03	906300 1097850	13.70	9.46	12.36	7.18	25.50	<5	<0.5	0.1	<0.5	n. d.	6.78
VA-04	905825 1097925	11.95	22.26	6.62	<5	87.80	<5	<0.5	0.2	<0.5	n. d.	7.21
VA-05	905875 1097250	9.69	3	6.62	<5	5.16	<5	<0.5	<0.1	<0.5	0.044	7.5
RA-06	912425 1098725	19.46	7.03	<5	<5	5.42	<5	2.28	<0.1	<0.5	0.062	7.0
RA-07	912350 1098750	34.23	29.87	59.23	41.24	260	13.10	1.19	2.0	1.09	n. d.	5.16
LA-08	910975 1096625	21.46	7.03	18.10	<5	43.52	<5	0.65	0.3	<0.5	n. d.	7.7
LA-09	909925 1095575	25.22	11.19	<5	<5	20.87	<5	0.88	0.6	<0.5	n. d.	7.53
GA-10	908378 1094127	10.45	5.65	<5	<5	23.44	<5	0.56	0.1	<0.5	0.002	7.86

n. d.: No determinado.

## AMOSTRAS DE SEDIMENTO

MUESTRA	COORDENADAS(XY)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Ni(ppm)	Co(ppm)	Ag(ppm)	Mn(ppm)	Fe(%)	Total	Total	Total	Cr(ppm)	Cd(ppm)
										Au(ppm)	Hg(ppb)	As(ppm)		
CS-01	913451 1099626	226	100	16	35	30	1	290	2.6	5.0	280	26.0	13	1.0
RS-10	912801 1098701	121	17	32	55	32	<1	720	4.5	0.23	349	3.0	146	0.9
RS-11	912550 1098675	36	43	38	26	24	<1	260	4.0	1.6	343	5.0	45	0.8
RS-21	912275 1098776	74	110	369	27	18	<1	90	3.8	1.6	1100	22.0	60	1.0
RS-22	912275 1098725	79	176	30	25	16	<1	90	3.0	1.12	405	21.0	61.0	1.0
PS-32	911825 1098200	265	73	45	30	40	1	310	4.6	4.72	<50	6.6	21	1.0
LS-34	911276 1097676	80	100	37	35	20	<1	n. d.	n. d.	0.70	540	11.0	74	0.8
LS-36	911201 1097251	72	113	34	36	19	<1	170	3.2	0.60	620	6.6	73	0.7
LS-38	910726 1096576	80	127	42	43	20	<1	200	3.3	0.40	414	13.0	96	1.0
LS-40	910001 1095701	93	133	44	45	21	<1	260	4.0	0.52	650	13.0	103	1.0
LS-42	908951 1095301	100	132	46	42	22	<1	330	4.4	0.50	1150	13.0	112	1.0
GS-44	905951 1098576	58	25	45	72	25	<1	410	4.2	0.10	60	1.0	136	0.9
GS-47	906676 1097726	79	87	55	77	25	<1	413	4.0	0.18	366	1.0	146	1.1
GS-49	908451 1094976	62	90	48	79	22	<1	380	4.2	0.06	142	1.0	138	1.0
GS-51	908376 1094126	68	79	50	85	23	<1	410	3.9	0.06	240	1.0	142	1.0
AS-66	905476 1097176	52	14	40	50	30	<1	660	4.6	<0.05	113	1.0	174	1.0
AS-69	905786 1097226	36	16	40	63	30	1	780	4.2	<0.05	95	1.0	235	1.0
AS-71	906201 1097501	37	17	31	62	30	1	630	3.7	<0.05	89	1.0	311	1.0
AS-74	906451 1097601	41	18	33	61	30	1	670	3.8	<0.05	124	2.0	306	1.0
VS-01	906351 1098201	56	14	43	70	21	<1	360	3.5	<0.05	<50	2.0	139	0.8
VS-02	906550 1098076	61	20	42	84	22	<1	400	4.0	<0.05	50	2.0	157	1.0
RS-03	912426 1098726	44	254	44	22	17	2	240	4.0	3.28	8170	5.0	39	1.1
RS-04	912351 1098751	81	152	36	30	14	5	90	4.7	5.06	17516	39.0	72	1.0
LS-6-1	910925 1096650	77	85	40	35	18	<1	220	4.1	0.46	865	9.9	86	1.0
LS-6-2	910926 1096651	71	67	35	35	17	<1	190	3.4	1.26	780	5.0	80	1.0
LS-07	909926 1095576	82	80	40	39	18	<1	220	3.5	0.60	190	5.5	97	1.0
GS-08	908377 1094126	68	25	46	86	24	<1	430	3.8	<0.05	156	3.0	145	1.0

n. d.: No determinado.

## AMOSTRAS DE ROCHA. Datos tomados de BUENAVENTURA &amp; GONZALEZ (1994).

MUESTRA	COORDENADAS(XY)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Ni(ppm)	Co(ppm)	Ag(ppm)	Mn(ppm)	Fe(%)	Au(ppm)	Hg(ppb)	As(ppm)	Cr(ppm)	Cd(ppm)
CLF-01	913450 1099625	162	35	10	10	8	8	90	0.58	16.2	260	5.5	3.3	0.9
RR-12	912500 1098650	33	7	8	18	32	<1	20	6.9	2.26	<50	24	<1.0	0.8
RR-15-A	912450 1098125	33	12	9	16	30	<1	20	3.7	1.14	60	13	3.5	0.6
RR-15-B	912451 1098126	49	40	45	38	18	<1	50	3.2	0.54	<50	11	32.0	1.0
RR-16-A	912625 1098525	71	34	19	8	21	1	20	4.3	2.58	<50	21	<1.0	0.6
RR-16-B	912626 1098526	160	60	13	32	28	1	20	4.0	5.54	<50	43	8.6	1.0
RR-24-A	912300 1098575	6	6	4	14	18	<1	10	1.7	0.24	55	9.9	1.1	0.6
RR-24-B	912301 1098576	23	26	6	12	22	<1	10	3.4	2.12	<50	14	<1.0	0.6
RR-27	912350 1098450	59	25	69	9	25	<1	120	6.9	0.26	<50	5	<1.0	1.0
RR-28	912375 1098425	20	12	5	24	37	<1	10	3.7	1.20	<50	34	<1.0	0.7
RR-31	912500 1098075	72	10	10	8	20	<1	10	4.5	3.60	90	11	1.1	0.8
AF-72	906350 1097550	353	8	14	10	4	10	50	0.3	0.06	70	1	11.0	0.5

## AMOSTRAS DE SOLO. Datos tomados de BUENAVENTURA &amp; GONZALEZ (1994).

MUESTRA	COORDENADAS(XY)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Ni(ppm)	Co(ppm)	Ag(ppm)	Mn(ppm)	Fe(%)	Au(ppm)	Hg(ppb)	As(ppm)	Cr(ppm)	Cd(ppm)
CSS-04	913450 1099225	10	33	12	15	6	<1	40	0.52	0.06	210	5.0	25	0.6
CSS-06	913300 1098950	40	18	57	25	25	<1	380	3.5	<0.05	132	4.0	14	0.8
CSS-08	913175 1099125	6	31	12	13	11	<1	40	3.4	<0.05	74	3.0	37	0.8
RSS-13	912400 1098200	52	17	36	50	18	<1	140	2.6	0.05	125	1.0	76	0.6
RSS-19	912650 1098550	19	26	24	19	11	<1	50	2.1	0.20	670	5.0	79	0.6
RSS23-1	912300 1098625	26	25	16	10	10	<1	40	1.37	0.16	363	4.0	34	0.5
RSS23-2	912301 1098626	27	32	19	12	8	<1	60	1.50	0.06	183	4.0	45	0.6
RSS23-3	912302 1098627	24	34	18	12	10	<1	40	1.52	0.06	189	4.0	42	0.5
RSS23-4	912303 1098628	55	64	37	45	15	<1	100	2.8	0.24	170	7.0	137	0.7
RSS-30	912500 1098076	25	72	21	11	15	<1	40	5.2	2.94	350	5.0	15	1.0
VSS-45	906275 1098325	60	40	34	22	20	<1	610	3.0	0.10	359	1.0	96	1.0
ESS-53	905825 1097825	33	42	40	34	20	1	390	5.9	0.11	299	2.0	47	1.0
ESS-54	905850 1097800	35	32	39	25	14	1	270	4.6	0.06	428	4.0	47	1.0
ESS-56	905825 1097900	59	51	47	29	18	1	530	5.4	<0.05	392	4.0	39	1.0
ESS-57	905875 1097900	42	35	52	26	25	1	570	6.1	<0.05	230	2.0	67	1.0
*CSS-59	905825 1097700	174	29	32	37	27	1	190	7.4	0.09	450	4.0	80	1.0
*CSS-61	905850 1097650	82	28	36	44	23	1	200	8.1	0.06	392	4.0	124	1.1
ASS-64	905251 1097176	22	15	46	42	40	1	570	8.20	<0.05	130	1.0	58	1.0
LSO-01	911025 1096700	88	24	61	39	30	<1	970	4.0	0.74	3920	5.0	72	1.0
LSO-02	911026 1096701	77	26	35	38	23	<1	710	4.0	0.88	2080	5.0	91	1.0
LSO-03	911027 1096702	78	29	37	40	27	<1	720	4.5	0.18	1420	4.0	91	1.1
LSO-04	910975 1096650	81	26	48	50	36	<1	880	5.4	<0.05	600	3.0	85	1.2
LSO-05	910976 1096651	120	26	54	55	48	<1	1610	6.0	<0.05	920	3.0	89	1.2
LSO-06	910875 1096725	43	18	76	35	26	<1	960	3.8	<0.05	1240	2.0	61	1.1
LSO-07	910876 1096726	38	24	67	36	27	<1	870	4.0	<0.05	860	2.0	72	1.1
LSO-08	910877 1096727	40	21	59	42	30	<1	840	4.6	<0.05	670	2.0	83	1.0