



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEPT. DE GEOQUÍMICA E RECURSOS MINERAIS

LABORATORIO DE GEOQUÍMICA



**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS  
POR ESTUDO GEOQUÍMICO NA BACIA DO  
CÓRREGO RICO, PARACATU – MG**

**Bruno Saback Gurgel**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 228**

**Brasília-DF**

**2007**

---



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEPT. DE GEOQUÍMICA E RECURSOS MINERAIS

LABORATORIO DE GEOQUÍMICA



# **AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS POR ESTUDO GEOQUÍMICO NA BACIA DO CÓRREGO RICO, PARACATU – MG**

**Bruno Saback Gurgel**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 228**

Orientador:

Prof Dr. Geraldo Resende Boaventura

Examinadores:

Prof. Dr. Detlef Hans-Gert Walde – UnB/Examinador interno

Prof. Dr. Éder de Souza Martins – EMBRAPA/Examinador externo

**Brasília-DF**

**2007**

---

# Estudo Proposto

---

***ANÁLISE AMBIENTAL - A GEOQUÍMICA COMO SUPORTE À ANÁLISE E QUALIDADE DE ÁGUA e SEDIMENTOS DE FUNDO.***

**ESTUDO DE CASO: Avaliação de Impactos Ambientais por Estudo Geoquímico na Bacia do Córrego Rico, Paracatu – MG**

**Equipe Executora:**

**UnB**

**BRUNO SABACK GURGEL - Mestrando UnB**

**GERALDO RESENDE BOAVENTURA, D.Sc, UnB, Professor IG/UnB**

---

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível devido à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas as quais venho aqui prestar meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Geraldo R. Boaventura pela orientação, confiança, oportunidade e paciência para desenvolver este trabalho.

Aos estagiários do LAGEQ e futuros Geólogos Rafael e Vinícius pela ajuda nos trabalhos de campo e análises laboratoriais.

Ao pessoal técnico do Laboratório de geoquímica, Fernando e Renato, que muito me ajudaram durante as análises laboratoriais e trabalhos de campo.

Aos professores do Instituto de Geociências pelo conhecimento adquirido durante as aulas e em especial ao professor Detlef Hans pela amizade, conhecimento e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, em especial para Edna que muito me ajudou nas análises para determinação de mercúrio no Laboratório de Química Analítica e Ambiental/UnB.

À minha esposa Ana Carla Cota pelo conhecimento, confiança, incentivo e principalmente pelo amor dedicados neste período de conquistas.

À FINATEC pelo apoio financeiro nos trabalhos de campo e análises laboratoriais.

À equipe de Neurofisiologia do Hospital Sarah pela paciência, incentivo e confiança. Principalmente ao Dr. Jose Carlos Dias Ferreira e à Dra. Maria Dorvalina da Silva.

Muito Obrigado!

---

## ÍNDICE

	PÁGINA
AGRADECIMENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>1.1 Apresentação do assunto.....</b>	<b>02</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>03</b>
<b>1.3 Justificativa.....</b>	<b>03</b>
<b>CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>08</b>
<b>2.1 Aspectos geográficos.....</b>	<b>09</b>
2.1.1 Localização da área de estudo.....	09
2.1.2 Características fisiográficas e climatológicas.....	10
<b>2.2 Atividades econômicas e impactos ambientais.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Estudos geoquímicos na região.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 3 - BASES CONCEITUAIS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.Introdução.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Impactos potenciais de algumas atividades minerárias.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. O mercúrio na atividade garimpeira.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4. Biodisponibilidade e disponibilidade ecológica dos elementos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5. A geoquímica e a análise ambiental de ambientes aquáticos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Análise geoquímica da água.....</b>	<b>21</b>
<b>3.7. Análise geoquímica de sedimentos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.8 Características gerais dos metais.....</b>	<b>25</b>
<b>3.9. Fontes dos elementos químicos.....</b>	<b>27</b>
<b>3.10. Capacidade de resiliência em áreas mineradas.....</b>	<b>30</b>
<b>3.11. Parâmetros biológicos –Coliformes.....</b>	<b>31</b>

---

<b>CAPÍTULO 4 - CONTEXTO GEOLÓGICO.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Caracterização geológica da Formação Paracatu.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Caracterização geológica da Formação Vazante.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Alteração antrópica da geomorfologia.....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA DE TRABALHO.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SEDIMENTO DE FUNDO.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2. Preparação das amostras.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3. Determinação dos parâmetros físico-químicos.....</b>	<b>48</b>
<b>5.4. Determinação de mercúrio em sedimentos de fundo.....</b>	<b>48</b>
<b>5.5. Determinação dos sólidos Voláteis e Matéria Orgânica.....</b>	<b>49</b>
<b>5.6. Granulometria.....</b>	<b>49</b>
<b>5.7. Controle analítico dos dados.....</b>	<b>50</b>
<b>5.8. Coleta dos dados referentes à cava de mineração.....</b>	<b>51</b>
<b>5.9. Detecção de Coliformes Totais e <i>E.coli</i> em água.....</b>	<b>51</b>
<b>5.10. Caracterização dos pontos de <i>background</i> local.....</b>	<b>52</b>
<b>5.11. Tratamento estatístico dos dados.....</b>	<b>52</b>
5.11.1. Fator de contaminação.....	53
5.11.2 Análise de Agrupamento (Cluster).....	53
5.11.3 Matriz de Correlação .....	54
5.11.4. Índice de Geoacumulação.....	54
<b>CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>6.1. Análise físico-química da água.....</b>	<b>57</b>
6.1.1. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	57

---

6.1.2. Temperatura.....	58
6.1.3. Turbidez e Cor.....	59
6.1.4. Condutividade Elétrica e Total de sólidos Dissolvidos (TDS)..	60
6.1.5. Salinidade.....	62
6.1.6. Dureza.....	62
6.1.7. Alcalinidade.....	64
6.1.8. Cloreto (Cl <sup>-</sup> ).....	65
6.1.9. Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	66
6.1.10. Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	68
6.1.11. Nitrato.....	69
6.1.12 Oxigênio Consumido.....	69
<b>6.2. Análise dos elementos químicos da água.....</b>	<b>70</b>
<b>6.3. Análise microbiológica de água.....</b>	<b>73</b>
<b>6.4. Análise granulométrica do sedimento.....</b>	<b>73</b>
<b>6.5. Caracterização geoquímica dos sedimentos.....</b>	<b>75</b>
<b>6.6. Matriz de correlação.....</b>	<b>76</b>
<b>6.7. Análise de Cluster.....</b>	<b>79</b>
<b>6.8. Fator de Contaminação.....</b>	<b>81</b>
<b>6.9. Índice de Geoacumulação.....</b>	<b>81</b>
<b>6.10. Análise da concentração de Mercúrio (Hg) em sedimentos.....</b>	<b>85</b>
<b>6.11. Capacidade de resiliência do alto córrego rico.....</b>	<b>86</b>
<b>6.12. Resultados dos pontos controle.....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>CAPÍTULO 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO A – TABELAS .....</b>	<b>99</b>

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b> Estado de degradação atual da calha do Córrego Rico próximo à nascente.....	04
<b>Figura 1.2.</b> Esgoto lançado sem tratamento no Córrego Rico.....	04
<b>Figura 1.3.</b> Mina de ouro a céu aberto da RPM em paracatu-MG.....	06
<b>Figura 1.4.</b> Cultura de soja no município de Paracatu.....	06
<b>Figura 2.1.</b> Mapa de localização da área de estudo.....	09
<b>Figura 4.1.</b> Coluna estratigráfica proterozóica da região de Paracatu.....	35
<b>Figura 4.2.</b> Mapa geológico simplificado da Faixa Paracatu-Vazante.....	40
<b>Figura 5.1</b> – Mapa de localização dos pontos de coleta (Sistema de Coordenadas UTM).....	44
<b>Figura 5.2.</b> Foto de localização dos pontos amostrados de p1 a p11, região com maior impacto antrópico. Destacados os principais impactos apresentados nesta área.....	45
<b>Figura 6.1.</b> Valores de pH das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca, de montante para jusante.....	57
<b>Figura 6.2.</b> Gráfico de temperatura (°C) das águas do Córrego rico nas estações de chuva e seca. Os pontos 6, 20 e 21 foram amostrados apenas no período de chuva.....	58
<b>Figura 6.3.</b> Gráficos de cor (A) e turbidez (B) das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca.....	60
<b>Figura 6.4.</b> Valores de condutividade elétrica (a) e TDS (b) das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca.....	62
<b>Figura 6.5.</b> Concentração de dureza total nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico.....	64
<b>Figura 6.6.</b> Concentração da alcalinidade total nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico.....	65
<b>Figura 6.7.</b> Concentração de cloreto nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico.....	66
<b>Figura 6.8.</b> Concentração sulfato nas águas, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 12) na bacia do Córrego Rico.....	67
<b>Figura 6.9.</b> Comparação entre as concentrações de Ca, Mg e SO <sub>4</sub> , demonstrando a ocorrência de sedimentação à partir do ponto 4.....	67
<b>Figura 6.10.</b> Concentração de fosfato nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico.....	68
<b>Figura 6.11.</b> Concentração de nitrato nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico.....	69
<b>Figura 6.12.</b> Concentração de Oxigênio Consumido nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico.....	70

---

<b>Figura 6.13.</b> Correlação positiva entre as concentrações de cálcio e magnésio em amostras de água da bacia do Córrego Rico nos períodos de seca e chuva.....	<b>71</b>
<b>Figura 6.14.</b> Concentrações dos elementos maiores em amostras de água da bacia do Córrego Rico nos períodos da seca e chuva.....	<b>71</b>
<b>Figura 6.15.</b> Dendrograma dos elementos na chuva com relação à seca.....	<b>80</b>
<b>Figura 6.16.</b> Dendrograma dos elementos na seca com relação à chuva.....	<b>80</b>
<b>Figura 6.17.</b> Visão geral da concentração de mercúrio nos sedimentos de fundo durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico.....	<b>85</b>
<b>Figura 6.18.</b> Concentração de mercúrio nos sedimentos de fundo durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 23) na bacia do Córrego Rico. O ponto 4 foi retirado por se tratar de uma anomalia antrópica temporal.....	<b>86</b>

---

## ÍNDICE DE TABELAS

	PÁGINA
<b>Tabela 2.1.</b> Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Paracatu.....	10
<b>Tabela 2.2.</b> Índice pluviométrico médio para os anos 2004 e 2005 - mm/mês.....	11
<b>Tabela 3.1.</b> Principais funções dos metais no corpo humano.....	26
<b>Tabela 5.1.</b> Localização dos pontos amostrados.....	43
<b>Tabela 5.2.</b> Parâmetros operacionais de ICP/AES.....	48
<b>Tabela 5.3.</b> Controle analítico dos resultados.....	50
<b>Tabela 5.4.</b> Painel de interpretação de resultados.....	52
<b>Tabela 5.5.</b> Índice de geoacumulação (Igeo) de metais pesados.....	55
<b>Tabela 6.1.</b> Classificação das águas segundo a dureza.....	63
<b>Tabela 6.2.</b> Resultado dos testes microbiológicos.....	73
<b>Tabela 6.3.</b> Composição granulométrica do sedimento de fundo das amostras coletadas na bacia do Córrego Rico no período da seca.....	74
<b>Tabela 6.4.</b> Composição granulométrica do sedimento de fundo das amostras coletadas na bacia do Córrego Rico no período da chuva.....	74
<b>Tabela 6.5.</b> Resultados máximos, mínimos, médios e desvios padrão dos parâmetros analisados em amostras de sedimentos do Córrego Rico durante a seca.....	75
<b>Tabela 6.6.</b> Resultados máximos, mínimos, médios e desvios padrão dos parâmetros analisados em amostras de sedimentos do Córrego Rico durante a chuva.....	76
<b>Tabela 6.7.</b> Correlação de <i>Pearson</i> na época de seca. Os valores em vermelho apresentam correlação na época de seca e de chuva. Os valores em negrito apresentam correlação apenas na seca. $R^2 \geq 50\%$ ( $p < 0,001$ ).....	78
<b>Tabela 6.8.</b> Correlação de <i>Pearson</i> na época de chuva. Os valores em vermelho apresentam correlação na época de seca e de chuva. Os valores em negrito apresentam correlação apenas na seca. $R^2 \geq 50\%$ ( $p < 0,001$ ).....	78
<b>Tabela 6.9.</b> Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias de pontos locais, no período da seca.....	83
<b>Tabela 6.10.</b> Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias mundiais, no período da seca.....	83
<b>Tabela 6.11.</b> Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias mundiais, no período da chuva.....	84
<b>Tabela 6.12.</b> Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias de pontos locais, no período da chuva.....	84
<b>Tabela 6.13.</b> Profundidade do leito garimpado nos pontos amostrados.....	87
<b>Anexo 1</b> – Análise físico química de água coletada no período da chuva.....	101
<b>Anexo 2</b> – Análise físico química de água coletada no período da seca.....	102
<b>Anexo 3</b> – Concentração dos elementos químicos (mg/L) em água, coletada no período da seca, da bacia do córrego Rico.....	103
<b>Anexo 4</b> - Concentração dos elementos químicos (mg/L) em água, coletada no período da chuva, da bacia do córrego Rico.....	104

---

<b>Anexo 5</b> – Estatística descritiva das concentrações dos elementos (mg/L) em água coletada no período da seca.....	<b>105</b>
<b>Anexo 6</b> – Estatística descritiva das concentrações dos elementos (mg/L) em água coletada no período da chuva.....	<b>106</b>
<b>Anexo 7</b> - Concentração dos elementos químicos (mg/Kg) em sedimentos, pontos controle na época de chuva.....	<b>107</b>
<b>Anexo 8</b> - Concentração dos elementos químicos (mg/Kg) em sedimentos, pontos controle na época de seca.....	<b>107</b>
<b>Anexo 9</b> – Análise físico química de água coletada no período da chuva nos pontos de controle. ....	<b>107</b>
<b>Anexo 10</b> – Análise físico química de água coletada no período da seca nos pontos de controle.....	<b>107</b>
<b>Anexo 11</b> -Fator de contaminação no período da seca. Marcados em vermelho os valores acima de 2.....	<b>108</b>
<b>Anexo 12</b> - Fator de contaminação no período da chuva.....	<b>109</b>
<b>Anexo 13</b> - Índice de Geoacumulação na seca - Média de referência local....	<b>110</b>
<b>Anexo 14</b> - Índice de Geoacumulação na seca - Média mundial.....	<b>111</b>
<b>Anexo 15</b> - Índice de Geoacumulação na chuva - Média mundial.....	<b>112</b>
<b>Anexo 16</b> - Índice de Geoacumulação na chuva - Média de referência local.....	<b>113</b>
<b>Anexo 17</b> – Sólidos Voláteis e Matéria Orgânica em sedimentos na época de chuva.....	<b>114</b>
<b>Anexo 18</b> – Sólidos Voláteis e Matéria Orgânica em sedimentos na época da seca.....	<b>115</b>
<b>Anexo 19</b> - Concentração dos elementos maiores (%), em sedimento de fundo, no período de chuva.....	<b>116</b>
<b>Anexo 20</b> – Concentração dos elementos químicos maiores (%), em sedimento de fundo, no período da seca.....	<b>117</b>
<b>Anexo 21</b> – Concentração dos elementos traço ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), em sedimentos de fundo, no período da seca.....	<b>118</b>
<b>Anexo 22</b> – Concentração dos elementos traço ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), em sedimentos de fundo, no período da chuva.....	<b>119</b>
<b>Anexo 23</b> - Concentração de mercúrio (Hg) em PPM, nas amostras de sedimentos, nos períodos de chuva e seca.....	<b>120</b>

---

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo de realizar análises da qualidade da água e sedimentos de fundo do Córrego Rico e com isso reconhecer e quantificar as principais intervenções antrópicas na área, principalmente a deposição de esgoto doméstico sem tratamento e a atividade garimpeira clandestina. A região de estudo está localizada no município de Paracatu, noroeste do estado de Minas Gerais, a 239 km de Brasília, iniciando-se imediatamente ao norte, na nascente do córrego Rico, até sua vazante aproximadamente entre as coordenadas 17° 13'01''sul e 46° 52'17'' oeste. Para a determinação dos parâmetros físico-químicos da água foram utilizadas as técnicas de coleta e análise de água descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1998. O espectrofotômetro UV-Visível HACH-DR 2000 foi utilizado para a determinação de Nitrato, Fosfato, Turbidez e Cor. Métodos titulométricos foram utilizados para determinação da Alcalinidade, Oxigênio Consumido e Cloreto. O pH, condutividade e total de sólidos dissolvidos foram determinados com multi-parâmetro HACH. Os elementos Al, Fe, Ca, Mg, P, Zn, Ni, Cu, e Si foram determinados utilizando espectrômetro de emissão ótica com fonte de plasma ICP-OES. Para análise de sedimentos de fundo, o material foi peneirado a seco, obtendo-se a fração silte/argila. A determinação dos sólidos voláteis foi realizada por perda ao fogo e a de matéria orgânica foi realizada pelo método de Waldley-Black. Para análise de elementos traço e maiores, utilizou-se respectivamente digestão ácida com HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>/HCl e fusão com LiBO<sub>2</sub>. As determinações foram realizadas em espectrômetro de emissão por plasma (ICP/OES). Para a determinação do mercúrio utilizou-se uma abertura ácida parcial com HNO<sub>3</sub>/HCl e sua concentração determinada por redução do extrato ácido com SnCl<sub>2</sub> 5% (m/v) e leitura em espectrômetro de absorção atômica com geração de vapor frio modelo *Mercury Monitor*<sup>®</sup> 3200 *Elemental Mercury Detector*. Além disso, realizou-se estudo microbiológico para detecção de coliformes totais e *E. coli* e análise de capacidade de resiliência do córrego com base na profundidade das cavas de garimpo. Os parâmetros físico-químicos da água e os elementos químicos analisados em água e sedimentos apresentaram valores dentro da normalidade segundo a legislação. As variações ocorridas estão relacionadas com a geologia da região estudada, com a utilização de fertilizantes na agricultura e principalmente na deposição de esgoto doméstico sem tratamento no Córrego Rico ou pela utilização de mercúrio na atividade de garimpo. Com o teste microbiológico pode-se concluir que há contaminação

---

por coliformes fecais advindos do esgoto doméstico. Com relação ao fator de contaminação, a maioria dos pontos estudados apresentou valores abaixo ou igual ao valor controle. Os índices de geoacumulação calculados para os metais apresentam valores baixos, classificando os sedimentos da região estudada, de uma maneira geral, como não poluídos a moderadamente poluídos. A capacidade de resiliência das margens do córrego segundo os dados obtidos apresenta-se baixa, não chegando a 30%. Pode-se concluir com esse estudo que o principal agente contaminante da bacia do Córrego Rico é a deposição de esgoto doméstico sem tratamento no córrego.

---

## ABSTRACT

The present work has as objective to carry through water and sediments quality analyses of the Rico Stream and with this, recognize and quantify the main anthropical interventions in the area, mainly the deposition of domestic sewer without treatment and the clandestine gold washer activity. The study region is located near the Paracatu city, in the northwest of the Minas Gerais state, 239km from Brasilia, initiating immediately to the north, in the spring of the Rico stream, until its ebb tide, approximately between coordinates 17° 13'01" south and 46° 52'17" west. For the physical-chemical determination of water parameters, collection techniques and water analysis had been used as described in *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1998. Spectrophotometer UV-Visible HACH-DR 2000 was used for the determination of Nitrate, Phosphate, Turbidity and Color. Titulometrical methods had been used for determination of Alkalinity, Consumed Oxygen and Chloride. The pH, conductivity and total dissolved solid had been determined with multi-parameter HACH. Elements Al, Fe, Ca, Mg, P, Zn, Ni, Cu, and Si had been determined using emission spectrometer with optics plasma source (ICP-OES). For analysis of deep sediments, the dry material was bolted to separate the silte/clay fraction. The determination of volatile solids was carried through by loss to the fire and the organic substance was determined by the Waldley-Black method. For analysis of trace and major elements, an acid digestion with HF/HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>/HCl and fusing with LiBO<sub>2</sub> was used. The determination had been carried through in spectrometer of plasma emission (ICP/OES). For the determination of mercury, a partial acid opening with HNO<sub>3</sub>/HCl was used. The Hg concentration was determined by acid extract reduction with SnCl<sub>2</sub> 5% (m/v) and reading in a spectrometer of atomic absorption with cold vapor generation model *Mercury Monitor*<sup>®</sup> 3200 *Elemental Mercury Detector*. Moreover, microbiological study for detection and analysis of total coliforms and *E. coli* presence was carried through. The capacity of resilience of the stream was determined too. The physical-chemical water parameters and the chemical elements analyzed in water and sediments had presented normal values, according to legislation. The occurred variations are related with the studied region geology, with the fertilizer use in agriculture and mainly in the deposition of domestic sewer without treatment in the Rico Stream or for the mercury use in the activity. The microbiological test concluded that there is contamination by fecal coliforms of the domestic sewer. With regard to the contamination factor, the

---

majority of the studied points presented values below or equal to controlled points. The calculated indices of geoaccumulation for metals present low values, classifying the sediments of the studied region, in a general way, as not polluted the moderately polluted ones. The resilience capacity of the stream gotten edges is low, not arriving 30%. Which these study, we can conclude that the main contaminant agent of the Rico Stream basin is the deposition of domestic sewer without treatment in the stream.

---

“Quando eu era mulecote, atravessava o capoeirão e ia tomar banho na Gruta de Vênus. A gruta iniciava no começo do Morro do Ouro e ia aprofundando para dentro da terra uns 200 metros. Lá dentro era um paredão de pedra bruta formando um beco, era um paredão de pedra no chão, nos lados e no teto. A gruta ia terminar onde hoje é a mineração. Lá no término da gruta, caía uma água branquinha, clara e formava um grande poço, mas , um poço grande mesmo. Em volta do poço era uma mata virgem e muita pedra, chegava a ser escuro e era um lugar lindo e maravilhoso. A mineração demoliu tudo. Aqui em Paracatu, a garotada tomava banho no Córrego Pobre e no Córrego Rico. A água dos córregos era limpinha e tinha muita água, era córrego, mas parecia rio. No Córrego Pobre tinha o poção Paulista e no Córrego Rico, tinha a praia do Vigário, Matinho e Macaco. Os Garimpeiros não gostavam que a menina tomasse banho nos córregos, porque sujava a água, levantava areia e o ouro desaparecia. Onde eles estavam garimpando, não deixavam a gente brincar no córrego.”

**Palavras do Sr. José de Souza, nascido em 29 de novembro de 1928 e residente na Rua Pinheiro Chagas N.º 320, Paracatu - MG. DATA DA ENTREVISTA : 03 de março de 1999.**

---

# Capítulo 1

## Introdução

### A Idéia

*Augusto dos Anjos*

*De onde ela vem?! De que matéria bruta  
Vem essa luz que sobre as nebulosas  
Cai de incógnitas criptas misteriosas  
Como as estalactites duma gruta?!  
Vem da psicogenética e alta luta  
Do feixe de moléculas nervosas,  
Que, em desintegrações maravilhosas,  
Delibera, e depois, quer e executa!*

*Vem do encéfalo absconso que a constringe,  
Chega em seguida às cordas do laringe,  
Tísica, tênue, mínima, raquítica ...*

*Quebra a força centrípeta que a amarra,  
Mas, de repente, e quase morta, esbarra  
No mulambo da língua paralítica.*

---

---

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. APRESENTAÇÃO DO ASSUNTO

A questão da qualidade das águas ganhou evidência com a sanção da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo como um dos fundamentos gerir tais recursos, proporcionando uso múltiplo, em consonância com objetivos que assegurem “à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. Esse ponto demonstra a preocupação com a integração da gestão quanto aos aspectos de qualidade e quantidade, destacando-se, também, o ponto em que uma das ações principais é a “integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental”.

Para avaliar se um determinado corpo d’água apresenta condições satisfatórias para assegurar os seus usos potenciais, conforme a classificação da legislação vigente, é necessário efetuar a caracterização físico-química e bacteriológica da água, ou seja, avaliar a sua qualidade. O levantamento da qualidade de qualquer sistema ambiental depende fundamentalmente da escolha dos parâmetros representativos por ocasião do momento da amostragem. Os parâmetros e respectivos padrões de qualidade da água são determinados em função dos seus usos preponderantes atuais e futuros.

A presente dissertação é um subprojeto vinculado ao projeto: Geoquímica de Águas e Sedimentos de Corrente da Bacia do Córrego Rico, Paracatu – MG, de autoria do professor Geraldo Resende Boaventura. Esse subprojeto procurou utilizar os conhecimentos de geoquímica, geologia ambiental e biologia para realização de análises químicas das águas superficiais e dos sedimentos de fundo da bacia do Córrego Rico, de modo a caracterizar a qualidade da água em parâmetros geoquímicos.

A análise ambiental da área estudada foi abordada na Geoquímica Ambiental que é uma área da geologia que aplica os conhecimentos e princípios geológicos para avaliar os problemas causados pela exploração e ocupação humana do meio ambiente. Os estudos ambientais são importantes para o conhecimento dos processos que estão atuantes na área e a caracterização do meio ambiente.

As águas superficiais e os sedimentos representam o mais importante meio de conexão entre a geoquímica das rochas, o solo e a biologia do organismo vivo, tornando possível a realização deste trabalho interdisciplinar.

---

## 1.2. OBJETIVOS

### Objetivo geral

- Avaliar os impactos ambientais na bacia do Córrego Rico, Paracatu, Minas Gerais, por meio de estudo geoquímico de água e dos sedimentos de fundo.

### Objetivos específicos

- Realizar análises da qualidade da água a partir de técnicas analíticas utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água.
- Interpretação dos dados com base nos limites de tolerância fornecidos pela legislação.
- Analisar e reconhecer as principais intervenções antrópicas na área, principalmente as minerações de ouro, chumbo e zinco, bem como o uso e manejo do solo e da água pela comunidade local.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

A atividade garimpeira no córrego Rico remonta a 1734, estando associada à povoação e fundação da cidade de Paracatu, Minas Gerais, em 20 de Outubro de 1798, por um alvará de Dona Maria I, que criou a Vila de Paracatu do Príncipe.

Em meados da década de oitenta, ocorreu o evento garimpeiro de maior relevância, resultando no quadro de degradação atual na área de garimpo, localizada próxima à nascente do Córrego Rico ( Figura 1.1). Nesta ocasião, um contingente estimado em cerca de 5.000 homens empreendeu intensos trabalhos de garimpagem utilizando equipamentos diversos tais como bombas de sucção, calhas de concentração, moinhos de martelo etc. O mercúrio foi usado indiscriminadamente neste evento garimpeiro, nas calhas de concentração.

Embora o garimpo no córrego Rico tenha sido fechado, ainda na década de oitenta, pelos órgãos oficiais de controle e fiscalização mineral, a atividade garimpeira vem sendo desenvolvida de forma clandestina por alguns poucos habitantes de Paracatu, que utilizam sistemas rudimentares, como caixote/bica/bateia, e que também empregam o mercúrio no processo de concentração.



**Figura 1.1.** Estado de degradação atual da calha do Córrego Rico próximo à nascente.

Desde a fundação da cidade, como consequência da atividade garimpeira, todo esgoto produzido é drenado para o Córrego Rico, tornando-se um problema grave para a qualidade da água do córrego ( Figura 1.2). Após drenar a cidade, o córrego Rico percorre uma extensão de aproximadamente 60 km até desaguar na margem esquerda do rio Paracatu, afluente do rio São Francisco um dos principais rios brasileiros.



**Figura 1.2.** Esgoto lançado sem tratamento no Córrego Rico.

---

O mercúrio, utilizado indiscriminadamente no garimpo, pode ser absorvido pelos organismos vivos na alimentação e vai se acumulando de forma contínua durante toda a vida. Pela contaminação da água ou do solo, entra com facilidade na cadeia alimentar, representando um perigo para o homem que se alimenta de animais e seus derivados, advindos dessas áreas (MASCARENHAS *et al.*, 2004; REIMANN *et al.*, 2005; RYTUBA, 2000). Em trabalho realizado por SILVA *et al.* (2001), verificou-se teor de mercúrio acima do normal, em tecido muscular da ictiofauna residente no curso médio do Córrego Rico. A concentração das espécies carnívoras variou de 0.001 a  $0.274\mu\text{g.g}^{-1}$  p.f., e das não carnívoras, de 0.001 a  $0.524\mu\text{g.g}^{-1}$  p.f, sendo que na porção média do córrego foram encontradas as maiores concentrações. Segundo a legislação brasileira, a concentração de mercúrio total em peixes comestíveis não deve exceder  $0,5\mu\text{g.g}^{-1}$ . Os resultados demonstraram que apesar da proximidade da nascente do Córrego Rico com a área de garimpo, a presença da mata ciliar nesta área, favorece a retenção do mercúrio no seu ponto de origem. No curso médio do rio, onde as margens são desnudas em consequência das diferentes modalidades de uso do solo (agricultura), acrescidas de relevo mais plano, o mercúrio tenderia a se acumular no sistema, tornando-se disponível para o ingresso na cadeia alimentar, culminando nos peixes.

Além disso, a empresa Rio Paracatu Mineração (RPM) mantém grande mina de ouro a céu aberto nas proximidades do Córrego Rico. Embora a empresa não utilize a água do córrego, a proximidade pode fazer com que haja impactos ambientais na água deste córrego tais como: incremento da turbidez, sólidos sedimentáveis e concentração dos elementos químicos na água (Foto 1.3). Somando-se a isso o impacto visual da mina é grande e, segundo o site da empresa, há previsão de expansão da mina, com transposição do leito do Córrego Rico, desde a nascente até a proximidade com a BR-040. Com isso, os dados obtidos serão *background* da qualidade da água antes da expansão.



**Figura 1.3.** Mina de ouro a céu aberto da RPM em Paracatu-MG.

A região de Paracatu tem a agropecuária como a principal atividade econômica da região, com cultura de soja (Foto 1.4) e com criação extensiva de gado bovino de corte e leiteiro para abastecimento, principalmente, da Região Metropolitana de Brasília. Essas atividades utilizam a água do córrego Rico para sua manutenção, portanto é de extrema importância que uma água de boa qualidade seja utilizada.

A região de estudo possui muitos conflitos no uso da água e impactos ambientais, relacionados principalmente com a ocupação desordenada de áreas urbanas e rurais, agricultura extensiva com a utilização de irrigação e desmatamento.



**Figura 1.4.** Cultura de soja no município de Paracatu.

---

O trabalho buscou associar e integrar conhecimentos geológicos, hidrológicos, geoquímicos e biológicos, para compreender os impactos da ocupação humana sobre os recursos hídricos e assim analisar e interpretar a qualidade da água e sedimentos, além de propor técnicas de preservação e recuperação dos mananciais e as implicações para a gestão do sistema de abastecimento de água, tanto de uso da população local, como de uso para manutenção de atividades agropecuárias.

---

# Capítulo 2

## Caracterização da área de estudo

### Rumor das águas

Donizete Galvão

*Se o Rumor é também um Deus,  
nas águas dessas grotas é que ele mora.*

*Nasce, reverbera e estertora.  
Rompe estreitos de rocha. Lambe seixos.  
Espumas saltam-lhe dos cantos da boca.*

*Da fricção das águas, surge uma ópera.  
Glossolalia divina Protomúsica.  
Que soava desde o princípio  
antes da entrada do homem na paisagem.*



---

## 2.1.2 Características fisiográficas e climatológicas

O relevo da bacia é constituído por extensos planaltos com capeamento sedimentar, amplas depressões e extensas cristas. Os planaltos são formados por relevos tabulares, recobertos por vegetação de cerrado, entrecortados por cabeceiras de drenagem pouco aprofundadas, regionalmente conhecidas como “veredas”. Esses planaltos são delimitados por rebordos erosivos bem marcados, denominados regionalmente de “chapadas” e estão relacionados aos sucessivos reencaixamentos fluviais. Ou seja, o relevo se constitui predominantemente de formas aplainadas e onduladas, apresentando a quase ausência de variações topográficas de expressão regional.

O bioma existente na região é o Cerrado, composto predominantemente por cerrado sentido restrito e, em menor concentração, do cerradão, segundo dados do IEF (Instituto Estadual de Florestas) de Paracatu. As áreas mais planas foram transformadas em pastagens e grande parte do cerrado foi extinta para implantação de projetos agrícolas com lavouras de milho, soja, entre outras. As matas, principalmente as ciliares, e as “veredas” têm desaparecido na região com o crescimento da agricultura (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1** - Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Paracatu (PROJETO MARCA D'ÁGUA, 2001).

Classe	Frequência Relativa (%)
Cerrado sentido restrito	22,56
Pasto	21,93
Mata	17,34
Agricultura de Sequeiro	14,92
Campo Cerrado	11,31
Reflorestamento	9,61
Vegetação de Várzea	0,99
Outras áreas	0,66
Agricultura Irrigada	0,64
Mineração	0,04

O município de Paracatu apresenta um clima tropical semi-úmido, com verões chuvosos e invernos secos, e, temperatura oscilando entre:

---

**Ano de Referência: 2004**

- Máxima (média) ..... 29,7° C
- Média (média) ..... 24,4° C
- Mínima (média) ..... 18,5° C

**Ano de Referência: 2005**

- Máxima (média) ..... 30,0° C
- Média (média) ..... 24,3° C
- Mínima (média) ..... 18,6° C

A umidade média anual está em torno de 72% (os meses mais secos são os de agosto e setembro e os mais úmidos os de dezembro e janeiro). A média mensal dos anos de 2004 e 2005 do índice pluviométrico médio aponta os seguintes valores:

**Tabela 2.2** - Índice pluviométrico médio para os anos 2004 e 2005 - mm/ mês

MÊS	ANO		MÊS	ANO	
	2004	2005		2004	2005
Janeiro	417,0	360,0	Julho	5,3	0,0
Fevereiro	526,2	327,0	Agosto	0,0	0,0
Março	209,1	315,2	Setembro	0,0	30,2
Abril	142,4	25,0	Outubro	46,6	11,6
Maio	0,0	4,2	Novembro	131,7	ND
Junho	0,0	3,0	Dezembro	457,8	ND

Fonte: Estação Meteorológica de Paracatu

Os aspectos climatológicos de uma região influenciam diretamente o corpo d'água, provocando sensíveis alterações no seu metabolismo. Num período de maior precipitação pode ocorrer um aumento na turbidez em função do grande aporte de material que é carregado pelas chuvas para o corpo d'água em questão. O vento por sua vez pode provocar uma mistura na água, ocasionando uma ressuspensão de material particulado das partes mais profundas.

---

## **2.2 Atividades econômicas e impactos ambientais.**

No Brasil existem várias áreas degradadas pelo garimpo de ouro, com altos índices de contaminação por mercúrio, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste e em alguns locais da região Sudeste, como por exemplo, no município de Paracatu, Estado de Minas Gerais (CETEC, 1999).

A região de Paracatu tem sido intensamente explorada por indústrias mineradoras de ouro, chumbo e zinco, sendo que o Córrego Rico, tem sua nascente próxima à área da lavra de ouro da Rio Paracatu Mineração.

A agropecuária é a atividade econômica principal da região. Esta atividade ainda é permeada por manejos do solo que não contemplam a sua conservação. São utilizadas de forma intensa as técnicas de aração, gradagem, queimada, pecuária extensiva e ainda a supressão da cobertura vegetal nativa.

## **2.3 Estudos geoquímicos na região.**

A Bacia do Rio Paracatu tem suas águas monitoradas pelo IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas, desde 1997. Na bacia do rio Paracatu são operadas, atualmente, 8 (oito) estações de monitoramento. Destas estações, 3 (três) são ao longo do rio Paracatu. Os demais corpos de água, quais sejam: rio da Prata, córrego Rico, rio Preto, rio do Sono e rio Caatinga possuem apenas 1 (uma) estação de amostragem cada. Em uma avaliação da frequência percentual de ocorrência dos contaminantes, realizada no período de 1997 a 2004, observou-se que os parâmetros fosfato total, turbidez, manganês, coliformes fecais e totais, cor, cobre, cádmio, chumbo, ferro solúvel, cianetos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), amônia não ionizável e oxigênio dissolvido (OD) são os grandes responsáveis pela contaminação por tóxicos nessa bacia. Dentre os parâmetros, os relacionados com a geologia da região estão o cobre, cádmio, chumbo e ferro solúvel. Os outros parâmetros estão relacionados com a deposição de esgotos domésticos. No córrego Rico, os principais impactos apresentados, pela estação única de amostragem, foram o lançamento de esgoto sanitário, lançamento de esgoto industrial, carga difusa e Atividade minerária, apresentando alterações nos parâmetros fosfato total, índice coliformes fecais e totais e cádmio (IGAM, 2005).

---

Outro trabalho que foi desenvolvido na bacia do rio Paracatu foi o projeto de Desenvolvimento de Tecnologia para Descontaminação de Área Degradada pela Atividade Garimpeira, com Recuperação de Mercúrio e Ouro no córrego Rico, desenvolvido pelo CETEC a partir de 2000. Este projeto abordou diversos tópicos, entre eles a qualidade das águas subterrâneas e superficiais. Com relação às águas superficiais, foram amostrados 9 (nove) pontos, dos quais seis estão no córrego Rico e os outros distribuídos em três afluentes, sendo realizadas quatro campanhas entre agosto de 2000 e fevereiro de 2002. Os resultados apontaram uma situação bastante crítica em relação ao mercúrio, na área de garimpo e em relação ao esgoto doméstico. (CETEC, 2004).

Em comparação com os dados obtidos neste trabalho, nos parâmetros que apresentaram alterações, fosfato total, índice de coliformes fecais e totais e cádmio, o fosfato total apresentou concentrações maiores que no trabalho de 2005 realizado pelo IGAM, nos pontos amostrado dentro da cidade de Paracatu, demonstrando que houve uma piora na deposição de esgotos no Córrego. Os coliformes não foram quantificados neste trabalho, porém estão presentes segundo análise realizada. As concentrações de cádmio não apresentaram alterações neste trabalho. Com relação ao mercúrio a área de garimpo ainda é a área crítica, mostrando que ainda há atividade de garimpo na área e demonstrando o caráter pontual da contaminação por mercúrio, já demonstrado em diversos trabalhos.

---

# Capítulo 3

## **BASES CONCEITUAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

*Luz do Sol*

*Caetano Veloso*

*Luz do sol*

*Que a folha traga e traduz*

*Em verde de novo*

*Em folha, em graça, em vida em força, em luz*

*Céu azul que venha até onde os pés*

*Tocam na terra e a terra inspira e exala seus azuis*

*Reza, reza o rio,*

*Córrego pro rio, rio pro mar...*

---

### 3. BASES CONCEITUAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

#### 3.1. INTRODUÇÃO

Há uma forte tendência a se associar o conceito de meio ambiente somente à fauna e à flora. Assim, são deixados de lado elementos essenciais e indissociáveis, próprios do ser humano, cuja subsistência está intrinsecamente vinculada tanto ao meio social, como aos elementos sócio-econômicos, históricos, culturais, bem como aos recursos naturais, entre os quais: fauna, flora, solo, ar, água e minérios.

A avaliação dos impactos das diversas atividades humanas é uma tarefa complexa, não só pela diversidade dos fatores sociais, físicos e biológicos, mas também, porque não se tem o conhecimento exato das relações e interações entre os ambientes físico e social. Muitos estudos têm sido realizados para avaliação de impactos ambientais, a sua maioria voltados para a recuperação das áreas degradadas.

O meio ambiente terrestre onde vivem os humanos e outros organismos vivos, consiste da litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera, sendo que o meio ambiente físico provê os recursos e nutrientes básicos para a sobrevivência. O ciclo de vida humano é um processo de troca de energia, massa e informação entre os humanos e o meio ambiente, estando a saúde intimamente ligada à qualidade deste meio. Os nutrientes, macro e micro elementos na água e solo são extremamente importantes para conservação da biosfera em relação à quantidade disponível para assimilação (CAO *et al.*, 2004).

As atividades humanas de mineração, manufaturas, uso indiscriminado de pesticidas, raticidas e fungicidas, rejeitos químicos e esgoto doméstico, muito freqüentemente afetam o meio ambiente, principalmente o meio aquático. Os contaminantes muitas vezes são transportados para locais remotos pela atmosfera ou atingindo as bacias de drenagem com o escoamento superficial das águas pluviais (ALMADO *et al.*, 2005; YANG *et al.*, 2005).

Dentre as atividades humanas, a mineração se destaca como uma das causadoras de degradação ambiental, tendo o ambiente aquático, água e sedimentos de fundo, sofrido intensa contaminação por parte desta atividade. A poluição hídrica na mineração se origina pelo transporte de partículas de áreas decapeadas por água pluvial; deposição direta de

---

estéril e lançamento de rejeitos em cursos de água; deposição de resíduos sólidos não inertes que podem contaminar o lençol freático; turbilhonamento dos aluviões na operação de dragagem; lançamento de esgotos sanitários e óleos das oficinas das instalações da mineradora (MENEGOL *et al.*, 2001).

Não se pode esquecer, que o elevado desenvolvimento industrial e o crescimento desordenado dos centros urbanos ocorrido nas últimas décadas têm contribuído muito para a contaminação das águas e sedimentos, seja pela negligência no seu tratamento antes de despejá-las nos rios ou por acidentes e descuidos cada vez mais freqüentes, que propiciam o lançamento de muitos poluentes nos ambientes aquáticos. Além disso, esse desenvolvimento faz com que a atividade de mineração cresça intensamente para dar suporte à indústria (SPONZA, 2000).

Dentre os elementos contaminantes provindos da mineração, acredita-se que os metais talvez sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem. Há aproximadamente 2000 anos a.C., grandes quantidades de chumbo eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata, no início da utilização deste metal pelo homem. Mas a contaminação não ocorre somente por metais, as atividades humanas têm cada dia mais contaminado o meio ambiente com elementos químicos muito variados (ALMADO *et al.*, 2005).

### **3.2. IMPACTOS POTENCIAIS DE ALGUMAS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO**

A grande maioria das lavras ocorre a céu aberto, acarretando grande quantidade de material em suspensão na atmosfera, facilitando a contaminação de localidades remotas e com beneficiamento úmido, sendo necessária a utilização de barragens de rejeito para a água contaminada. O custo ambiental em minerações de grande porte, carvão por exemplo, é menor que em de pequeno porte, areia por exemplo. Portanto, o problema na mineração, além de ambiental é econômico, sendo que o custo das análises ambientais e das monitorizações não podem inviabilizar os empreendimentos (NETO *et al.*, 2005).

Abaixo estão relacionadas algumas atividades minerárias e seus respectivos possíveis impactos ambientais por incremento (BORGES, 1992):

Ferro: Turbidez, sólidos sedimentáveis, enriquecimento da água e sedimentos com ferro, alumínio e manganês.

Pedras britadas e ornamentais: Turbidez e sólidos sedimentáveis.

---

Ouro: Turbidez, sólidos sedimentáveis, insumos de flotação, sulfetos, metais pesados e arsênio.

Estanho: Turbidez e sólidos em suspensão.

Fosfato: Turbidez, sólidos sedimentáveis, dureza da água e concentração de fósforo (eutrofização).

Argilas: Turbidez e sólidos sedimentáveis.

Alumínio: Turbidez, sólidos sedimentáveis, concentração de alumínio na água e sedimentos.

Cobre: Turbidez, sólidos sedimentáveis, sulfetos, metais pesados.

Caulim: Turbidez, sólidos sedimentáveis e metais.

Não se pode esquecer que a mineração na maioria das vezes ocorre em locais remotos, não havendo rede sanitária, portanto, o lançamento de esgotos sanitários em ambientes aquáticos também deve ser levado em conta.

Pela análise dos possíveis impactos causados pela mineração, pode-se ter alguns parâmetros geoquímicos a serem analisados na água e no sedimento de fundo, a fim de identificar e quantificar o impacto causado por esta atividade. Estes parâmetros para a água são: turbidez, sólidos sedimentáveis, potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, demanda química de oxigênio e elementos contaminantes.

Em relação aos sedimentos de fundo, elementos contaminantes ou em concentrações elevadas (Pb, Hg, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Sn, As, Fe, Mn, Al, K, P e Ca), devem ser analisados.

Os metais pesados, muitas vezes encontrados nos sedimentos de fundo, são definidos como metais que podem ser precipitados por gás sulfídrico em solução ácida. Eles reduzem a capacidade autodepurativa da água, porque têm ação tóxica sobre os microorganismos responsáveis pela regeneração das coleções hídricas (ALMADO *et al.*, 2005; REIMANN *et al.*, 2005; RYTUBA, 2000).

### **3.3. O MERCÚRIO (Hg) NA ATIVIDADE GARIMPEIRA**

Somente na região amazônica a estimativa é que por ano sejam utilizados 200 mil toneladas de Hg na atividade garimpeira do ouro. Deste total, cerca de 50% são liberadas

---

para os curso de água durante o processo de extração e recuperação, e o restante para a atmosfera durante os procedimentos de queima do amálgama (MASCARENHAS *et al.*, 2004).

Estudo realizado por MASCARENHAS *et al.*, 2004, na bacia do Rio do Acre, uma região sem influência da atividade garimpeira, porém com alto teor de Hg nos peixes da região, demonstrou que os níveis de Hg nos sedimentos de fundo e no material particulado em suspensão estão abaixo dos níveis de contaminação determinados pela legislação. As altas concentrações de Hg nos peixes da região são originadas por processos de metilação extremamente eficientes nos lagos da região com grande quantidade de matéria orgânica disponível. Os processos de erosão e lixiviação dos solos contendo mercúrio associado a óxidos e hidróxidos de ferro, favorecidos pelos desmatamentos, são apontados como grandes fontes naturais de Hg para o meio aquático.

O mercúrio é absorvido pelos organismos vivos principalmente na forma metilada e vai se acumulando de forma contínua durante toda a vida. Pela contaminação da água ou do solo, entra com facilidade na cadeia alimentar, representando um perigo para o homem que se alimenta de peixe ou aves dessas áreas. O metilmercúrio é a principal forma de mercúrio encontrada na flora e fauna, e foi responsável pela maioria das epidemias de envenenamento mercurial já registradas no mundo. Estudos relatam que em peixe, o mercúrio encontrado é quase a totalidade de metilmercúrio. No Brasil, estudos sobre contaminação de mercúrio na Amazônia mostram que o metilmercúrio corresponde a 90% da concentração total de Hg. (BISINOTI, 2004; IPEM, 2003; MASCARENHAS *et al.*, 2004; RYTUBA, 2000)

No ambiente aquático, o mercúrio sofre modificações físico-químicas e fotoquímicas provocadas por processos bióticos e abióticos. Em ecossistemas aquáticos a maior porcentagem de mercúrio total se encontra no sedimento com valores de 90 a 99%, na água com valores de 1 a 10% e na biota com apenas 1%. A distribuição de metilmercúrio tem a seguinte proporção: 90 a 99% se encontram na biota, 1 a 10% no sedimento e apenas 1% na água. Em sistemas estratificados, pode-se generalizar que as maiores concentrações de mercúrio elementar encontram-se próximo à interface ar-água, enquanto a maior concentração do metilmercúrio encontra-se nos sedimentos de fundo. (IPEM, 2003).

Embora o metilmercúrio seja a forma dominante em organismos complexos, ele representa apenas uma pequena parcela do mercúrio total no ecossistema aquático. Sua

---

importância está diretamente relacionada com a capacidade de bioacumulação e conseqüente toxicidade para os organismos. (BISINOTI, 2004; IPEM, 2003).

O mercúrio também está fortemente associado ao material particulado em suspensão (MPS) da água. O grau de associação ao MPS é determinado pelos parâmetros de qualidade de água, como o pH, condutividade, salinidade e presença de matéria orgânica. Na atmosfera, aproximadamente 95% do mercúrio total está na forma elementar ( $\text{Hg}^0$ ), e é oxidado lentamente a mercúrio divalente ( $\text{Hg}^{2+}$ ). A maior quantidade desta oxidação acontece na interface sólido-líquida em névoa e em gotículas de água nas nuvens. O tempo de residência do mercúrio varia de meses até dois anos, podendo ser transportado a longas distâncias, até a deposição sobre a superfície da terra. Esse comportamento confere ao mercúrio o caráter de poluente global, uma vez que pode afetar todas as regiões do planeta (BISINOTI, 2004).

Visando assegurar a saúde pública a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu recomendações para limites seguros para saúde, de concentração de mercúrio em peixe de  $300 \text{ ng.g}^{-1}$  para frequência de consumo diário e, acima de  $500 \text{ ng.g}^{-1}$  não deve ser consumido (IPEM, 2003).

Em trabalho realizado por SILVA *et al.*, 2001, verificou-se alto teor de mercúrio em tecido muscular da ictiofauna residente no curso médio do Córrego Rico, chegando a  $0.524 \mu\text{g.g}^{-1}$  p.f..

### **3.4. BIODISPONIBILIDADE E DISPONIBILIDADE ECOLÓGICA DOS ELEMENTOS**

As águas superficiais e os sedimentos representam o mais importante meio de conexão entre a geoquímica das rochas, o solo e a fisiologia humana.

A distribuição dos elementos na água e nos sedimentos de fundo é um dos fatores mais importantes na biodisponibilidade de um elemento. Biodisponibilidade é a porção de uma espécie química que está disponível para ingestão, inalação ou assimilação por um organismo vivo e que normalmente representa uma pequena quantidade inicialmente contida no material geológico, sendo função da geodisponibilidade, da difusibilidade e da

---

mobilidade da espécie química, além das características do organismo vivo (CORTECCI, 2002).

Podemos dividir os ambientes ecológicos em zonas ecologicamente desfavoráveis por deficiência de elementos, desfavoráveis por excesso de elementos e ecologicamente apropriadas. As zonas ecologicamente desfavoráveis por deficiência de elementos são regiões com grande precipitação e baixa temperatura, onde há uma prevalência de plantas com baixo porte e doenças endêmicas por deficiência de elementos. As zonas ecologicamente desfavoráveis por excesso de elementos são regiões de clima árido, com altas temperaturas, onde há um aumento na concentração dos elementos, podendo causar doenças por excesso de nutrientes. As zonas ecologicamente apropriadas são aquelas em que há um equilíbrio entre a entrada e a saída de elementos. É uma região extremamente vulnerável a contaminação, por estar em um equilíbrio frágil (CAO *et al*, 2003).

Áreas de mineração em zonas ecologicamente desfavoráveis por excesso ou ecologicamente apropriadas tendem a ter um maior peso na contaminação dos ambientes, sendo necessária a análise do ambiente antes do início dos trabalhos de mineração, a fim de minimizar os impactos ambientais. Áreas em que há épocas bem definidas de seca e chuva, com períodos prolongados, podem ser ao mesmo tempo zonas ecologicamente desfavoráveis por excesso ou por deficiência, sendo muito importante a análise nos dois períodos e sua comparação (COTA *et al*, 2004; MOREIRA *et al*, 2003 )

Estudo realizado por MASCARENHAS *et al* (2003), para avaliar as concentrações de mercúrio (Hg) em sedimentos e material particulado do Rio Acre, mostrou concentrações extremamente baixas de Hg, contrastando com teores muito altos na biota da região. Isso sugere que as características físico-químicas da drenagem favorecem a biodisponibilidade, já que facilitam processos de metilação do Hg, forma mais bem absorvida pela biota (CORTECCI, 2002; SOARES *et al*, 2004).

---

### **3.5. A GEOQUÍMICA E A ANÁLISE AMBIENTAL DE AMBIENTES AQUÁTICOS**

A composição química de águas fluviais está sob o controle do intemperismo da rocha matriz, do clima, da decomposição atmosférica e das ações humanas atuantes na bacia em questão (MOREIRA, 2003).

A geoquímica ambiental possui as ferramentas capazes de discriminar, nos vários sistemas (solos, rios, lagos e atmosfera), as contribuições químicas de origem natural das de origem antrópica, contribuindo para o reconhecimento dos mecanismos de transporte dos elementos essenciais e dos tóxicos da geosfera (litosfera, hidrosfera e atmosfera) à biosfera (CORTECCI, 2002).

### **3.6. ANÁLISE GEOQUÍMICA DA ÁGUA**

Na água são realizadas análises físico-químicas de pH, temperatura, turbidez, cloretos, total de sólidos dissolvidos, oxigênio consumido, além da concentração de alguns elementos traço contaminantes, macroelementos e metais pesados (SOARES *et al*, 2004; MARCARENHAS *et al*, 2004; MENEGOL *et al*, 2001)

As amostras coletadas em frascos de polietileno limpos devem ser analisadas em campo para pH, condutividade, total de sólidos dissolvidos e temperatura. Posteriormente, as amostras devem ser filtradas com equipamento de vácuo e filtro de celulose de 0,45mm, em seguida devem ser acidificadas com ácido nítrico ultra puro. Este procedimento garante que os elementos analisados sejam aqueles que se encontram em solução, seja como complexos solúveis ou na forma iônica. Após este procedimento, as amostras devem ser estocadas em geladeira até a análise físico-química para determinação dos elementos. As análises podem ser feitas utilizando-se Espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) para os elementos traço e elementos grandes. Para turbidez e cor da água, utiliza-se espectrofotômetro de luz UV-visível (COTA *et al.*, 2004; MOREIRA, 2003) .

Os parâmetros analisados em campo e em laboratório estão relacionados com os problemas ambientais direta ou indiretamente e por isso a importância de sua análise.

O pH da água para abastecimento público, segundo determinação do CONAMA 357/05, deve ficar na faixa entre 6,0 e 9,0, sendo que a água fora destes valores pode gerar

---

corrosão das estruturas hidráulicas e dos sistemas de distribuição, adicionando ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio. Na natureza o pH da água varia de 5,0 a 9,0 e valores abaixo ou acima destes padrões podem acarretar mortalidade de toda a teia alimentar aquática (MENEGOL *et al*, 2001).

Além disso, a interação de águas, ligeiramente ácidas, com pH ao redor de 5,5, com sulfetos de ferro (pirita  $\text{FeS}_2$ , pirrotita  $\text{Fe}_n\text{S}_n -x$  ou calcopirita  $\text{FeCuS}_2$ ), em locais de mineração desses sulfetos, aumenta muito a sua acidez. A água, mais ácida, ataca mais as rochas e os minerais, aumentando a porcentagem de metais pesados com potencial tóxico em solução, criando condições para surgimento de sedimentos e águas tóxicos.

- Oxidação de pirita:



- Dissolução de silicato:



- Dissolução de calcário:



A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. Uma variação na condutividade elétrica da água pode ocorrer, de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas (pH 9 ou pH 5), os valores de condutividade são devidos apenas às altas concentrações de poucos íons

---

em solução, dentre os quais os mais freqüentes são o  $H^+$  e o  $OH^-$  (BRANCO, 1986; ESTEVES, 1988).

A temperatura da água sofre pequena variação durante o dia e é variável de região para região. Esta alteração de temperatura está intimamente relacionada ao teor de oxigênio dissolvido, sendo que um aumento na temperatura provoca diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido (MENEGOL *et al.*, 2001).

Nos ecossistemas aquáticos continentais, a quase totalidade da propagação do calor ocorre por transporte de massa de água, sendo a eficiência deste em função da ausência ou presença de camadas de diferentes densidades. Em lagos, que apresentam temperaturas uniformes em toda a coluna, a propagação do calor através de toda a massa líquida pode ocorrer de maneira bastante eficiente, uma vez que a densidade da água nessas condições é praticamente igual em todas as profundidades, sendo o vento o agente fornecedor da energia indispensável para a mistura das massas de água. Por outro lado, quando as diferenças de temperatura geram camadas de água com diferentes densidades, que em si já formam uma barreira física, impedindo que se misturem, e se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, criando a condição de estabilidade térmica. Quando ocorre este fenômeno, o ecossistema aquático está estratificado termicamente. Os estratos formados freqüentemente estão diferenciados física, química e biologicamente (BRANCO, 1986; ESTEVES, 1988).

A turbidez da água está relacionada às partículas sólidas em suspensão que diminuem a transmissão de luz no meio aquático, diminuindo a taxa de fotossíntese no fitoplâncton e com isso havendo uma queda na quantidade de alimento disponível logo no início da cadeia alimentar. Além disso, diminui a eficiência da cloração, por proteger fisicamente os microorganismos e com isso aumentando a probabilidade de eutrofização do ambiente aquático, quando associado a um aumento no transporte de matéria orgânica advinda de esgotos domésticos (MENEGOL *et al.*, 2001).

Cloreto na forma  $Cl^-$  é um dos principais ânions encontrados nos esgotos domésticos, uma vez que o cloreto de sódio está presente na urina. Assim, a determinação da concentração de cloretos na água é uma medida indireta da poluição por esgoto doméstico (MENEGOL *et al.*, 2001).

Com relação ao total de sólidos sedimentáveis (TDS), o aporte de efluentes domésticos e industriais amplia significativamente a concentração de sólidos sedimentáveis

---

nas águas dos rios afetados e a concentração de vários elementos. Nos rios brasileiros há uma maior quantidade de sólidos sedimentáveis no período chuvoso, porém com pequena variação da carga dissolvida (MENEGOL *et al.*, 2001).

O teste de oxigênio consumido (OC) permite avaliar poluentes orgânicos em termos da quantidade total de oxigênio requerida para a sua completa oxidação, além de avaliar despejos que possam causar mortalidade de peixes ou transferência de gosto à água. O ensaio é baseado no fato de que todos os compostos orgânicos podem ser oxidados por um forte agente oxidante em condições ácidas, resultando em CO<sub>2</sub> e água (MENEGOL *et al.*, 2001).

Carmo e Boaventura no ano de 2000 realizaram a análise geoquímica das águas da bacia hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD) na época seca e de chuvas. Com isso, demonstraram em relação à qualidade da água, que há variação na concentração dos elementos, nos diferentes períodos climáticos, além de elevação nos parâmetros, alcalinidade, turbidez, fosfato e amônia, indicando grande ação antrópica com comprometimento local do manancial, já que há uma diminuição gradual das concentrações ao longo do percurso do rio. Assim, com esses dados, faz-se necessária a coleta de amostras nos períodos de seca e chuva na região do Córrego Rico para o desenvolvimento desse trabalho.

### **3.7. ANÁLISE GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS.**

O sedimento de fundo é definido como material não consolidado, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante e contínua dos processos de intemperismo e erosão (MOREIRA, 2002). Os sedimentos são produtos de processos de degradação física e química em grande escala, é de extrema necessidade obter o máximo de informações sobre sua origem, suas características mineralógicas e físico-químicas, bem como os fatores ambientais que controlam os processos de intemperismo, transporte e deposição. Portanto, a simples realização de análises químicas de sedimentos, sem levar em conta a origem e composição química da rocha fonte, pode levar a uma superestimação da contribuição antropogênica de um elemento em particular (SOARES *et al.*, 2004).

Os sedimentos são carreadores e fontes potenciais de contaminantes nos sistemas aquáticos. Portanto, o estudo dos poluentes em sedimentos tem se tornado uma ferramenta

---

importante para a distinção da origem da poluição, antrópica ou natural (SOARES *et al.*, 2004).

A análise da composição dos sedimentos deve ser realizada nas frações granulométricas mais finas dos sedimentos, silte e argila. Isso porque se observa uma maior afinidade dos metais com estas frações e assim constituindo-se bons indicadores de poluição dos sedimentos (SOARES *et al.*, 2004; MOREIRA, 2002).

A determinação de matéria orgânica em amostras ambientais tem merecido grande atenção dos pesquisadores. A importância desse estudo reside no fato de que a interpretação da ocorrência de matéria orgânica nesses ambientes representa efetiva contribuição sobre origem, natureza e destino final dessa matéria no ambiente considerado, sendo que em amostras de sedimentos é indicativa de processos geoquímicos associados ao ambiente geológico considerado. A matéria orgânica transportada pelos cursos de água, seja particulada ou dissolvida, pode agregar-se a materiais geológicos, sedimentarem e formarem os sedimentos de cursos de água e lagos. As interações da matéria orgânica com o material geológico levam à formação de ácidos orgânicos livres, que aumentam a acidez do meio aquoso, podendo causar aumento na taxa de intemperismo químico de rochas e assim enriquecendo o meio aquoso. (DIAS *et al.*, 2004)

### **3.8 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS METAIS**

Os metais estão presentes em todo o meio ambiente, sendo oriundos de fontes naturais (geogênica) e artificiais (antropogênica, antrópica ou cultural). As fontes geogênicas dizem respeito à contribuição natural oriunda das rochas, que ao serem intemperizadas liberam metais para o meio ambiente em quantidades variáveis, dependendo da geodisponibilidade desse elemento, passando a fazer parte do ecossistema. As fontes artificiais, muitas vezes mais danosas para o meio ambiente, são aquelas oriundas de atividades antrópicas, como minerações, indústrias, esgoto doméstico e que liberam vários metais no meio ambiente e em grande quantidade.

A seguir (Tabela 3.1) são descritos as principais funções dos metais no corpo humano, sendo que sua ausência ou excesso pode acarretar graves problemas de saúde pública (CORTECCI, 2002).

**Tabela 3.1.** Principais funções dos metais no corpo humano (CORTECCI, 2002).

<b>Elemento</b>	<b>USRDA</b>	<b>Ação Biológica</b>
Ca Cálcio	800 – 1.200 mg	Necessário para fortalecimento de ossos e dentes. Empregado nos mecanismos de contração e relaxamento muscular, na coagulação do sangue, na regulação da permeabilidade celular e na transmissão de impulsos nervosos.
Cl Cloro	750 – 3.600 mg	Presente sobretudo na forma iônica. Necessário para o balanço hídrico e controle da pressão osmótica. Participa da digestão e assimilação dos alimentos.
Cr Cromo	50 – 200 µg	Importante para o metabolismo dos açúcares. Sintomas de falta de cromo (intolerância a glicose, resistência à insulina, crescimento lento, neuropatia periférica, redução da fertilidade dos espermatozoides) são encontradas em crianças mal-nutridas e indivíduos com diabetes.
Co Cobre	1,55 – 3 mg	Essencial para o metabolismo energético, sendo componente de enzimas oxidantes. Necessário para a síntese da hemoglobina, para funções neuro-cerebrais e para queratização e pigmentação da pele e do cabelo. Sintomas de falta de cobre são osteoporose, deficiência de glóbulos brancos e a redução de defesa imunológica.
F Fluor	1,5 – 4 mg	Presente nos ossos e dentes. Evita cárie dentária e osteoporose.
I Iodo	150 µg	Presente sobretudo na tireóide e como constituinte do hormônio tireoidal. Necessário para controle da temperatura corpórea, o metabolismo, a reprodução e o crescimento.
Fe Ferro	10 – 15 mg	Constituinte da hemoglobina e da mioglobina (molécula que fixa e transporta oxigênio no sangue e nos tecidos) e de complexos enzimáticos. Necessário para a geração de energia a nível celular e para a integridade do sistema imunológico.
Mg Magnésio	280 – 350 mg	Presente principalmente nos ossos. Participa do mecanismo de contração muscular e é indispensável para a ação de numerosos enzimas.
Mn Manganês	2 – 5 mg	Promove o crescimento, o desenvolvimento e as funções celulares. É parte integrante de ossos e cartilagens e fator essencial nas reações enzimáticas que envolvem os metabolismos protéico, lipídico e glucídico.
Mo Molibdênio	75 – 250 µg	Constituinte de enzimas que participam de importantes reações de óxido-redução (oxidação de aldeídos e outros). De certa forma, o papel do Mo é análogo ao do Mn.
P Fósforo	800 – 1.200 mg	Essencial para boa saúde dos ossos e produção de energia. Participa de quase todas as reações químicas que ocorrem no organismo.
K Potássio	2.000 – 3.500 mg	Regula o balanço dos fluidos corpóreos. Atua também nas contrações musculares e na transmissão de impulsos nervosos.
Se Selênio	55 – 70 µg	Tem papel importante na prevenção de algumas doenças cardiovasculares e neoplasias. Evita oxidação por radicais livres, retardando o processo degenerativo de envelhecimento.
Na Sódio	500- 2.400 mg	Tem papel importante na manutenção do equilíbrio hidrossalino do organismo. Atua na transmissão dos impulsos nervosos e no transporte dos metabólicos.
Zn Zinco	12 – 15 mg	Ocorre em todos os tecidos corpóreos, em particular em ossos, músculos e pele. Protege o fígado de danos químicos. Necessário para integridade do sistema imunológico. Regula o crescimento.

---

### 3.9. FONTES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

#### Cálcio (Ca)

O Cálcio elemento é constituinte majoritário de muitos minerais formadores de rochas, como os aluminossilicatos (plagioclásios, feldspatos, piroxênios, anfibólios), fosfatos, carbonatos (calcita –  $\text{CaCO}_3$ , dolomita –  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), sulfatos (anidrita-  $\text{CaSO}_4$ , gipsita –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e fluoretos (fluorita –  $\text{CaF}_2$ ). Embora os calcários e mármore sejam as rochas mais comuns de constituição calcária, este elemento também pode estar presente em argilitos, siltitos e arenitos em quantidades variadas. O íon cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) junto com os íons magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) são os responsáveis pela dureza da água (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

#### Magnésio (Mg)

Os minerais que concentram a maior quantidade de magnésio são magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), biotita ( $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3(\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ), granada, piroxênio, clorita, alanita, entre outros. As rochas que concentram as maiores quantidades de magnésio são as rochas ultramáficas, carbonáticas sedimentares e marinhas, assim como suas equivalentes metamórficas (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

#### Potássio (K)

As principais fontes naturais de potássio são os minerais feldspatos potássicos (ortoclásio –  $\text{K}(\text{Al Si}_3\text{O}_8)$ ), micas (moscovita –  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ , biotita -  $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3(\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ , silvinita (KCl)), entre outras. Pode-se citar como fontes antrópicas os efluentes industriais, minerários e agrícolas. Esse elemento é encontrado na crosta terrestre em várias concentrações, sendo as maiores em granitos feldspáticos, folhelhos e argilitos marinhos (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

---

## Ferro (Fe)

Os principais minerais de ferro de origem sedimentar são representados pela hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) e pirita ( $\text{FeS}_2$ ). O ferro ocorre na crosta terrestre em elevadas concentrações, sendo encontrado em rochas ultramáficas, argilitos marinhos e folhelhos, entre outras. No sedimento, o carbono orgânico é usado pelas bactérias para reduzir os óxidos de ferro em compostos ferrosos e sulfatos para sulfetos dissolvidos (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

## Manganês (Mn)

O manganês é encontrado em vários grupos de minerais ( silicatos, óxidos, sulfatos, carbonatos, etc. ), mas principalmente em minerais silicáticos formadores de rochas. Os minerais silicáticos ferromagnesianos (olivina, piroxênio, anfibólio) contém muito mais manganês que os feldspatos e o quartzo, assim as rochas máficas e ultramáficas contém mais manganês que as rochas graníticas (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978). Muito utilizado na indústria do aço.

## Alumínio (Al)

Este elemento é encontrado principalmente em silicatos (feldspatos, anfibólios, micas), óxidos, hidróxidos e argilominerais. Está presente na crosta terrestre em concentrações elevadas. O sulfato de alumínio é muito utilizado no tratamento do esgotos. Além disso é utilizado em materiais de construção e automóveis (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

## Estrôncio (Sr)

As maiores concentrações de estrôncio ocorrem em carbonatos sedimentares, granitos feldspáticos e folhelhos. A concentração de estrôncio nas águas de rios decorre principalmente de carbonatos sedimentares e sulfatos (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

## Vanádio (V)

O vanádio ocorre em depósitos de sulfetos associado a Pb, Zn, Cu e Mn. Os óxidos de ferro demonstram grande capacidade de adsorção de vanádio. As principais fontes

---

antrópicas estão relacionadas com processos industriais (calcário, cimento, fosfato) e à combustão de carvão e óleos. (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

#### Cobre (Cu)

Os principais minerais de cobre são calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), bornita, ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), entre outros. As maiores concentrações de cobres estão nos argilitos marinhos, folhelhos, carbonatos e granitos feldspáticos. Alguns filitos, quartzitos e xistos possuem concentrações consideráveis. As fontes antrópicas estão relacionadas ao uso de fertilizantes, pesticidas, algicidas, indústrias de tintas e ligas metálicas (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

#### Zinco (Zn)

O zinco tem como principal mineral a esfarelita ( $\text{ZnS}$ ). Das unidades litológicas os argilitos marinhos, folhelhos e filitos são os que apresentam as maiores concentrações de zinco. As principais emissões antrópicas estão relacionadas com indústrias metalúrgica, elétrica, galvanizadora, mineradoras e práticas agrícolas (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

#### Bário (Ba)

O principal mineral é a barita ( $\text{BaSO}_4$ ). As maiores concentrações de bário estão nos argilitos marinhos, granitos não feldspáticos, folhelhos e granitos feldspáticos. Este metal é utilizado em pigmentos e inseticidas substituindo o elemento Ca (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

#### Cromo (Cr)

O principal mineral de ocorrência do Cr é a cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), sendo comum em rochas ultramáficas. Ocorre substituindo o alumínio em muitos minerais. As principais fontes de contaminação estão nos rejeitos industriais e urbanos, fabricação de tintas, corantes, explosivos, cerâmica e papel (MAIA, 2003; SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

---

## Arsênio (As)

Os principais minerais de ocorrência do As são arsenopirita (FeAsS), realgar (AsS), ouropigmento (As<sub>2</sub>S) e escorodita (Fe[AsO<sub>4</sub>].2H<sub>2</sub>O). Na crosta terrestre o As ocorre em baixas concentrações, sendo mais comum em argilitos marinhos e folhelhos, assim como em seus equivalentes metamórficos. As principais fontes antrópicas de As são pesticidas, cola e pigmentos de papel de parede, resíduos industriais e a atividade de mineração de Au, Pb, Cu e Ni (SANTOS, 1997; WEDEPOHL, 1978).

## Cádmio (Cd)

O Cd tem como minerais mais comuns o sulfeto de cádmio (CdS) que geralmente ocorre como uma camada sobre minerais de Zn, especialmente a esfarelita (ZnS), o carbonato de cádmio (CdCO<sub>3</sub>) e o óxido de cádmio (CdO) (WEDEPOHL, 1978). As principais fontes antrópicas de cádmio são as baterias, pigmentos de tintas e atividades de mineração de Zn e Pb, como ocorre em mineradoras de Zn e Pb na Formação Vazante (BAIRD, 1999).

## Mercúrio (Hg)

Este elemento ocorre principalmente como cinábrio (HgS) e como mercúrio nativo líquido (Hg<sup>0</sup>), embora possa entrar na constituição de vários minerais, porém não como constituinte principal. Na crosta terrestre ocorre em baixíssimas concentrações, estando altas concentrações geralmente associadas a atividade antrópica. O Hg é utilizado em fungicidas, bactericidas, catalisadores e no processo de amalgamação para separação do ouro no garimpo (BAIRD, 1999; WEDEPOHL, 1978).

### **3.10. CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA EM ÁREAS DE MINERAÇÃO**

Capacidade de resiliência é a capacidade que uma área tem de se recuperar naturalmente, ou seja, sem ação antrópica. As perspectivas de regeneração natural em áreas mineradas são pouco promissoras, embora ocorra. A recuperação de áreas desmatadas no cerrado ocorre por germinação de sementes e por brotação de raízes de algumas espécies que quando têm suas raízes expostas à luz, conseguem desenvolver toda a parte aérea. Em áreas mineradas a taxa de germinação de sementes é muito baixa, sendo que grande parte

---

das plantas regeneradas desenvolveu-se a partir da raiz. Isso se dá pelo fato de que o cerrado possui grande biomassa subterrânea (CORRÊA, 2005).

A riqueza e a diversidade de espécies, nas áreas mineradas em recuperação natural, são inversamente proporcionais à profundidade de corte de cavas mineradas. Em seis meses de regeneração, locais que perderam apenas 0,2m de camada superficial recuperaram 79% da diversidade original de espécies. Cavas entre 1,6 e 2,2m de profundidade recuperaram entre 35 e 30% da diversidade original e assim sucessivamente (CORRÊA *et al.*, 1998). Portanto, em áreas de cerrado, em que grande parte da biomassa está sob a forma de raiz, é muito importante saber a capacidade de recuperação natural do sistema, que pode chegar próxima a zero, dependendo da profundidade da cava e assim necessitando de intervenção antrópica para a recuperação da área (CORRÊA, 2005).

Há alguns fatores que dificultam o estabelecimento e o desenvolvimento de plantas em áreas mineradas: topografia que favorece enxurradas, compactação do solo, baixa capacidade de retenção de água e baixa concentração de nutrientes.

A ausência de vegetação nas margens e a compactação do solo em áreas mineradas dificultam a infiltração de água no solo, fazendo com que ocorra escoamento superficial, causando erosão, empobrecendo ainda mais o solo. Isso faz com que ocorra o enriquecimento da água e do sedimento de fundo do córrego, pois aumenta o carreamento de materiais para o leito do córrego na época de chuvas, além do assoreamento do leito.

### **3.11. PARÂMETROS BIOLÓGICOS – COLIFORMES**

As águas superficiais são habitadas, normalmente, por muitos tipos de bactérias, assim como por várias espécies de algas e de peixes. Essas bactérias são muito importantes, pois se alimentam de matéria orgânica e assim consomem toda a carga poluidora que é lançada, sendo assim as principais responsáveis pela autodepuração, ou seja, limpeza do rio. Porém, quando o rio recebe esgotos, ele passa a conter outros tipos de bactérias que não são da água e que podem ou não causar doenças às pessoas que beberem dessa água. Um grupo importante, dentre elas, é o grupo das bactérias coliformes (BRANCO, 1986; ESTEVES, 1988).

Bactérias coliformes não são necessariamente patogênicas. Elas, ao contrário, vivem no interior do intestino de animais de sangue quente, auxiliando na digestão. As fezes contém um número muito grande dessas bactérias. Isso tem uma grande importância

---

para a avaliação da qualidade da água dos rios, pois se suas águas recebem esgotos, fatalmente receberão coliformes (BRANCO, 1986).

A presença das bactérias coliformes na água de um rio significa, pois, que esse rio recebeu matéria fecal, ou esgotos. Por outro lado, são as fezes das pessoas doentes, que transportam, para as águas ou para o solo, as bactérias patogênicas. Assim, se a água recebe fezes, ela pode muito bem estar recebendo bactérias patogênicas. Por isso, a presença de coliformes na água indica a presença de fezes e, portanto, a possível presença de seres patogênicos (BRANCO, 1986; CARMOUZE, 1994).

O Córrego Rico tem como grande problema atual a deposição de esgoto doméstico sem tratamento, tornando o estudo de coliformes muito importante, como demonstrado em trabalhos anteriores realizados por CETEC, 2004 e IGAM, 2005.

---

# Capítulo 4

## Contexto geológico

### Silêncio

Donizete Galvão

*De pedra ser.  
Da pedra ter  
o duro desejo de durar.  
Passem as legiões  
com seus ossos expostos.  
Chorem os velhos  
com casacos de naftalina.  
A nave branca chega ao porto  
e tingem de vinho o azul do mar.  
O maciço de rocha,  
de costas para a cidade  
sete vezes destruída,  
celebra o silêncio.  
A pedra cala  
o que nela dói.*

---

## 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

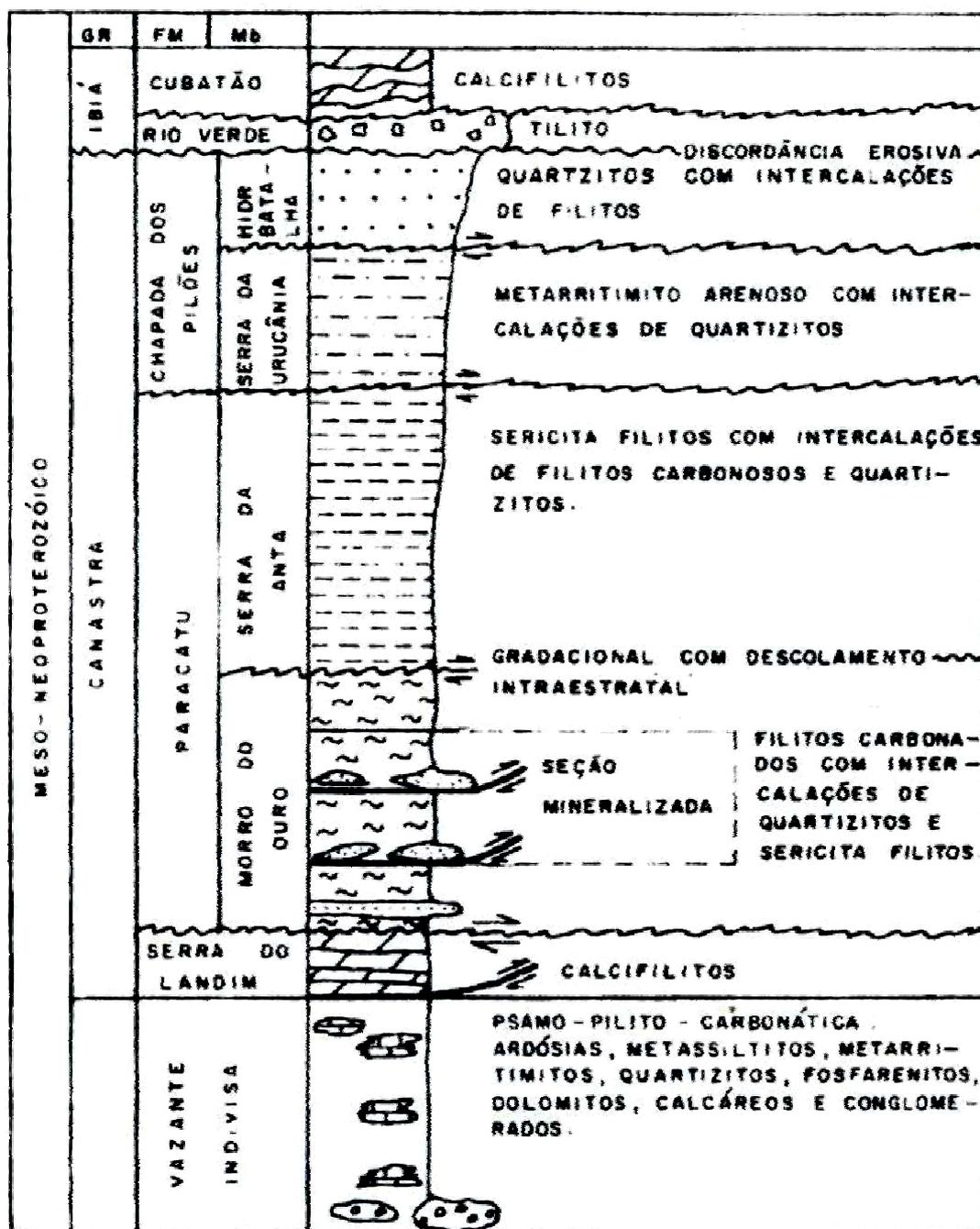
A caracterização das feições geológicas da região de Paracatu é fundamental para o conhecimento do meio físico que em grande parte condicionam a geomorfologia, hidrogeologia e a pedologia. Por consequência, o conhecimento da geologia regional e local é ferramenta indispensável para estudos ambientais e hidrogeológicos, pois a água superficial e subterrânea é controlada pelos litotipos que a abriga. O Córrego Rico percorre as formações Paracatu e Vazante, portanto a geologia apresentada neste trabalho discorrerá sobre estas formações (Figura 4.2).

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA FORMAÇÃO PARACATU

Os levantamentos para a caracterização geológica da área de estudo foram embasados pelo Mapa Geológico do Morro do Ouro e Adjacências (ZINI *et al*, 1988) e pela coluna estratigráfica definida por FREITAS-SILVA E DARDENNE, 1992, (Figura 4.1).

A primeira porção Córrego Rico abrange uma área de aproximadamente 640 hectares que vai desde a nascente até a entrada do córrego na cidade de Paracatu. Nesta área o relevo é diversificado, principalmente relacionado às atividades humanas, como o garimpo de ouro, que provocaram grandes alterações e contribuíram para tornar a paisagem complexa. Em trabalho realizado pelo CETEC, 1981, foram definidas quatro unidades com subdivisões introduzidas por essas alterações: a Crista Filítica de oeste, a Vertente Laterítica da margem direita do córrego Rico, o Morro do Ouro e a Planície Fluvial do córrego Rico.

A Crista Filítica integra a unidade de relevo regional denominada Cristas de Unai (CETEC, 1981), tendo o substrato constituído por filitos carbonosos com finas lentes de quartzito, cortados por veios de quartzo. A crista tem sua direção condicionada pela foliação NW-SE e faz parte das transcorrências que compõem o Sistema de Lineamentos Rio Escuro (FREITAS-SILVA, 1991). A superfície é revestida por uma cascalheira coluvial com 15cm de espessura média, onde são mais freqüentes os fragmentos de quartzo, laterita e filito de tamanhos variados.



**Figura 4.1.** Coluna estratigráfica proterozóica da região de Paracatu. (Fonte: FREITAS-SILVA, 1996, modificada).

A Vertente Laterítica é um pedimento elaborado durante a fase semi-árida entre o Terciário Superior e o Quaternário Inferior. Sobre a superfície acumularam-se depósitos colúvio- aluviais espessos, que podem atingir até 10m e deram origem aos latossolos. O Solo Elúvio-Coluvial é argiloso, vermelho e laterítico, sendo resultante do intemperismo de rochas filíticas. Pelitos Laterizados e Lateritos, em pequenas concreções ou em blocos

---

maciços, ocorrem nas cabeceiras do córrego Rico. O terraço de cascalho aurífero do córrego Rico, sob a forma de um conglomerado, era a base dos depósitos colúviais lateríticos próximo ao canal de drenagem e, portanto, fazia parte da unidade da Vertente Laterítica. Este terraço foi intensamente trabalhado, restando poucos vestígios do mesmo. Um ou outro bloco de conglomerado muito coeso, fortemente oxidado, e depósitos de rejeito ainda podem ser encontrados, integrando agora a unidade da Planície Fluvial.

A unidade Morro do Ouro é uma estrutura monoclinal elaborada sobre as rochas metapelíticas da Formação Paracatu (Seqüência Morro do Ouro), com declives predominantes NW e SW condicionados pelos mergulhos gerais da foliação e uma escarpa a leste voltada para a bacia do rio São Domingos controlada por uma frente de empurrão sobre as rochas da formação Vazante. O topo atingia cotas entre 820 e 830m e as vertentes convexas tinham declividades entre 15 e 30%. Pouco restou intacto na unidade Morro do Ouro com a exploração da jazida aurífera pela Rio Paracatu Mineração. As vertentes são rochosas, com o substrato caracterizado pelos filitos carbonosos ritmicamente alternados com níveis milimétricos de metarenitos.

Segundo FREITAS-SILVA, 1996, a Seqüência Morro do Ouro da Formação Paracatu é subdividida em quatro unidades. A Unidade A é constituída por filitos carbonosos com finas intercalações de quartzito. Os filitos carbonosos da unidade A, da capa da mineralização, são dominados por mica branca com a fórmula geral  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ , quartzito ( $SiO_2$ ) e clorita com a fórmula geral  $(Mg,Al,Fe)_{12}(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$ , com médias respectivas de 51%, 24% e 6%. Os minerais acessórios mais comuns são ilmenita/magnetita, rutilo ( $TiO_2$ ), turmalina e matéria orgânica. Os sulfetos são raros, assim como os carbonatos.

A análise por difração de raios-X caracterizou as micas brancas desta unidade como moscovitas, levemente enriquecidas em ferro, enquanto as cloritas são do grupo das ripidolitas  $(Mg,Fe)_9Al_6Si_5O_{20}(OH)_{16}$ .

As ilmenitas são todas ferrilmenitas e as magnetitas foram formadas a partir de sua desestabilização. O titânio liberado nessa reação cristalizou como rutilo. Em algumas lâminas, observa-se a substituição dos óxidos por sulfetos, em geral pirita ( $FeS_2$ ) ou pirrotita ( $FeS$ ). A matéria orgânica compõe em média 0,4% do material.

As Unidades B e C são auríferas, trata-se de filito rítmico, com lâminas silto-arenosas e lâminas argilo-carbonosas, constituído principalmente por quartzito e moscovita, tendo como acessórios carbonato e plagioclásio. Contém boudins de quartzito de dimensões

---

milimétricas a métricas. Os minerais opacos assinalados são pirita ( $\text{FeS}_2$ ), arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), pirrotita ( $\text{FeS}$ ) tetraedrita, galena ( $\text{PbS}$ ), blenda ( $\text{ZnS}$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e ilmenita. (LACERDA, 1990).

A Unidade D tem espessura média de 30 m e é composta por filitos carbonosos levemente carbonáticos, com intercalações de quartzito, metassilito, clorita filito, pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e alguma arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ). (LACERDA, 1990).

A unidade mineralizada possui a mesma mineralogia básica da unidade não mineralizada, a diferença significativa está na presença de sulfetos que chegam a 1,35%, carbonatos que chegam a 1,95% e pequena quantidade de clorita, com média de 0,6%, contra 6% na unidade não mineralizada.

A planície aluvionar é assimétrica e a maior parte do aluvião concentrava-se na margem direita. O córrego Rico nasce na cota 788m, percorre 1km no sentido E-W, quando então inflete e toma o sentido N-S adaptado a um falhamento normal, denominado Falha do Córrego Rico, por aproximadamente 2,5km até a BR-040. O Aluvião Recente é basicamente composto pelos rejeitos do garimpo, apresentando espessura de até 7,5 metros, sendo constituído por intercalações de camadas arenosas e argilosas, de espessuras variáveis, contendo seixos quartzosos. O aluvião antigo é constituído de areia grosseira com restos de solo elúvio/colúvial, vermelho e laterítico, e seixos resultantes de lavagem de garimpos antigos, às vezes consolidados.

## **4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA FORMAÇÃO VAZANTE**

Apesar do grande número de trabalhos sobre a estratigrafia, realizados na região, ainda restam dúvidas a cerca das denominações estratigráficas para a seqüência sedimentar da Formação Vazante. Os filitos carbonosos da região foram denominados como Formação Paracatu (ALMEIDA, 1967). DARDENNE, 1978, sugeriu que a correlação da seqüência pelito-carbonatada com o Grupo Bambuí não era segura, propondo a criação de uma formação específica, a Formação Vazante.

Inicialmente CAMPOS NETO, 1984, sugeriu um modelo de evolução paleogeográfica para a área de Vazante, envolvendo as Formações Paracatu, Vazante e o Grupo Canastra. Os dolomitos intercalados com filitos da Formação Vazante foram divididos por RIGOBELLO *et al.*, 1988, em quatro membros, da base para o topo: Morro do Pinheiro inferior, Morro do Pinheiro superior, Pamplona Inferior e Pamplona superior.

---

Posteriormente, surgiram várias propostas de subdivisão para a seqüência pelito-carbonatada da Formação Vazante como, por exemplo, a proposta de FREITAS-SILVA E DARDENNE (1992a e 1992b), sugerindo cinco fácies com contatos gradacionais e interdigitados, sendo elas: Fácies Serra do Garrote, Fácies Morro do Calcário, Fácies Serra do Velozinho, Fácies Serra da Lapa e Fácies Serra do Landim. Estas fácies, juntamente com as fácies relacionadas à Formação Paracatu compreenderiam segundo FREITAS-SILVA E DARDENNE (1992a e 1992b) uma unidade pré-Bambuí denominada Unidade Paracatu-Vazante.

Na Formação Vazante, a mineralogia da zona mineralizada é relativamente simples, dominada por esfalerita (ZnS) e galena (PbS). A pirita ocorre em quantidade subordinada. Os minerais de ganga, minerais e/ou rochas sem interesse econômico que ocorrem associados com o minério, são, principalmente, dolomita (mineral carbonato de cálcio e magnésio [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]), quartzo (SiO<sub>2</sub>), barita (mineral sulfato de bário (BaSO<sub>4</sub>)) e calcita (mineral carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>)).

Em 1998, DARDENNE *et al*, propôs uma nova classificação, formando o Grupo Vazante. O Grupo Vazante é formado por cinco unidades denominadas, da base para o topo, como: psamo-pelítica inferior de Coromandel; psamo-pelito-carbonatada de Lagamar; pelítico intermediária da Serra do Garrote; argilo-dolomítica de Vazante-Paracatu-Unai e superior da Serra da Lapa. Posteriormente é sugerido por DARDENNE, 2000, uma nova divisão para o Grupo Vazante, constituindo assim um grupo composto por sete formações, sendo da base para o topo a seguinte seqüência: Retiro, Rocinha, Lagamar, Serra do Garrote, Serra do Poço Verde, Morro do Calcário e Serra da Lapa. As formações Serra do Poço Verde e Morro do Calcário, de acordo com essa nova divisão, corresponderiam à antiga denominação da Formação Vazante, com os membros Pamplona e Morro do Pinheiro (RIGOBELLO *et al*, 1988).

### **4.3 ALTERAÇÃO ANTRÓPICA DA GEOMORFOLOGIA**

Na época colonial, com a atividade de garimpo, foram removidos até 6m dos depósitos superficiais em uma faixa com largura média de 500m e foi construída uma rede de canais em forma de “espinha de peixe” para a retirada de material.

O terraço de cascalho que foi desmantelado situava-se sobre o falhamento e mostra que o córrego Rico deslocou-se de oeste para leste. A planície aluvionar está completamente degradada pelo garimpo, sendo composta pela calha assoreada pelos

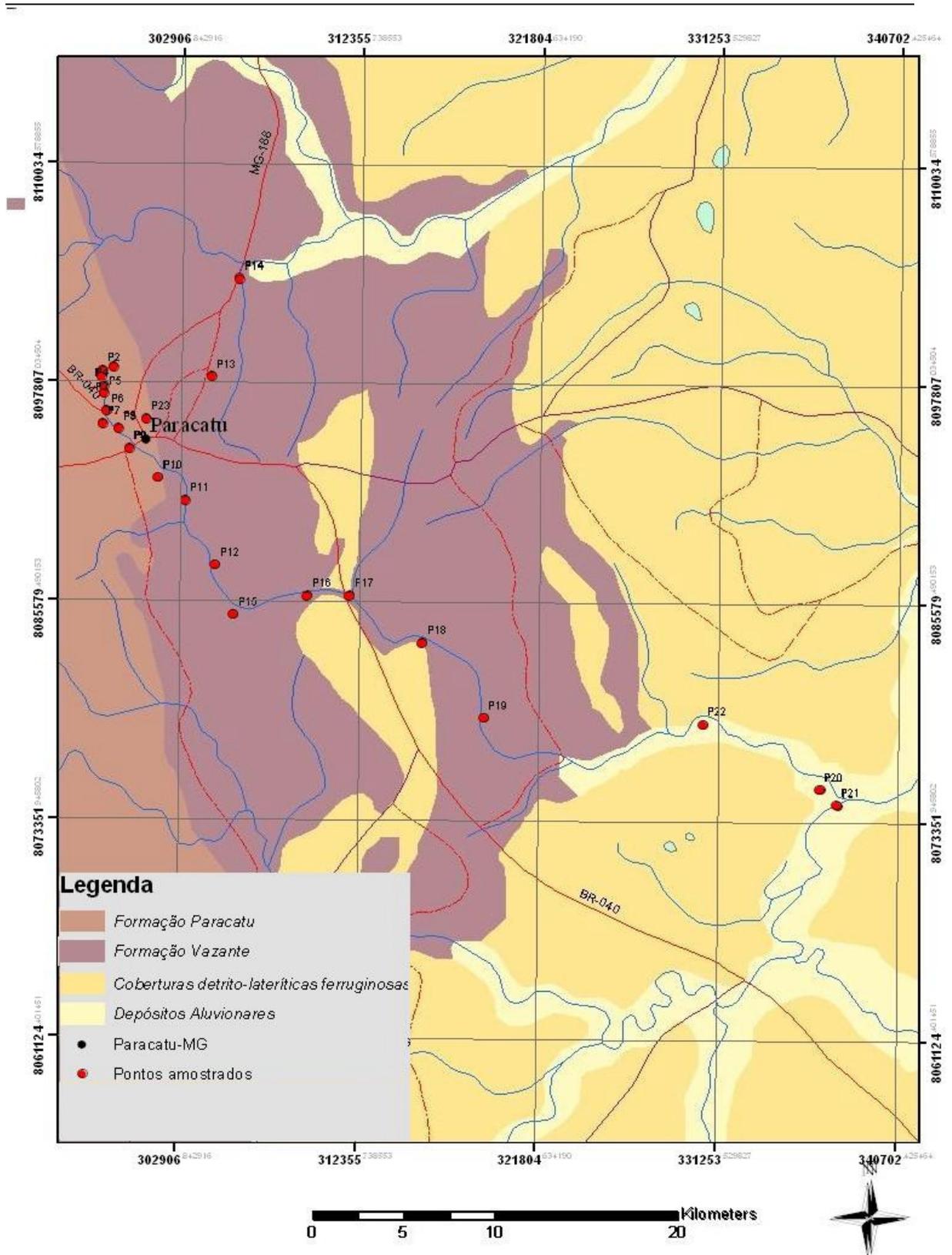
---

rejeitos e por dois trechos de terraço que, em virtude da alteração, foram denominados de terraços antrópicos.

O principal trecho assoreado da calha do córrego Rico tem um comprimento de 1,6km e largura variável entre 10 e 100m. A mudança dos canais superficiais dentro da calha é diária, pois o garimpo persiste até os dias atuais. Entre a área assoreada e as cabeceiras, o córrego Rico tem várias rupturas no perfil que formam pequenas quedas de água e flui sobre um leito rochoso. Durante as chuvas toda a extensão da calha é ocupada pela onda de cheia, mas cessada a chuva o fluxo retorna ao normal, que é um comportamento característico de canais de cabeceira.

Os terraços antrópicos constituem planos situados entre 2 e 8m acima do leito do córrego, onde ocorria o conglomerado aurífero. Em alguns trechos os terraços são compostos por rejeitos arenosos com seixos arredondados, em outros são verificados blocos compactos de conglomerado. Durante a fase do garimpo mais recente (1985–1987) esse material foi retrabalhado e como consequência da retirada de todo o depósito superficial afloram lajes de filitos.

Pode-se supor que a razão que levou os garimpeiros a ultrapassar a faixa de ocorrência do conglomerado alúvio-coluvial e avançar até o terço médio da vertente, retirando os níveis superiores do depósito coluvial laterítico, seja a ocorrência de ouro na argila laterítica e/ou em níveis de cascalho coluvial (“*stone line*”) existentes no interior do colúvio.



**Figura 4.2.** Mapa geológico simplificado da Faixa Paracatu-Vazante. (Sistema de Coordenadas UTM, Zona 23 Sul). (Figura modificada de FREITAS-SILVA, 1996)

---

# Capítulo 5

## Metodologia de Trabalho

*Debaixo do Tamarindo*

*Augusto dos anjos*

*No tempo de meu Pai, sob estes galhos,  
Como uma vela fúnebre de cera,  
Chorei bilhões de vezes com a cansa  
De inexorabilíssimos trabalhos!*

*Hoje, esta árvore de amplos agasalhos  
Guarda, como uma caixa derradeira,  
O passado da flora brasileira  
E a paleontologia dos Carvalhos!*

*Quando pararem todos os relógios  
De minha vida, e a voz dos necrológios  
Gritar nos noticiários que eu morri,*

*Voltando à pátria da homogeneidade,  
Abraçada com a própria Eternidade,  
A minha sombra há de ficar aqui!*

---

## **5. METODOLOGIA DE TRABALHO**

### **5.1. AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SEDIMENTO DE FUNDO**

Foram realizados três trabalhos em campo para coleta de água e sedimentos de fundo, na área delimitada no mapa da Figura 5.1 e localizadas na Tabela 5.1. O primeiro trabalho ocorreu em outubro de 2005, final do período de seca, o segundo trabalho de campo ocorreu no período de chuvas, janeiro de 2006 e o terceiro trabalho ocorreu no final do período de secas, outubro de 2006. O terceiro trabalho de campo foi realizado para ratificar alguns dados obtidos nas análises laboratoriais, como os resultados foram semelhantes aos obtidos anteriormente, não foram utilizados estes dados para análise estatística. Do ponto 1 ao ponto 11 foi aplicada uma malha mais fina de amostragem, por se tratar de uma área com vários impactos ambientais que atingem diretamente o Córrego Rico, como ilustrado nas figuras 5.2 e 5.3.

As coletas de água foram realizadas nas margens do córrego, após ambientação do recipiente e evitando locais onde a água estivesse parada. Para coleta utilizou-se garrafa de polietileno de 1 (um) litro, previamente lavada com solução ácida ( $\text{HNO}_3$ , 10%) e água destilada. As amostras foram imediatamente rotuladas e refrigeradas até sua análise em laboratório. Em campo foram medidos, em recipiente a parte, pH, temperatura, condutividade, TDS (Total de sólidos dissolvidos) e salinidade utilizando-se multiparâmetro HACH, SENSION-156.

O sedimento de fundo foi coletado utilizando-se uma pá de PVC, acondicionado em sacos plásticos novos, lacrados e rotulados para o transporte até o laboratório. Procurou-se amostrar sedimentos ativos, ou seja, que não estivessem sob águas muito paradas e na menor granulação possível.

---

**Tabela 5.1.** Localização dos pontos amostrados.

Pontos	UTM Leste	UTM Norte
1	0299303	8098604
2	0298757	8098408
3	0298692	8098079
4	0298790	8097535
5	0298822	8097124
6	0298933	8096127
7	0298768	8095405
8	0299617	8095140
9	0300175	8094039
10	0301683	8092421
11	0303101	8091162
12	0304715	8087568
13	0304442	8098082
14	0305446	8103560
15	0305699	8084788
16	0309556	8085860
17	0311784	8085868
18	0315628	8083258
19	0319625	8079654
20	0336512	8075189
21	0337404	8074330
22	0330373	8078822
23	0301046	8095714

---

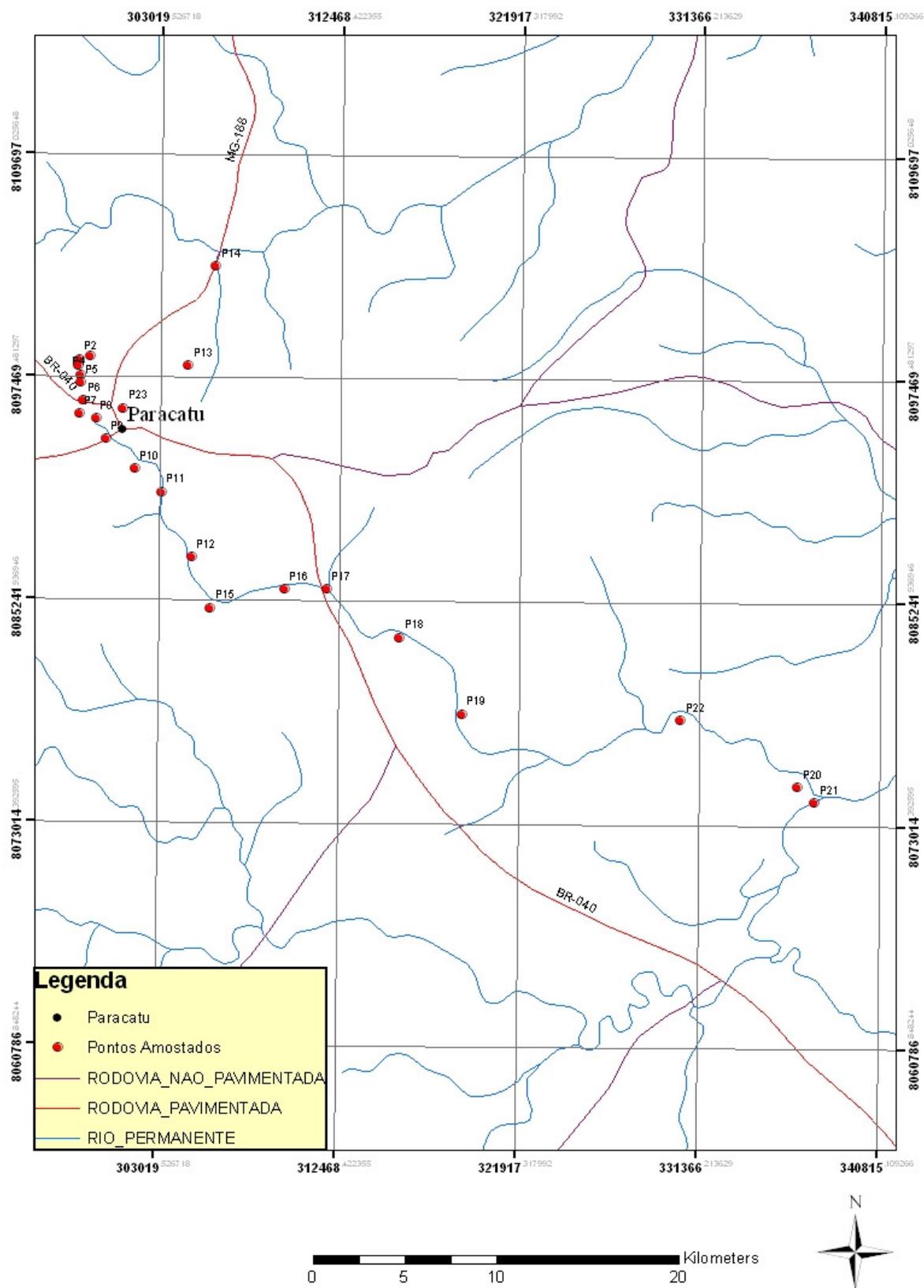


Figura 5.1 – Mapa de localização dos pontos de coleta (Sistema de Coordenadas UTM, Zona 23 Sul).



**Figura 5.2.** Foto de localização dos pontos amostrados de p1 a p11, região com maior impacto antrópico. Destacados os principais impactos apresentados nesta área (Fonte: GOOGLE EARTH, 2007).

---

## 5.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As análises laboratoriais de água e sedimentos foram realizadas no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília. A quantificação de mercúrio em sedimentos de fundo foi realizada no Laboratório de Química Analítica e Ambiental/UnB.

Para a determinação dos elementos, as amostras de água estocadas foram filtradas com equipamento a vácuo e filtro de celulose de 0,45mm, Millipore, estéril, em seguida foram acidificadas com ácido nítrico ultra puro a pH 2 e mantidas sob refrigeração. Após este procedimento, as amostras foram estocadas em geladeira até a análise para determinação dos elementos.

Para a análise físico-química, utilizaram-se amostras de água não filtradas e não acidificadas, mas mantidas sob refrigeração desde a coleta até a análise laboratorial. As análises foram realizadas em um período máximo de 48h após a coleta em campo.

Para a análise das amostras de sedimento de fundo, procedeu-se a secagem do material ao ar livre e a desagregação das partículas para homogeneização da amostra. Logo após, o material foi peneirado a seco, para obtenção da fração silte/argila. As análises dos metais pesados em sedimentos devem ser feitas em frações granulométricas mais finas dos sedimentos. Isso porque se observa uma maior afinidade dos metais com estas frações e, conseqüentemente, constituem-se em bons indicadores do grau de poluição dos sedimentos (MOREIRA, 2002).

Com o material preparado, prosseguiu-se a digestão ácida com HF / HNO<sub>3</sub> / HClO<sub>4</sub> /HCl, procedimento proposto por BOAVENTURA, 1991, para determinação dos elementos alvo de estudo, conforme mostra o fluxograma a seguir. As análises foram realizadas em espectrômetro de emissão ótica com fonte de plasma (ICP/OES).

---

1,0000g da amostra (béquer de *teflon*)



Atacar a matéria orgânica com adições sucessivas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%v/v) em chapa de aquecimento (100°C) até o desaparecimento das reações de efervescência



20mL de HF (48%*m/v*)

3mL de  $\text{HNO}_3$  (65%*m/v*)

1mL de  $\text{HClO}_4$  (72%*m/v*)

7 mL de HCl (37%*m/v*)



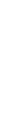
Chapa de aquecimento ( $\pm 200^\circ\text{C}$ ) até perto da secura

10mL de HF (48%*m/v*)

2mL de  $\text{HNO}_3$  (65%*m/v*)

0,5mL de  $\text{HClO}_4$  (72%*m/v*)

5 mL de HCl (37%*m/v*)



Aquecimento ( $\pm 200^\circ\text{C}$ ) até a secura total



Adicionar HCl 10% (v/v) na chapa de aquecimento até solubilizar



Filtrar e completar o volume com água destilada para balão de 50mL

---

### 5.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E QUANTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM ÁGUA

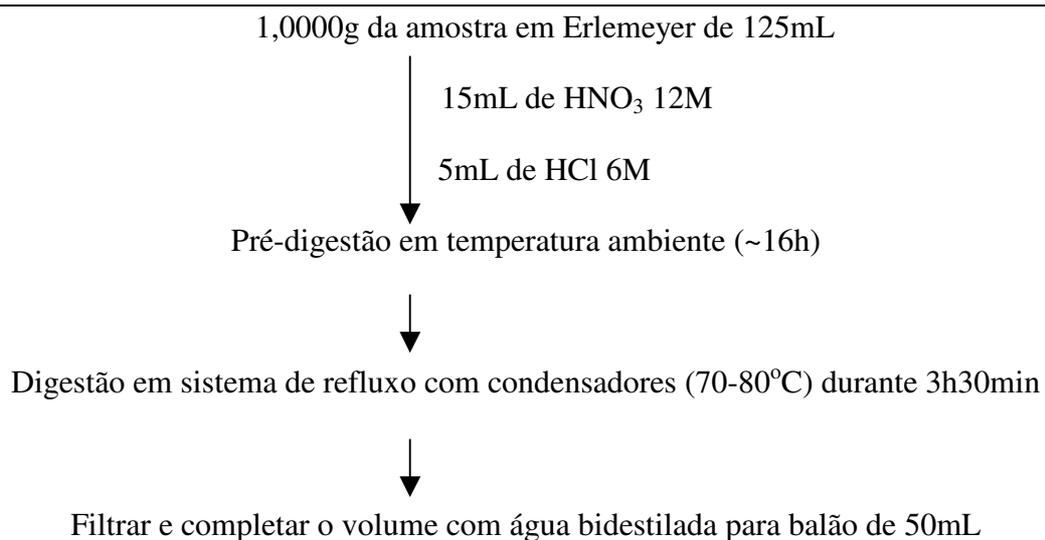
Para a determinação dos parâmetros físico-químicos da água foram utilizadas as técnicas de coleta e análise de água descritas no *STANDART METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*, 1998. O espectrofotômetro UV-Visível HACH-DR 2000 foi utilizado para a determinação de Nitrato, Fosfato, Sulfato, Turbidez e Cor. Métodos titulométricos foram utilizados para determinação da Alcalinidade, Oxigênio Consumido e Cloreto. Os elementos Al, Fe, Ca, Mg, P, Zn, Ni, Cu, e Si foram determinados utilizando Espectrômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente acoplado (ICP-AES) marca *Spectroflame*, modelo FVM03. Os parâmetros operacionais estão na tabela 5.2.

**Tabela 5.2.** Parâmetros operacionais de ICP/AES.

<b>Nebulizador</b>	<b>Meinhard</b>
<b>Pressão</b>	<b>38psi</b>
<b>Fluxo de argônio</b>	<b>1L/min</b>
<b>Potência</b>	<b>1,1kW</b>
<b>Fluxo de argônio para resfriamento</b>	<b>13L/min</b>
<b>Fluxo de gás auxiliar</b>	<b>0,6L/min</b>

### 5.4. DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO NOS SEDIMENTOS DE FUNDO

Para a determinação do mercúrio em sedimentos utilizou-se uma abertura ácida parcial com HNO<sub>3</sub>/HCl (modificado de ROULET *et. al.*, 1998), realizada no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília. A concentração do Hg foi determinada por redução do extrato ácido com SnCl<sub>2</sub> 5% (m/v) e leitura em espectrômetro de absorção atômica com geração de vapor frio modelo *Mercury Monitor*<sup>®</sup> 3200 *Elemental Mercury Detector*, no Laboratório de Química Ambiental da Universidade de Brasília.



## 5.5. DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS VOLÁTEIS E MATÉRIA ORGÂNICA

A determinação dos sólidos voláteis foi realizada por gravimetria. Alíquotas de 2g das amostras foram pesadas em balança METLER modelo AG. 240 com variação de  $\pm 0,00001$ g e colocadas para secar em estufas a 105°C por 24 horas para determinar seu peso seco. Em seguida, as amostras foram levadas ao forno mufla, à temperatura de 450°C, durante 24 horas, para que toda matéria orgânica e ânions volatilizassem. Posteriormente, foram novamente pesadas (APHA, 1998).

A determinação da matéria orgânica foi realizada pelo método de Waldley-Black. (EMBRAPA, 1997). Esse método baseia-se na oxidação da matéria orgânica por via úmida com dicromato de potássio em meio ácido, sendo o excesso de dicromato de potássio titulado com sulfato ferroso amoniacal.

## 5.6. GRANULOMETRIA

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil/UnB. A granulometria das amostras foi determinada com a utilização do granulômetro a laser de modelo Mastersizer S Standard Bench, de fabricação da MARVERN INSTRUMENTS LTD. O granulômetro é composto pelas unidades ópticas, de preparação da amostras e de um computador. O sistema de medição é comandado pelo sistema *Malven*. A determinação do tamanho das partículas é obtida a

partir do fenômeno da obscuração que representa a quantidade de luz do laser que é perdida ao passar pela amostra de sedimento. Utilizaram-se os dados submetidos ao ultrassom, pois dessa forma os grãos mais finos permanecem desagregados. Essa metodologia de análise foi utilizada para todas as amostras de sedimentos, no período da seca e no período da chuva. A metodologia de determinação de granulometria utilizando-se o granulômetro a laser pode subestimar a quantidade de argila na amostra, pois não diferencia material argiloso que esteja agregado, portanto estes dados devem ser utilizados com cautela.

## 5.7. CONTROLE ANALÍTICO DOS DADOS

As amostras de água foram analisadas em triplicata, além da utilização da água destilada como branco e amostras com quantificação reconhecida.

O controle analítico dos resultados de sedimentos foi realizado utilizando-se amostra de referência de solo do *National Institute of Standards and Technology* – NIST (*San Joaquin Soil*). As análises foram consideradas aceitáveis quando o valor obtido do padrão não apresentava um erro maior que 15% (Tabela 5.3).

**Tabela 5.3.** Controle analítico dos resultados.

<b>Elemento</b>	<b>Valor do Padrão Certificado</b>	<b>Valor do Padrão Obtido</b>
Ca (%)	1,89 ± 0,05	1,88 ± 0,11
Mg (%)	1,51 ± 0,05	1,47 ± 0,08
Fe (%)	3,50 ± 0,11	3,47 ± 0,18
Al (%)	7,50 ± 0,06	7,41 ± 0,36
Sr (mg/Kg)	231 ± 2	230 ± 11
V (mg/Kg)	112 ± 5	103 ± 5
Cu (mg/Kg)	34,6 ± 0,7	38,5 ± 5,2
Cr (mg/Kg)	130 ± 4	124 ± 3
Mn (mg/Kg)	538 ± 17	533 ± 31
Ba (mg/Kg)	968 ± 40	960 ± 51
Zn (mg/Kg)	106 ± 3	103 ± 4
Hg (mg/Kg)	1,40 ± 0,08	1,39 ± 0,03

---

## 5.8. COLETA DE DADOS REFERENTES A CAVA DE MINERAÇÃO

No terceiro trabalho de campo foram realizadas medidas de profundidade aproximada da cava de mineração nas margens do alto córrego Rico, área minerada por garimpeiros. As medidas foram obtidas utilizando-se trenas. Foram realizadas 10 medições de profundidade das cavas na região do alto córrego Rico, nos pontos de coleta de água e sedimentos.

## 5.9. DETECÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *E. COLI* EM ÁGUA.

As análises para detecção de coliformes totais de *E. coli* em água foram realizadas em 4 pontos de amostragem, correspondentes aos pontos de amostragem de água e sedimentos do trabalho: Ponto 6, Córrego Rico próximo à BR 040, antes da cidade de Paracatu, ponto 9, córrego Rico dentro da cidade da Paracatu, ponto 10, Córrego Rico após a cidade de Paracatu e ponto 17, Córrego Rico, novamente próximo à BR 040.

A detecção de coliformes totais e *E. coli* foi realizada utilizando-se o kit Colitest, que utiliza técnica através de cultura e possui alta sensibilidade, 1 U.F.C por 100 ml. Este teste é indicado para monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano, balneabilidade, irrigação, indústrias alimentícias, indústrias químicas, indústrias de bebidas, hospitais, Laboratórios, empresas de tratamento de efluentes, mineradoras de água, entre outros.

A água foi coletada diretamente no leito do córrego até a marca de 100 ml do frasco Colitest estéril. Adicionou-se o meio de cultura Colitest e homogenizou-se a mistura por inversão até que o meio de cultura se dissolvesse. Certificou-se que o tubo de Durham estava completamente preenchido (sem ar) permanecendo no fundo do frasco. Os Frascos foram incubados em estufa bacteriológica por 36 h à 37°C.

Após período de incubação (36h), o frasco foi retirado da estufa, o teste será positivo quando:

- Turvação do meio de cultura, alteração da cor (púrpura p/amarelo)
- Produção de gás (flutuação tubo de Durham)
- Liberação de fluorescência, na luz U.V. quando positivo para *E. Coli*.

Retirou-se 5 ml do meio de cultura do frasco para um tubo de ensaio de vidro para leitura de fluorescência, adicionou-se no mesmo tubo 0,2 ml do revelador de Indol. Formação de um anel vermelho, quando positivo para *E.Coli*.

Os resultados foram analisados segundo a tabela 5.4. O teste é positivo para *E. coli*, se todos os parâmetros forem positivos, é positivo para coliformes totais se houver turbidez, mudança de cor e flutuação do tudo de Durham. O teste é negativo se Todos os parâmetros forem e negativos ou se apenas a turbidez for positiva.

**Tabela 5.4.** Painel de interpretação de resultados.

COLITEST	CRESCIMENTO (TURBIDEZ)	MUDANÇA DE COR P/AMARELO	TUBO DE DURHAM	FLUORES- CÊNCIA	INDOL
<i>ESCHERICHIA COLI</i>	+	+	+	+	+
COLIFORMES TOTAIS	+	+	+	-	-
NEGATIVO	- Ou +	-	-	-	-

## 5.10. CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE *BACKGROUND* LOCAL

Os dados obtidos nos pontos 13 e 14, amostrados no Córrego São Domingos, foram utilizados como *background* local. Estes pontos foram escolhidos por se tratar de um córrego com mesma geologia do Córrego Rico, porém com menor impacto antrópico, havendo mata ciliar melhor preservada. Estes dados foram utilizados no tratamento estatístico para cálculo do Fator de Contaminação e do Índice de Geoacumulação.

## 5.11. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Inicialmente recorreu-se ao emprego da Estatística Descritiva, com a obtenção de valores médios, desvios-padrão, máximos e mínimos para os elementos investigados na

---

fração <0,045mm, a fim de obter informações para o emprego de outras ferramentas que permitissem gerar as informações de avaliação ambiental. Para isso utilizou-se programa de computador: SPSS 13.0 for *Windows*.

### **5.11.1. Fator de contaminação**

A razão entre a concentração do metal no sedimento e a sua concentração natural na área é definida como fator de contaminação (FC). Este fator indica quantas vezes as concentrações dos metais ultrapassam as concentrações do *background* local.

O fator de contaminação (FC) é utilizado para estimar a contribuição antrópica dos metais pesados e estabelecer seções ao longo do leito fluvial onde a contaminação do sedimento seja significativa. O FC dos sedimentos foi calculado através da razão entre a concentração do elemento no sedimento superficial e a concentração do seu nível de base natural ou *background*. Essa classificação propõe que valores menores que 1 indicam baixa contaminação, entre 1 e 3 contaminação moderada, entre 3 e 6 considerável e acima de 6 alta contaminação (SOARES *et al.*, 2004).

### **5.11.2 Análise de Agrupamento (Cluster)**

A análise de agrupamento agrupa os dados de acordo com o grau de “proporcionalidade” entre os objetos nos diferentes níveis. Inicialmente, é agrupado o par de variáveis mais semelhantes e a seguir todas as outras variáveis são comparadas a ele. Se uma variável for mais similar às variáveis já agrupadas, ela é adicionada ao grupo já formado, caso contrário, um novo grupo é constituído. Para a utilização desse método faz-se necessário que os dados formem um grupo homogêneo, ou seja, apresentem uma distribuição normal (LICHT, 1998).

---

### 5.11.3 Matriz de Correlação

A correlação é a medida da similaridade entre duas variáveis. Os coeficientes de correlação entre duas ou mais variáveis variam de  $-1,00$  (correlação perfeita negativa) a  $1,00$  (correlação perfeita positiva), passando pelo valor nulo (ausência de correlação). Para construir uma matriz de correlação, geralmente, emprega-se o coeficiente de *Pearson* que consiste em um método paramétrico (LICHT, 1998).

As técnicas paramétricas descrevem os resultados da amostragem randômica de uma população tida como normal. Se a população não apresentar um padrão normal de distribuição, estas podem ser aplicadas desde que haja um número grande de amostras e a população não seja muito diferente da normalidade, caso contrário, sua aplicação se torna inadequada, sendo necessário recorrer a métodos não-paramétricos. Os testes não-paramétricos não assumem uma distribuição normal da população e pode ser realizado com um número reduzido de amostras (MOREIRA, 2002).

Neste trabalho, para a construção da matriz de correlação, foi feita a opção pelo coeficiente de *Pearson*, utilizando-se para isso, o programa de computador SPSS 13.0 For *Windows*.

### 5.11.4. Índice de Geoacumulação

Os dados geoquímicos podem ser analisados segundo o Índice de geoacumulação e pelo fator de contaminação. O índice de geoacumulação estabelece a relação entre os teores de metais encontrados na região em análise e um valor referencial equivalente à média mundial para metais associados a argilas. É calculado pela fórmula:  $I_{geo} = \log_2 C_n / (1,5 \times C_b)$  onde  $C_n$  é a concentração do elemento (n) na fração fina,  $C_b$  é a concentração média mundial do elemento e 1,5 é o fator usado para minimizar variações do *background* causadas por diferenças litológicas. O valor obtido permite classificar os níveis de enriquecimento dos metais em sete extratos, com intensidades progressivas de contaminação, onde o valor mais elevado corresponde a um enriquecimento de aproximadamente 100 vezes em relação ao nível de *background* (tabela 5.5) (MOREIRA *et al.*, 2003; SOARES *et al.*, 2004).

**Tabela 5.5.** Índice de geoacumulação (Igeo) de metais pesados (SOARES *et al.*, 2004).

Intensidade de poluição	Acúmulo no Sedimento (Igeo)	Classe Igeo
Muito fortemente poluído	> 5	6
Forte a muito fortemente poluído	4-5	5
Fortemente poluído	3-4	4
Moderado a fortemente poluído	2-3	3
Moderadamente poluído	1-2	2
Pouco a moderadamente poluído	0-1	1
Praticamente não poluído	<0	0

O índice de geoacumulação e o fator de contaminação devem ser utilizados com cuidado, pois segundo REIMANN *et al.* (2005), os valores encontrados não serão fidedignos, se o elemento referência de escolha mostrar uma variação regional natural que é igual ou maior que do elemento contaminante de interesse, os processos naturais mudarem a concentração do elemento em estudo, intemperismo, ou a geologia não for o mais importante fator na distribuição de elementos na superfície da Terra.

A utilização de áreas controle próximas, sem ação antrópica, podem diminuir os erros nestes métodos de análise, segundo estudo realizado por MOREIRA *et al.* (2003). Porém se o elemento a ser analisado é facilmente transportado pelo ar, áreas próximas podem estar contaminadas de maneira significativa, causando erros nos métodos de análise, segundo REIMANN *et al.* (2005).

---

# Capítulo 6

## Resultados e discussão

---

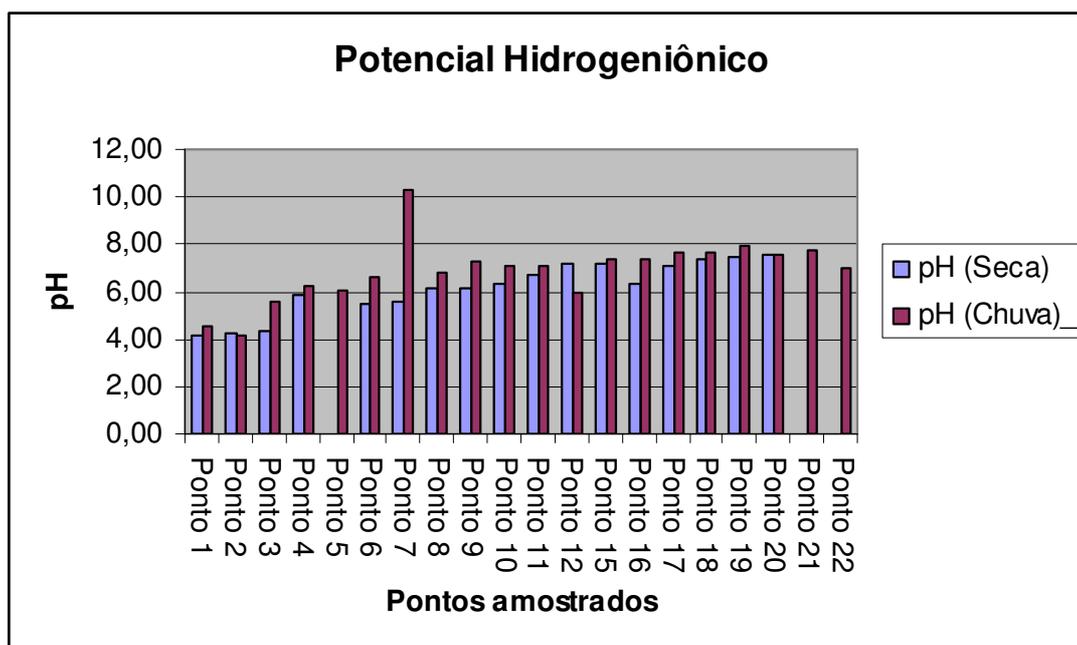
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA

Com os resultados das análises físico-químicas de potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, cor, turbidez, cloretos, total de sólidos sedimentáveis (TDS), condutividade, oxigênio consumido, nitrato, salinidade, fosfato, amônia e dureza pode-se verificar as condições alteração das águas do córrego e os impactos causados pela atividade humana ao longo do seu trajeto no perímetro urbano.

#### 6.1.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH determina a capacidade agressora da água para atacar minerais (precipitados), lixiviando seus constituintes. Geralmente, em baixos pH os metais tendem a ser solubilizados, podendo aumentar a toxidez das águas, enquanto que em altos valores de pH os metais tendem a ser precipitados como óxidos, hidróxidos, carbonatos e sulfetos dependendo das condições oxi-redutoras, melhorando a autodepuração das águas (MESTRINHO, 1999).

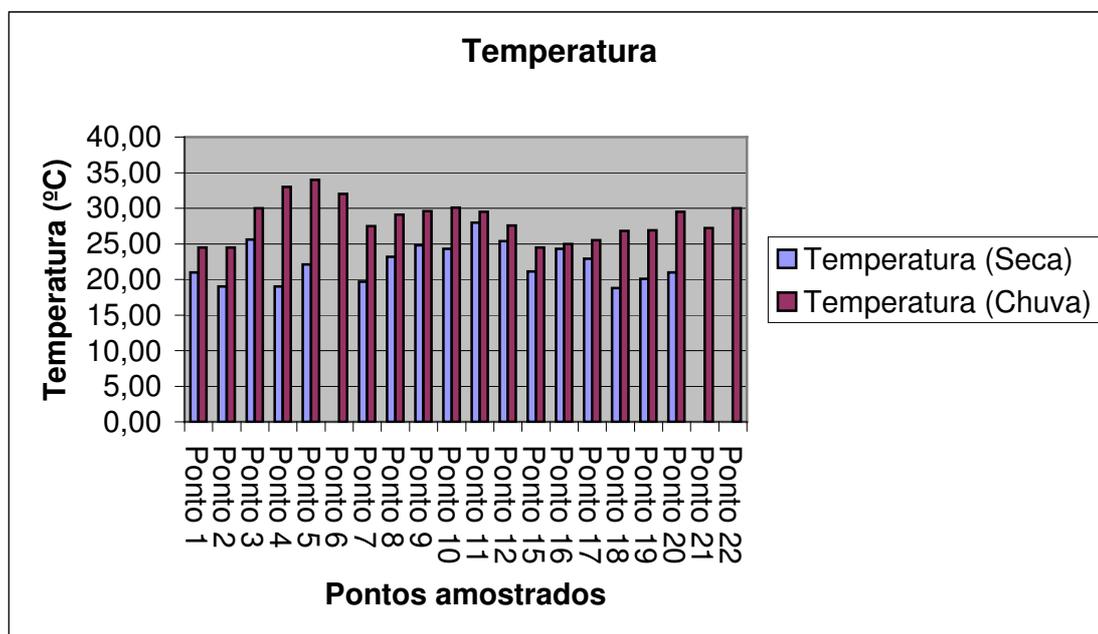


**Figura 6.1.** Valores de pH das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca, de montante para jusante.

Os valores de pH próximo à nascente do Córrego Rico apresentam-se bastante baixos, estando relacionados com sulfetos dissolvidos na água percolante nas camadas mineralizadas do Morro do Ouro, que possuem sulfetos em sua composição. Poucos metros após a nascente ocorre aumento do pH proporcionalmente ao aumento de carbonatos na geologia da região, como se pode observar pelo aumento da alcalinidade na figura 6.6, já que a alcalinidade está diretamente relacionada com a presença de carbonatos. O ponto 7 no período da chuva apresenta pH alto pela presença de sabão na água, já que no momento da coleta ocorria lavagem de roupas no local.

### 6.1.2. Temperatura

A temperatura influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas, além de caracterizar outras propriedades da água como densidade, viscosidade, tensão superficial, pressão de vapor e outras. É diretamente proporcional à solubilidade dos sais minerais e inversamente proporcional à solubilidade dos gases (MCCUTCHEON *et al.*, 1993). A legislação não estabelece limites para este parâmetro.



**Figura 6.2.** Gráfico de temperatura (°C) das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca. Os pontos 6, 20 e 21 foram amostrados apenas no período de chuva. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

---

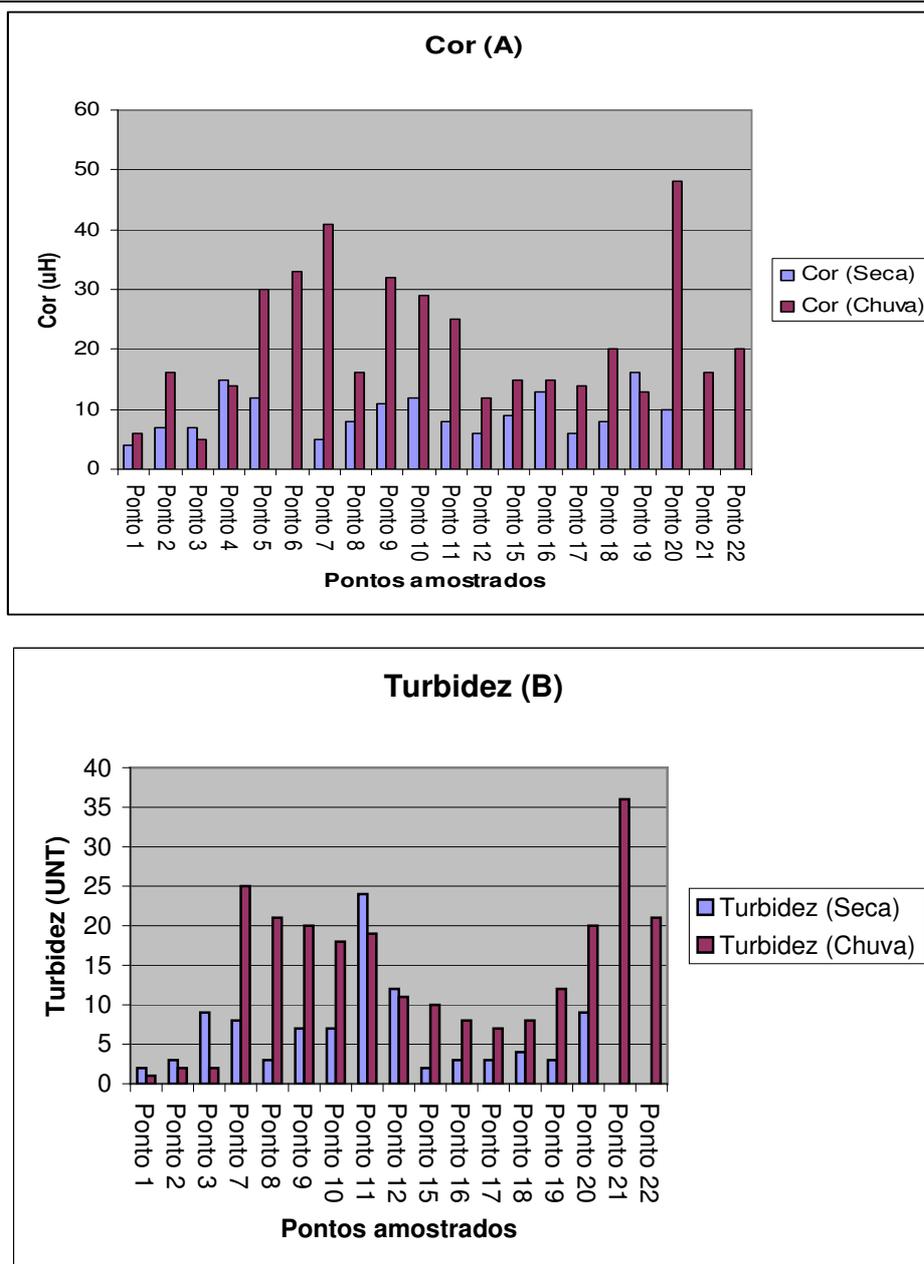
A temperatura não apresentou diferença significativa entre os pontos, estando dentro da normalidade. Na época de seca mostrou-se um pouco mais baixa que a temperatura na época de chuva, pelo fato de a época seca coincidir com o período de inverno, sendo a temperatura ambiente mais baixa.

### **6.1.3. Turbidez e Cor**

Estas propriedades representam a dificuldade da água transmitir a luz devido à presença de materiais suspensos como silte, argila, matéria orgânica, plâncton e outros organismos microscópicos. As principais fontes de materiais suspensos são as partículas oriundas dos processos de intemperismo que ocorrem em rochas e solos da bacia hidrográfica, estando diretamente relacionada com atividades de mineração, desmatamentos e lançamento de efluentes domésticos (SANTOS, 1997).

A cor manteve-se com pouca variação durante o período da seca de 4 a 16uH e bastante variável no período da chuva 5 a 48uH (Figura 6.3 - A). Isto está relacionado com o maior carreamento de partículas para dentro do rio por escoamento superficial da água da chuva. Os pontos com a cor mais intensa correspondem a áreas com pouca mata ciliar ao redor do córrego, o que provoca um aumento na quantidade de material carregado para o córrego.

As águas da região estudada apresentaram turbidez que variam de 1 a 60UNT na estação da chuva e de 2 a 24UNT na estação de seca. Os baixos valores encontrados na estação seca são coerentes, pelo menor volume de água e com isso menor quantidade de material em suspensão (Figura 6.3 - B). A turbidez na época da chuva apresentou 2 pontos anômalos, 4 e 5, com valores de 460 e 461UNT (Anexos 1 e 2), que foram retirados das análises gráficas, pois no momento da coleta estava ocorrendo garimpagem próxima, influenciando no resultado.



**Figura 6.3.** Gráficos de cor (A) e turbidez (B) das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

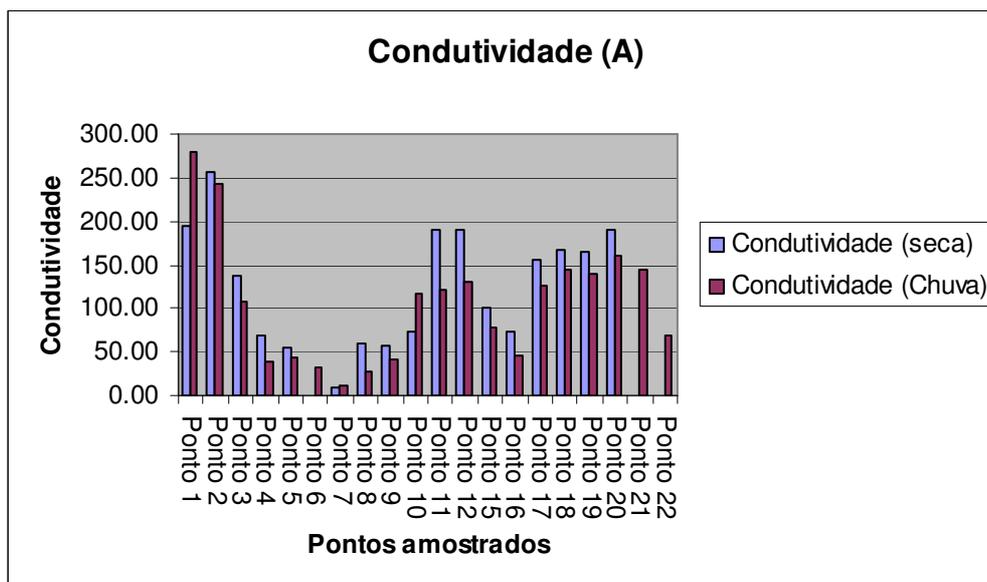
#### 6.1.4. Condutividade Elétrica e Total de sólidos Dissolvidos (TDS)

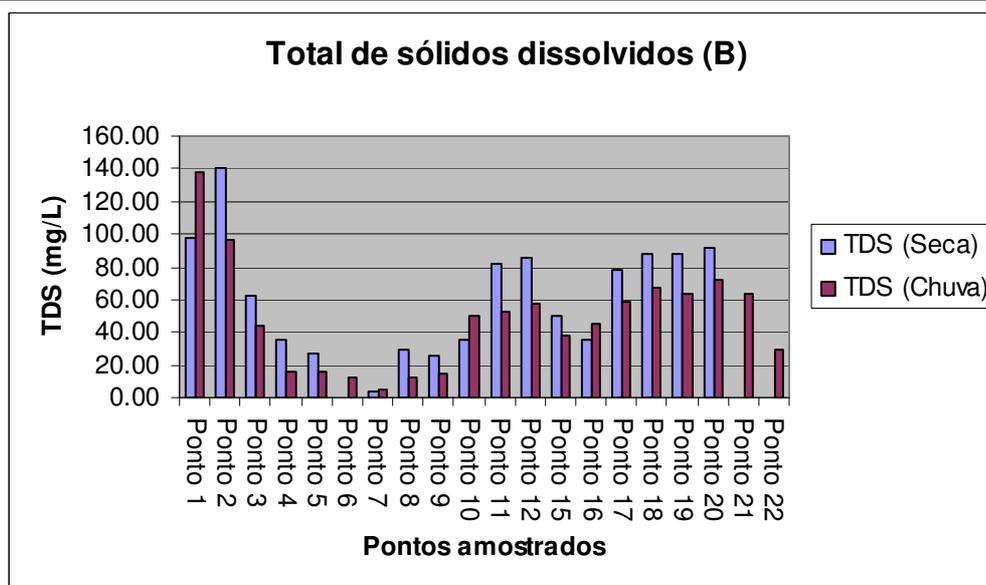
A condutividade representa a capacidade da água conduzir corrente elétrica, apresentando relação proporcional à concentração do total de sólidos dissolvidos (TDS), que representam os materiais dissolvidos e coloidais, voláteis ou não voláteis, com ou sem conteúdo orgânico. Os parâmetros condutividade e TDS dependem da concentração total,

mobilidade e valência dos ânions e da temperatura da água no momento da medição (MESTRINHO,1999; SANTOS,1997).

Para um mesmo ponto de amostragem, observa-se um aumento desses parâmetros durante o período de seca, que pode ser justificado pela diminuição do volume de água nesta época (Figura 6.4 - A, B)

Observa-se de montante para jusante que estes parâmetros iniciam-se altos devido à grande quantidade de íons dissolvidos na água nascente, ocorre uma queda nos valores desses parâmetros por diluição pela entrada de tributários. Após a passagem pela área urbana da cidade de Paracatu, pontos 8 a 11, há novo aumento, por causa da deposição de esgoto doméstico no córrego sem tratamento. Após a cidade há um decréscimo natural pelo aumento no volume de água, resultado da entrada de pequenos tributários. Há partir do ponto 17, o Córrego Rico percorre uma região com intensa atividade agrícola, que causa um aumento nos íons dissolvidos na água, resultado da utilização de fertilizantes e da ausência de mata ciliar.





**Figura 6.4.** Valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (A) e TDS (B) das águas do Córrego Rico nas estações de chuva e seca. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

### 6.1.5. Salinidade

A salinidade é definida como uma medida da massa de sais dissolvidos em uma dada massa de solução, sendo expressa em ‰. Este parâmetro é considerado pela resolução do CONAMA 357/05 apenas para dividir as águas em doces, salobras e salinas, ou seja, salinidade igual ou inferior a 0,05 em ‰, entre 0,5 em ‰ e 30 em ‰ e igual ou superior a 30 em ‰, respectivamente.

Assim como esperado, não foi detectada salinidade nas amostras de água, tratando-se, portanto de águas doces.

### 6.1.6. Dureza

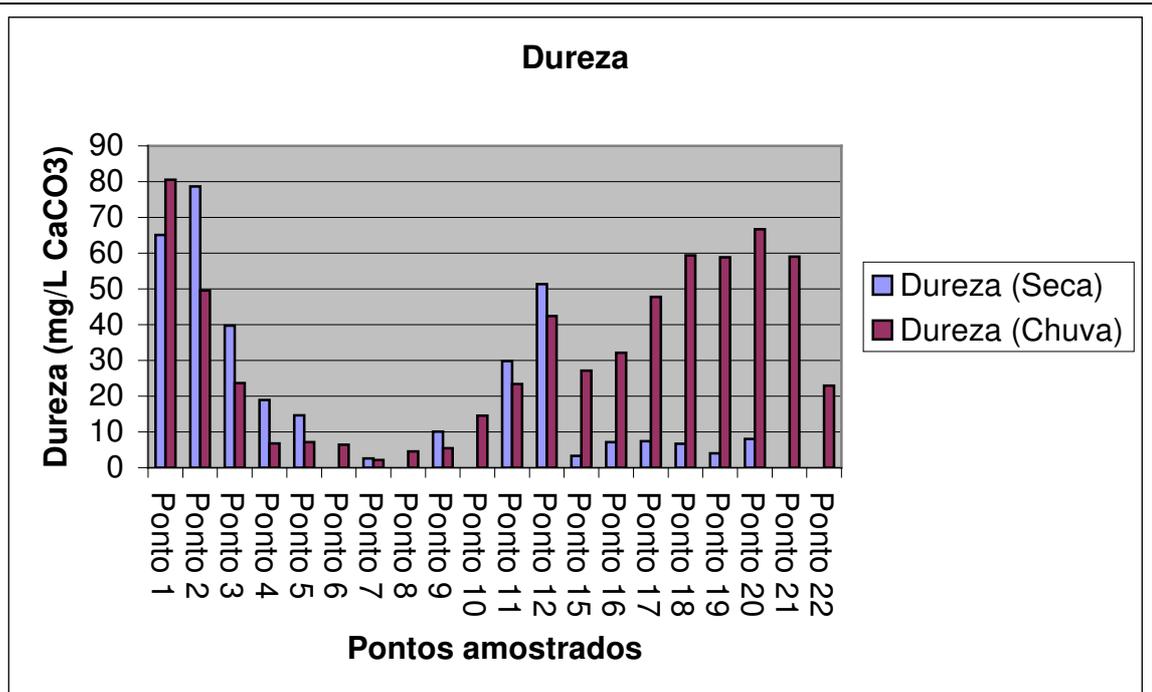
A dureza representa a medida da capacidade da água precipitar sabão em virtude da presença de íons cálcio e magnésio principalmente (SANTOS, 1997). A maior parte do cálcio entra na água a partir de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) oriundo de calcários ou do sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) de depósitos minerais (gipsita). O magnésio por sua vez tem como fonte principal os calcários dolomíticos ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). A dureza é calculada a partir das concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Quando a dureza é numericamente maior que a alcalinidade, não está relacionada com a presença de carbonatos, porém quando é numericamente igual ou menor, está relacionada com a presença de carbonatos na região estudada (GREENBERG *et al.*, 1992). Quanto à dureza a água pode ser classificada segundo a tabela abaixo.

---

As amostras dos pontos 1 e 2 nas épocas de chuva e seca, do ponto 12, no período de seca, e dos pontos 18, 19 e 20, na época da chuva, foram classificadas como moderadamente duras. A figura 6.5 demonstra que na nascente a água apresenta-se moderadamente dura, isso ocorre pela presença de grande quantidade de Ca e Mg na água nascente, porém não está relacionada com a presença de carbonatos, pois o pH e a alcalinidade da água na área têm valores baixos. Até a entrada na cidade há uma queda na dureza devido a sedimentação natural que ocorre com o Ca e o Mg, na presença de sulfatos presentes na geologia da região e em pH abaixo de 5. À partir do ponto 9 até o ponto 12, o aumento na dureza da água se dá pela deposição de esgoto doméstico sem tratamento, já que no período da seca, quando há menor volume de água no córrego, mas mesmo volume de esgoto depositado, os valores de dureza apresentam-se mais altos que no período da chuva. O aumento na dureza à partir do ponto 11 tanto no período de seca quanto no de chuva, reflete a composição geológica da região, composta por rochas carbonáticas da Formação Vazante, já que a alcalinidade também tem seus valores aumentados nessa região.

**Tabela 6.1.** Classificação das águas segundo a dureza.

Tipo de água	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Mole	0 – 50
Moderadamente dura	51 – 100
Dura	101 – 200
Muito dura	> 200



**Figura 6.5.** Concentração de dureza total nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

### 6.1.7. Alcalinidade

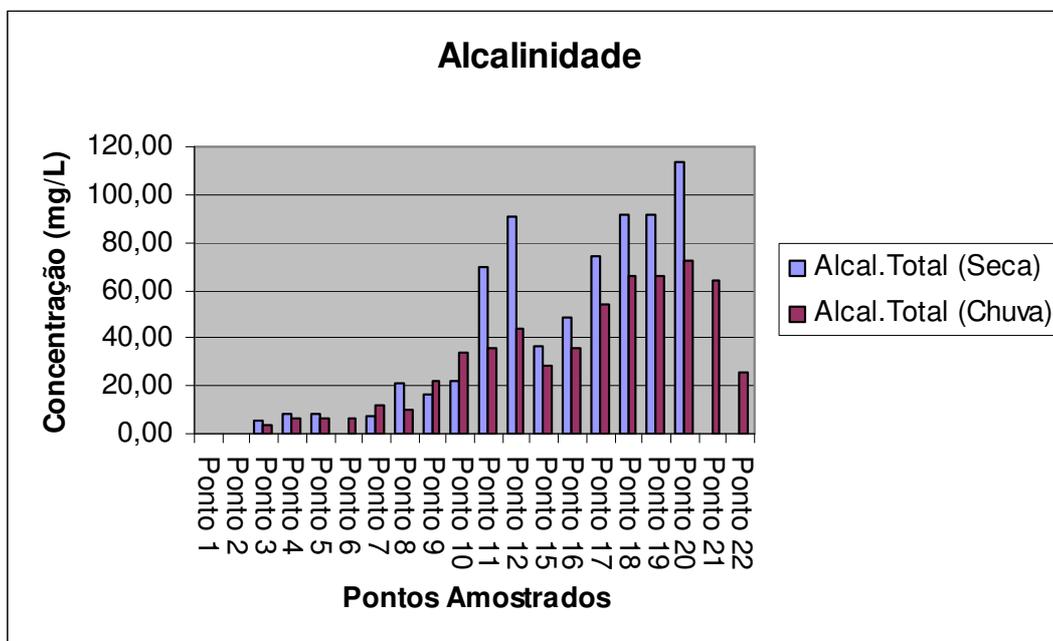
É a medida da capacidade da água agir como base pela reação com prótons, ou seja, é a capacidade de um corpo d'água resistir a acidificação (BAIRD, 1999).

A alcalinidade é causada principalmente pela presença de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e hidroxila ( $-\text{OH}$ ), quase sempre de alcalinos e alcalinos terrosos (Na, K, Ca, Mg, etc.). Secundariamente, ele pode ser causada pela presença de íon amônia dissolvida ( $\text{NH}_4^+$ ) e ânions de ácido fosfórico ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), bórico ( $\text{BO}_4^{2-}$ ) e silícico ( $\text{SiO}_4^{2-}$ ) (BAIRD, 1999).

O excesso de alcalinidade pode inibir a ação de microorganismos presentes nos processos biológicos de sistemas de tratamento de água e interferir na autodepuração dos cursos d'água. (GREENBERG *et al.*, 1992).

A concentração de alcalinidade nas águas do Córrego Rico variou de 0 a 90,4mg/L de  $\text{HCO}_3^-$  na época seca e de 0 a 122mg/L de  $\text{HCO}_3^-$  na época da chuva, sendo bastante variável, porém nota-se um crescimento da alcalinidade a partir do ponto 10, relacionado com os carbonatos da geologia da região, Formação Vazante. Os picos de alcalinidade durante a seca, nos pontos 11 e 12, têm origem antrópica pela deposição de esgoto

doméstico, fato reforçado pelos valores encontrados para dureza nesses mesmos pontos. A alcalinidade do Córrego Rico é maior na seca, pois há maior concentração dos elementos nessa época pela diminuição do volume de água. O crescente aumento na alcalinidade apresentada na figura 6.6, representa o crescente aumento de carbonatos na geologia da região.

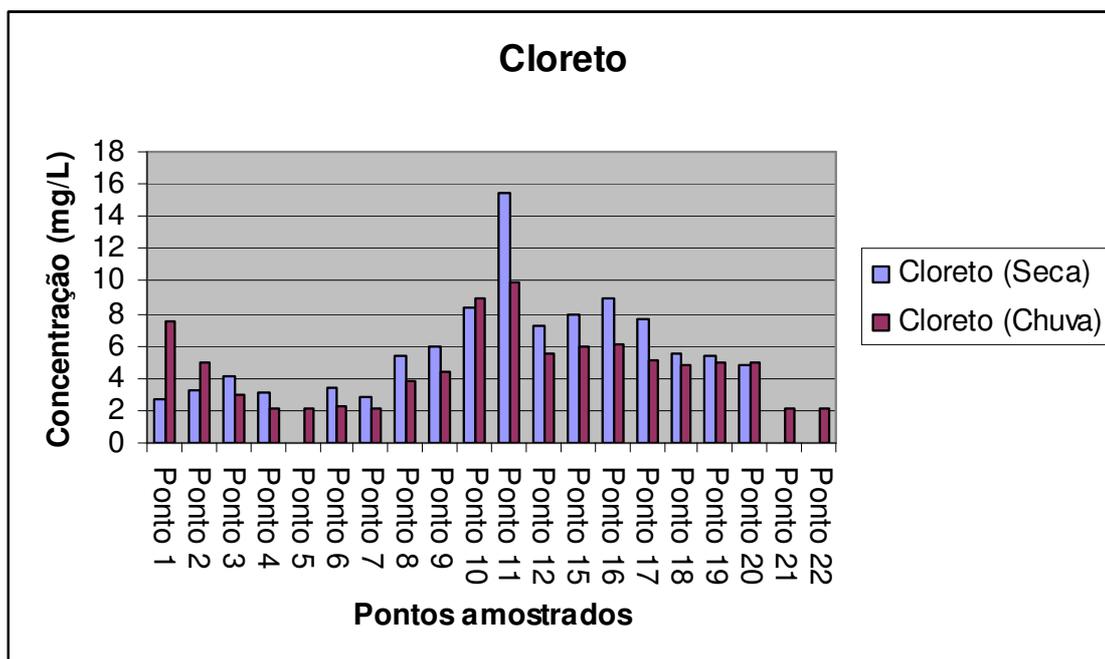


**Figura 6.6.** Concentração da alcalinidade total nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

### 6.1.8. Cloreto (Cl<sup>-</sup>)

O íon cloreto é um dos principais ânions inorgânicos presente nas águas naturais e de resíduos, sendo muito solúvel e estável, não precipitando facilmente, além de não oxidar e nem reduzir em condições normais (SANTOS, 1997).

Os valores encontrados para o íon cloreto nas amostras de água estão abaixo dos valores recomendados pela legislação, mas observa-se grande incremento na concentração de cloreto nos pontos 8, 9, 10 e 11, que foram amostrados dentro da cidade de Paracatu, de ação antrópica pela deposição de esgoto doméstico (Figura 6.7). O Ponto 11, que apresenta maior concentração de cloretos, está localizado logo após a cidade de Paracatu. O íon cloreto é um excelente indicador do lançamento de esgoto doméstico em águas naturais, pela presença desse íon em grande concentração na urina devido ao consumo de sal (NaCl) na alimentação.



**Figura 6.7.** Concentração de cloreto nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico.

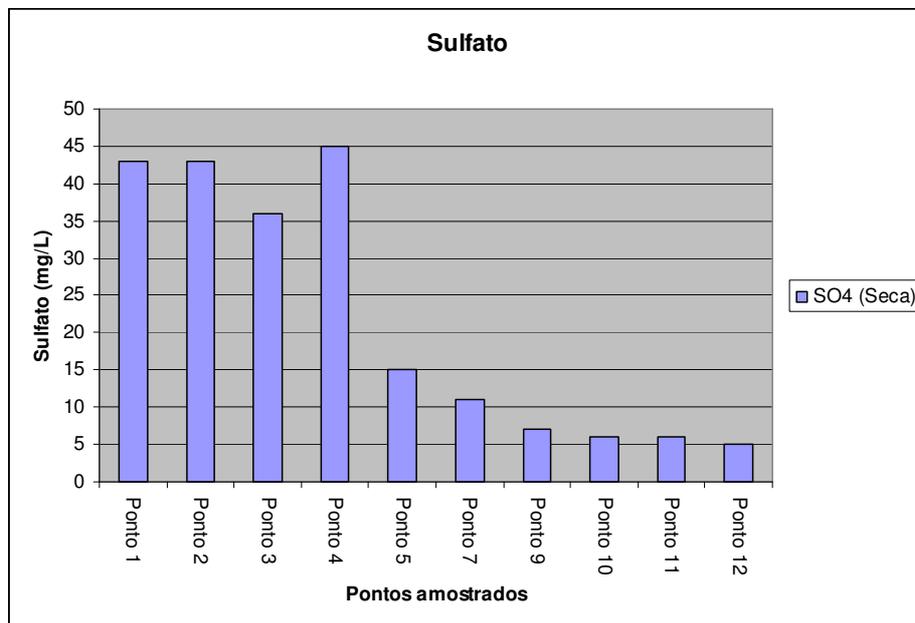
### 6.1.9. Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

A origem principal do sulfato é a oxidação da pirita e a lixiviação de compostos sulfatados (evaporitos) como gipsita (CaSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O) e anidrita (CaSO<sub>4</sub>). Outra fonte de sulfato é a precipitação atmosférica decorrente de sais cíclicos, poeiras continentais e indústrias.

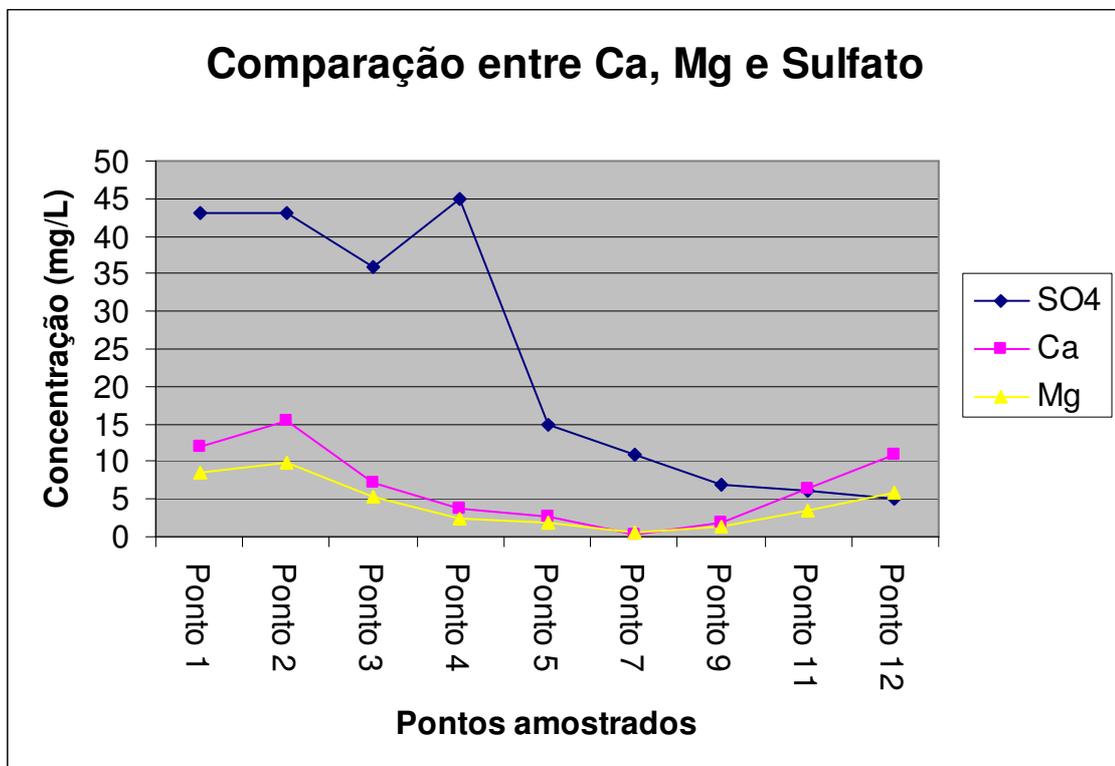
Altas concentrações de sulfato podem causar problemas intestinais, principalmente na presença de Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>.

Apenas amostras do período da seca foram analisadas para sulfato (Figura 6.8). As análises demonstraram um alto teor de sulfato nos pontos 1, 2 e 3, relacionado com sulfetos dissolvidos na água percolante nas camadas mineralizadas do Morro do Ouro, que possuem sulfetos em sua composição. Após o ponto 4 a concentração de sulfato decresce, pois sedimenta-se com o Ca e Mg, presentes em alta concentração na área (Figura 6.9) e na presença de pH abaixo de 5. Mesmo as concentrações mais altas encontradas a montante no córrego estão muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação.

Os baixos valores de pH encontrados nos pontos 1, 2 e 3, estão relacionados com a presença do sulfato na água, tornando-a mais ácida.



**Figura 6.8.** Concentração sulfato nas águas, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 12) na bacia do Córrego Rico.

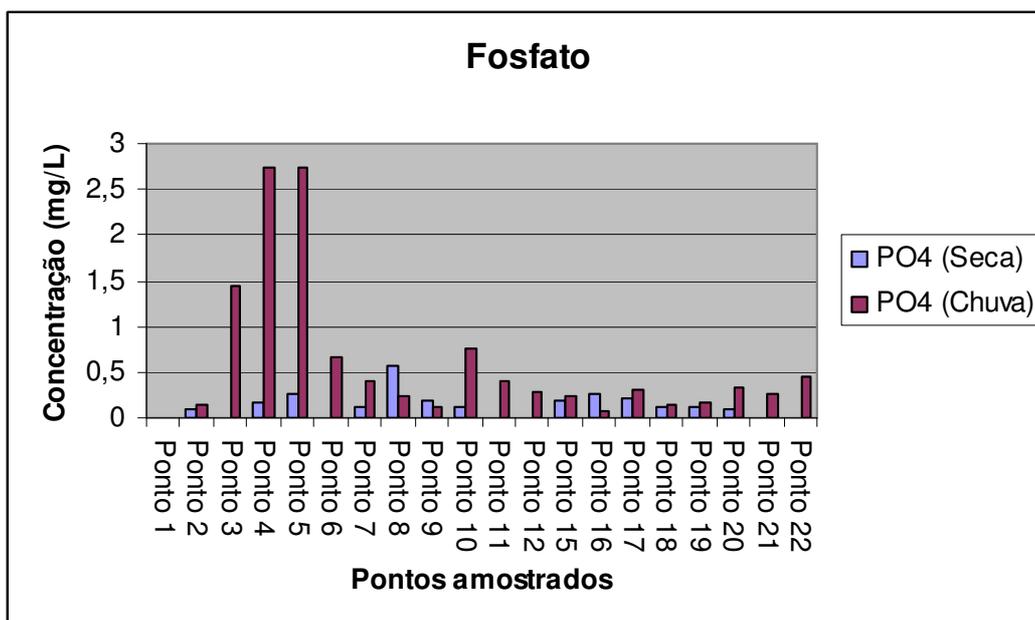


**Figura 6.9.** Comparação entre as concentrações de Ca, Mg e  $SO_4$ , demonstrando a ocorrência de sedimentação à partir do ponto 4.

### 6.1.10. Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

O fosfato raramente é encontrado em altas concentrações, por causa da sua atividade para as plantas. Como é considerado um nutriente essencial para as plantas, é prontamente acumulado por uma série de organismos. A elevação das concentrações de fosfato no meio aquático contribui para acelerar o processo de eutrofização, pois estimula o crescimento de algas.

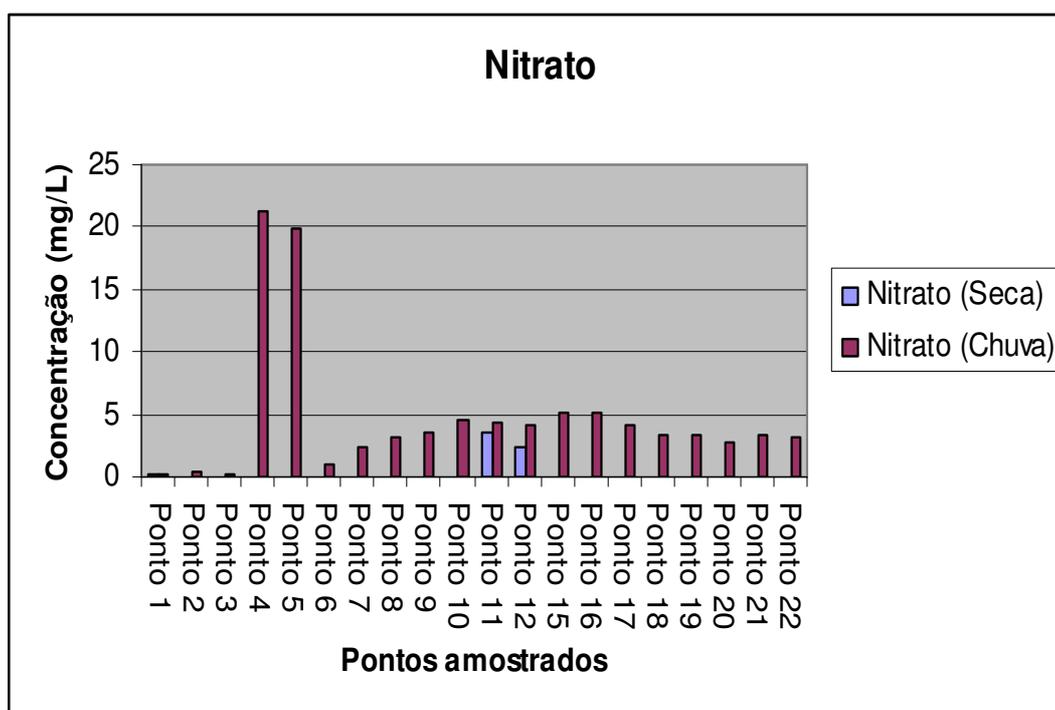
As análises demonstraram que o teor de fosfato é maior na época da chuva se comparado com a época de seca (Figura 6.10). Isso pode ser explicado pelo carreamento de fosfato das lavouras da região, que utilizam fertilizantes, para o Córrego Rico na época da chuva. Nos pontos 3, 4 e 5 da época de chuva, o teor de fosfato é maior por estarem em um local completamente degradado pela atividade de garimpagem, sendo que esta estava ocorrendo no local no momento da coleta.



**Figura 6.10.** Concentração de fosfato nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 21) na bacia do Córrego Rico. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

### 6.1.11. Nitrato

Os resultados das análises (Figura 6.11) demonstraram que o teor de nitrato é maior na época da chuva se comparado com a época de seca, embora poucos pontos tenham sido analisados na seca. Isso pode ser explicado pelo carreamento de nitrato das lavouras da região para o Córrego Rico na época da chuva. Nos pontos 4 e 5 da época de chuva, o teor de nitrato é muito maior, por estarem em um local completamente degradado pela atividade de garimpagem, sendo que esta estava ocorrendo no local no momento da coleta. Retirando-se os pontos com anomalias, nota-se que há um aumento na concentração de nitratos quando o córrego passa pela cidade de Paracatu, pontos 8 a 11, de origem antrópica por deposição de esgoto doméstico e que se mantém durante todo percurso do córrego.

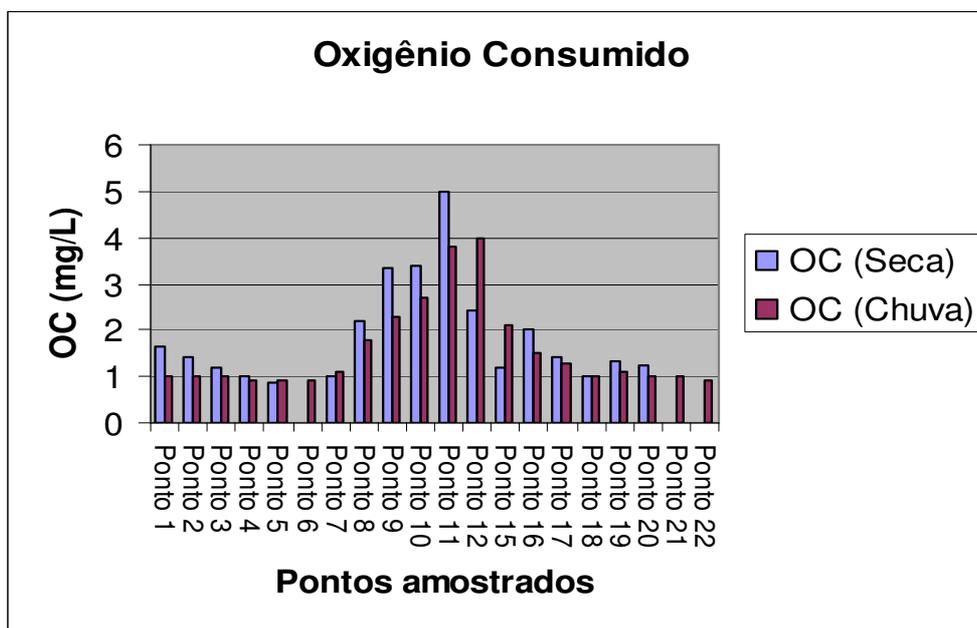


**Figura 6.11.** Concentração de nitrato nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

### 6.1.12 Oxigênio Consumido

O resultado das análises de oxigênio consumido (Figura 6.12) demonstrou que há um aumento na quantidade de matéria orgânica nos pontos 7 a 12, correspondente

aos pontos dentro da cidade de Paracatu. Esses resultados indicam a deposição de esgoto doméstico sem tratamento nas águas do córrego.



**Figura 6.12.** Concentração de Oxigênio Consumido nas águas durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico. Os pontos 6, 21 e 22 só foram amostrados no período da chuva.

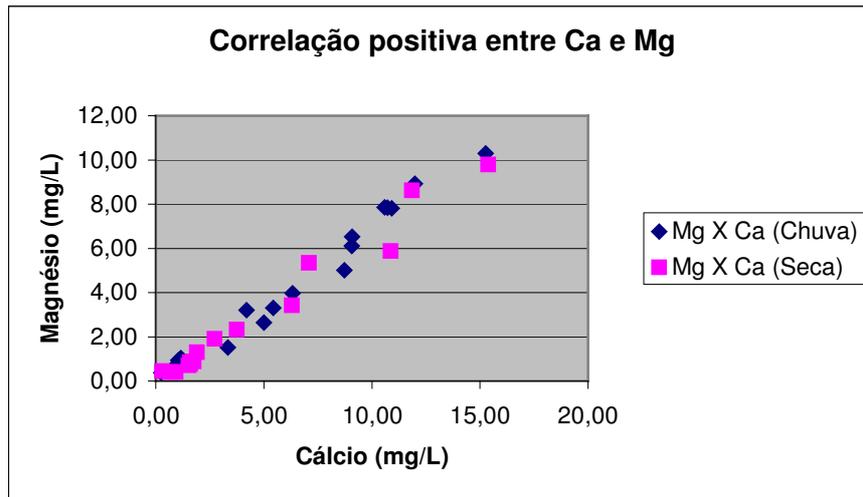
## 6.2. ANÁLISE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NA ÁGUA

Os principais cátions presentes nas águas do Córrego Rico, são cálcio, magnésio, seguidos de ferro, manganês e potássio.

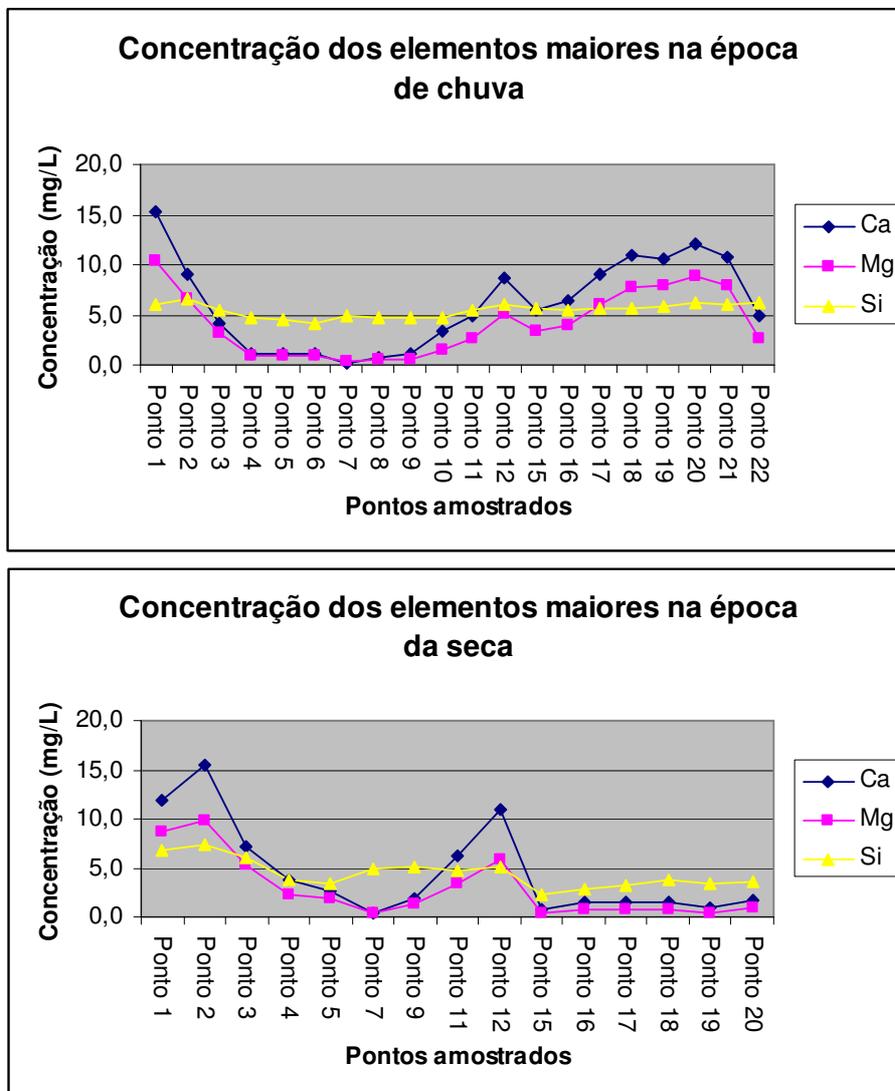
As concentrações de cálcio variam de 0,30 a 20,08mg/L nas amostras da época seca e 0,25 a 22,12mg/L na época de chuva, enquanto as concentrações de magnésio variam de 0,4 a 11,09mg/L na seca e 0,37 a 13,76mg/L na chuva. (Anexos 5 e 6)

Estes cátions possuem forte correlação positiva entre si (Figura 6.13), indicando provavelmente uma mesma fonte, que deve ser as rochas filíticas com carbonato das unidades auríferas B e C da Formação Paracatu e os carbonatos da Formação Vazante.

De um modo geral, os dados hidroquímicos obtidos nas análises dos das concentrações dos elementos, apresentam pequena variação comparando-se as estações de chuva e seca (Figura 6.14).



**Figura 6.13.** Correlação positiva entre as concentrações de cálcio e magnésio em amostras de água da bacia do Córrego Rico nos períodos de seca e chuva.



**Figura 6.14.** Concentrações dos elementos maiores, em amostras de água, da bacia do Córrego Rico, nos períodos da chuva e seca.

---

Na época da chuva os elementos Ti, La, V, Ni, Cu, Cr, Ba, Co, Zn, Pb e Cd ficaram abaixo do limite de detecção do método utilizado neste trabalho. O elemento Si se mantém estável. Os elementos Ca e Mg apresentam altas concentrações na nascente, devido à mobilização desses elementos para a água percolante nas rochas com carbonatos da geologia da região. Esses elementos têm suas concentrações decrescentes logo após a nascente, mantendo-se baixos até a entrada do córrego na Formação Vazante a partir do ponto 11. O aumento da concentração de Ca e Mg a partir desse ponto está relacionado com rochas carbonáticas da Formação Vazante. O elemento P fica abaixo do limite de detecção até o ponto 10, logo após cidade de Paracatu. Este elemento está relacionado com o processo de eutrofização dos corpos de água e por isso deve ser analisado atentamente. Embora o valor encontrado para o P seja baixo, 0,1mg/L, o fato do elemento apresentar valores abaixo do limite de detecção antes da entrada do córrego na cidade e acima deste limite quando entra na cidade, deve ser levado em consideração, pois demonstra que a longo prazo a deposição de esgoto pode causar a eutrofização do córrego. O aumento da concentração de Mo na água está relacionado com sua utilização na composição de fertilizantes e como complemento na alimentação animal, como molibdato de sódio e molibdato de amônio (GRIS *et al*, 2005; PINAZZA *et al*, 2004).

A concentração dos elementos na época seca se mostrou maior que na época de chuva, devido à diminuição do volume de água no Córrego Rico nesse período. Os elementos Ti, La, V, Ni, Cu, Cr, Ba, Co, Zn, Mo e Cd encontram-se abaixo do limite de detecção do método utilizado neste trabalho na maioria dos pontos amostrados ou apresentam concentrações muito baixas. As maiores concentrações encontradas, para a grande maioria dos elementos, está próxima à nascente, devido à mobilização desses elementos para a água percolante nas rochas. O Ca e o Mg apresentam altas concentrações nos pontos próximos à nascente, esses elementos têm suas concentrações decrescentes pouco após a nascente, mantendo-se baixos até o ponto 11, logo após a cidade de Paracatu, apresentando um pico no ponto 12 e mantendo-se estável a partir do ponto 15. O aumento da concentração de Ca e Mg a partir do ponto 12 está relacionado com contribuição antrópica a partir do esgoto proveniente da cidade de Paracatu. O elemento Si se mantém estável. No período da seca os elementos Fe, Mn e Al apresentam grande variação na sua concentração, devido à atividade garimpeira nos primeiros pontos amostrados e ao esgoto mais concentrado nesse período pela diminuição do volume de água do córrego. No ponto

---

18, a concentração anômala de Al ocorreu devido ao assoreamento do córrego com o solo laterítico rico em Al do cerrado.

#### 6.4. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ÁGUA

Os resultados dos testes realizados nos 4 pontos amostrados estão na tabela 6.2. No ponto 6, antes da entrada do Córrego Rica na cidade de Paracatu, não há coliformes totais e não há presença de *E. coli*. Nos pontos 9 e 10, há presença de coliformes totais e *E. coli*. No ponto 17 há presença de coliformes totais. O teste é qualitativo e não quantitativo, portanto, podemos afirmar que a água no ponto 6 não está contaminada, em relação aos parâmetros microbiológicos e a água nos pontos 9, 10 e 17 está contaminada.

**Tabela 6.2.** Resultado dos testes microbiológicos.

COLITEST	CRESCIMENTO (TURBIDEZ)	MUDANÇA DE COR P/AMARELO	TUBO DE DURHAM	FLUORES-CÊNCIA	INDOL
Ponto 6	-	-	-	-	-
Ponto 9	+	+	+	+	+
Ponto 10	+	+	+	+	+
Ponto 17	+	+	+	-	-

#### 6.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SEDIMENTO

A determinação da granulometria dos sedimentos de fundo teve como principal objetivo a determinação da porcentagem de material nas frações silte (<0,4µm) e argila (<0,2µm), pois frações finas tendem a adsorver mais as substâncias orgânicas e inorgânicas.

De acordo com as tabelas 6.3 e 6.4, observa-se um aumento percentual das frações mais finas no período da chuva, em função do carreamento de sedimentos das margens para o córrego para seu leito. Houve uma tendência a aumentar o percentual de frações mais finas em regiões onde a mata ciliar está totalmente degradada, como nos pontos 3, 8 a 12 e 17 a 19. Nos pontos 4, 5 e 6 a granulometria apresenta-se homogênea entre as frações, fato explicado, por estes pontos estarem em áreas de garimpo ativo, muito degradado e com freqüente revolver do leito do córrego.

As porcentagem relativamente homogênea das granulometrias no sedimento de fundo do Córrego Rico pode estar relacionada com a dificuldade do método de diferenciar

---

materiais agregados de argila, portanto, a quantidade de argila pode ser maior que a apresentada nos resultados.

**Tabela 6.3.** Composição granulométrica do sedimento de fundo das amostras coletadas na bacia do Córrego Rico no período da seca.

Pontos	% Areia Grossa	% Areia Fina	% Silte	% Argila
1	33	18	20	29
2	30	34	24	12
3	18	57	16	9
4	25	31	22	25
5	24	43	11	23
6	22	31	22	25
8	18	20	36	26
9	16	19	36	29
10	16	20	24	40
11	20	23	30	35
12	15	16	32	30
15	49	34	9	8
16	36	31	22	11
17	15	22	28	35
18	26	19	36	26
19	22	12	26	40

**Tabela 6.4.** Composição granulométrica do sedimento de fundo das amostras coletadas na bacia do Córrego Rico no período da chuva.

Pontos	% Areia Grossa	% Areia Fina	% Silte	% Argila
1	28	16	23	34
2	25	32	26	17
3	13	55	18	14
4	20	29	24	31
5	18	40	13	28
6	16	29	24	31
8	13	18	38	31
9	11	17	38	34
10	11	18	26	45
11	16	20	32	40
12	10	16	35	36
15	44	31	12	13
16	31	28	25	16
17	10	20	30	40
18	21	17	38	31
19	17	10	28	45

---

## 6.5. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS

Os resultados máximos, mínimos, médios e os desvios-padrão dos elementos analisados nas amostras de sedimentos do Córrego Rico encontram-se nas Tabelas 6.5 e 6.6. Os resultados das análises químicas de cada amostra de sedimento encontram-se nos Anexos 19 a 23.

**Tabela 6.5.** Resultados máximos, mínimos, médios e desvios padrão dos parâmetros analisados em amostras de sedimentos do Córrego Rico durante a seca.

Elementos	Unidades	N	Mínimo	Maximo	Média	Desvio Padrão	Média + 3 DP
Sr	Mg/Kg	16	6,4	56,0	34,3	13,6	75,0
Zn	Mg/Kg	16	33,5	307,6	95,1	67,1	296,5
Cu	Mg/Kg	16	17,8	194,7	65,4	45,9	203,2
Y	Mg/Kg	16	5,9	26,9	13,9	4,9	28,5
Zr	Mg/Kg	16	90,1	363,5	198,1	63,5	388,5
Be	Mg/Kg	16	0,8	2,9	1,9	0,6	3,7
Co	Mg/Kg	16	2,3	27,1	12,5	7,2	34,1
Ba	Mg/Kg	16	126,3	540,1	354,6	122,3	721,4
Mn	Mg/Kg	16	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2
V	Mg/Kg	16	84,5	204,2	156,0	33,4	256,4
Ni	Mg/Kg	4	4,7	17,8	12,2	6,5	31,7
Cr	Mg/Kg	16	32,1	109,8	70,3	20,3	131,2
Si	Mg/Kg	16	43,6	62,6	51,0	5,6	67,7
Ti	Mg/Kg	16	0,8	3,7	2,0	0,8	4,6
Al	%	16	7	23	18	4	29
Fe	%	16	10	22	15	3	24
Mg	%	16	1	2	1	0	2
Ca	%	16	0	1	1	0	1

**Tabela 6.6.** Resultados máximos, mínimos, médios e desvios padrão dos parâmetros analisados em amostras de sedimentos do Córrego Rico durante a chuva.

Elementos	Unidades	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Média +3 DP
Sr	Mg/Kg	20	16,0	49,1	34,7	9,0	61,6
Cu	Mg/Kg	20	11,9	69,2	31,7	10,8	64,0
Zn	Mg/Kg	20	11,8	208,1	69,9	42,0	196,1
Y	Mg/Kg	20	11,8	32,4	15,4	4,7	29,5
Zr	Mg/Kg	20	180,2	303,4	240,4	39,8	359,9
Be	Mg/Kg	20	1,7	2,7	2,1	0,3	2,9
Co	Mg/Kg	16	2,2	15,8	8,6	3,5	19,1
Ba	Mg/Kg	20	314,2	588,4	417,4	72,4	634,5
Mn	Mg/Kg	20	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
V	Mg/Kg	20	119,1	183,9	152,5	21,3	216,6
Ni	Mg/Kg	3	4,2	9,9	6,8	2,9	15,5
Cr	Mg/Kg	20	46,4	84,8	68,4	8,8	94,7
Si	Mg/Kg	20	47,6	59,2	52,7	3,1	62,0
Ti	Mg/Kg	20	0,6	2,7	1,6	0,5	3,2
Al	%	20	14	25	20	2	27
Fe	%	20	4	16	12	3	22
Mg	%	20	1	2	2	0	3
Ca	%	20	0	1	1	0	1

Os resultados foram considerados anômalos, se seus valores forem maiores que a média mais 3 vezes o desvio padrão. Como anomalia encontrou-se o Cu, Zn e Y no período da chuva e apenas o Zn no período da seca, todos no ponto 11. Essas anomalias de Cu e Zn remetem a uma contribuição antrópica proveniente de efluentes de esgoto, já que este ponto está logo após a cidade de Paracatu. A anomalia de Y ocorre na nascente do córrego, proveniente de minerais dissolvidos na água percolante. Para os demais elementos não se observou anomalias.

## 6.6. MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Os valores foram considerados com correlação significativa, quando  $R^2 \geq 50\%$  ( $p < 0,001$ ), de acordo com as tabelas 6.7 e 6.8.

Como a amostragem foi realizada nos períodos de seca e chuva, foram confeccionadas duas matrizes de correlação, uma para a época da seca e uma para a época da chuva. O mais importante a ser analisado nessas matrizes são as correlações que existem

---

entre os elementos nos dois períodos, pois esses elementos têm a mesma origem, geológica e/ou antrópica e não sofrem alteração sazonal significativa.

As seguintes correlações foram encontradas nas épocas de seca e chuva: Cu x Ca, Cu x Zn, Al x Ba, Sr x V, Sr x Cr e V x Cr. Por não possuírem correlação com a matéria orgânica e com os sólidos voláteis, os elementos Cu, Ca, Zn, Al, Ba, Sr, V e Cr não possuem origem em esgoto doméstico, portanto têm origem geológica. Os elementos Cu, Ca, Zn, Al e Ba têm a mesma origem geológica nos minerais calcopirita, calcita, esfarelita, clorita e barita respectivamente. O elemento Sr oxidado,  $Sr^{2+}$ , tem raio iônico semelhante aos cátions  $Ca^{2+}$  e  $Ba^{2+}$ , ocorrendo na natureza substituindo-os em carbonatos sedimentares como os que ocorrem na região estudada. O elemento Cr ocorre substituindo o elemento Al em muitos minerais, portanto o Sr e o Cr têm origem geológica. O V não possui minerais comuns, ocorrendo principalmente em depósitos de sulfetos associado a Zn e Cu, como ocorre na mineralogia da região. (WEDEPOHL, 1978). SV x MO relacionam-se, certificando que a matéria orgânica é um dos principais componentes dos sólidos voláteis ( $R^2=0,880$ ).

As correlações apresentadas na época da chuva provavelmente têm origem geológica, já que não possuem correlação com a matéria orgânica nem com os sólidos voláteis. SV x MO relacionam-se positivamente.

Na época da seca as seguintes correlações são observadas: matéria orgânica e sólidos voláteis, matéria orgânica e Cu, assim como sólidos voláteis e Cu que remete à possível origem antrópica do cobre nessa estação, de esgoto doméstico. A correlação entre Sr e Ba está relacionado com o elemento Sr oxidado,  $Sr^{2+}$ , ter raio iônico semelhante ao cátion  $Ba^{2+}$ , ocorrendo na natureza substituindo-o em carbonatos sedimentares como os que ocorrem na região estudada. A correlação entre Ba e Cr está relacionada com rejeitos urbanos de esgoto doméstico ou indústria de pigmentos.

O maior número de correlações apresentada na época de chuva, ocorre pela lixiviação de material geológico das margens para o leito do córrego, principalmente com relação ao elemento Fe, que ocorre em grande quantidade no solo laterítico da região. As correlações apresentadas estão de acordo com a mineralogia da região.

**Tabela 6.7.** Correlação de *Pearson* na época de seca. Os valores em vermelho apresentam correlação na época de seca e de chuva. Os valores em negrito apresentam correlação apenas na seca.  $R^2 \geq 50\%$  ( $p < 0,001$ ).

	Ca	Mg	Fe	Al	Si	Ti	Sr	V	Cu	Cr	Mn	Ba	Zn	SV	MO
Ca	1														
Mg	0,498	1													
Fe	-0,125	-0,209	1												
Al	-0,116	0,117	0,326	1											
Si	-0,152	0,060	-0,544	-0,678	1										
Ti	0,199	0,164	-0,062	-0,436	0,361	1									
Sr	-0,256	-0,459	0,337	0,331	-0,463	-0,482	1								
V	-0,422	-0,366	0,361	0,321	-0,215	-0,230	<b>0,861</b>	1							
Cu	<b>0,703</b>	0,076	-0,031	-0,168	-0,216	-0,061	0,328	0,126	1						
Cr	-0,230	-0,361	0,463	0,493	-0,530	-0,653	<b>0,937</b>	<b>0,805</b>	0,300	1					
Mn	0,450	0,436	-0,085	-0,078	0,171	0,259	-0,167	-0,026	0,250	-0,173	1				
Ba	-0,320	-0,289	0,344	<b>0,649</b>	-0,569	-0,828	<b>0,794</b>	0,613	0,060	<b>0,900</b>	-0,198	1			
Zn	0,382	0,182	-0,058	-0,074	-0,010	-0,098	0,431	0,329	<b>0,645</b>	0,390	-0,081	0,181	1		
SV	0,483	0,014	-0,291	-0,121	-0,275	-0,436	0,310	-0,108	<b>0,734</b>	0,286	-0,079	0,271	0,485	1	
MO	0,239	0,040	-0,365	-0,148	-0,085	-0,507	0,228	-0,085	<b>0,544</b>	0,257	-0,318	0,253	0,448	<b>0,880</b>	1

**Tabela 6.8.** Correlação de *Pearson* na época de chuva. Os valores em vermelho apresentam correlação na época de seca e de chuva. Os valores em negrito apresentam correlação apenas na chuva.  $R^2 \geq 50\%$  ( $p < 0,001$ ).

	Ca	Mg	Fe	Al	Si	Ti	Sr	V	Cu	Cr	Mn	Ba	Zn	SV	MO
Ca	1														
Mg	<b>0,602</b>	1													
Fe	<b>0,550</b>	-0,007	1												
Al	-0,150	-0,029	-0,128	1											
Si	-0,290	-0,039	-0,550	-0,159	1										
Ti	<b>0,597</b>	0,273	<b>0,606</b>	-0,413	0,011	1									
Sr	0,063	-0,073	0,273	<b>0,614</b>	0,007	0,178	1								
V	0,179	-0,167	<b>0,565</b>	-0,014	0,070	<b>0,695</b>	<b>0,595</b>	1							
Cu	<b>0,584</b>	0,128	<b>0,717</b>	-0,262	-0,392	0,470	0,115	0,346	1						
Cr	-0,014	-0,307	0,410	0,525	-0,106	0,126	<b>0,803</b>	<b>0,662</b>	0,397	1					
Mn	0,671	0,435	0,420	-0,458	-0,124	<b>0,543</b>	-0,268	0,059	0,462	-0,256	1				
Ba	-0,583	-0,265	-0,474	<b>0,675</b>	0,118	-0,759	0,222	-0,318	-0,454	0,259	-0,469	1			
Zn	<b>0,654</b>	0,481	0,422	-0,338	-0,156	0,452	-0,192	0,132	<b>0,803</b>	0,073	<b>0,643</b>	-0,490	1		
SV	0,114	0,065	0,095	-0,318	-0,416	-0,093	-0,301	-0,378	0,199	-0,334	0,280	-0,292	0,158	1	
MO	0,072	0,331	-0,124	-0,422	-0,109	0,000	-0,301	-0,333	0,094	-0,419	0,083	-0,368	0,195	<b>0,794</b>	1

---

## 6.7. ANÁLISE DE CLUSTER

Como o estudo foi realizado em dois períodos, seca e chuva, utilizou-se para a confecção do dendrograma, apenas os elementos que se correlacionavam positivamente na correlação de Pearson, para ambos períodos. Dessa maneira, podemos retirar das análises a variação sazonal normal das concentrações de alguns elementos e analisar a fonte dos elementos que estão presentes em ambos períodos.

Essa análise associa os metais estudados, além de inferir sobre a origem dos metais, sendo no entanto uma ferramenta complementar à correlação de Pearson.

Conforme figura 6.15, no período da chuva, nota-se a formação de 4 grupos. O primeiro formado pelos elementos Ca, Al e Sr, os quais são resultantes do intemperismo, já que Ca e Al se encontram em grande quantidade na crosta terrestre e o Sr pode substituir o Ca em alguns minerais por possuir raio iônico parecido quando oxidado. O segundo grupo, Cu, Cr e Zn, também sugere contribuição geológica, pois os elementos Cr e Zn estão presentes na mineralogia da região e o Cr se comporta como o ferro durante o intemperismo, podendo concentrar-se em argilas. (WEDEPOHL, 1978) O terceiro grupo, do elemento V, tem contribuição geológica e antrópica, assim como o quarto grupo, do Ba.

Na época da seca (Figura 6.16), nota-se a formação de 3 grupos. O primeiro formado pelos elementos Sr, Cu, Al, Ca, Cr e Zn, remete a uma origem geológica. O grupo 2, do V e o grupo 3, do Ba, provavelmente têm origem geológica e antrópica.



---

## 6.8. FATOR DE CONTAMINAÇÃO

A razão entre a concentração do metal no sedimento da área de estudo e a sua concentração natural em uma área controle é definida como fator de contaminação (FC). Esse fator indica quantas vezes as concentrações dos metais ultrapassam as concentrações da área controle, no caso os pontos 13 e 14 (Anexos 7 e 8). Estes pontos foram escolhidos por se tratarem de locais onde há mata ciliar preservada e pouca ação antrópica.

Os dados referentes aos fatores de contaminação calculados para cada elemento químico em relação ao ponto controle encontram-se nos Anexos 11 e 12.

De uma maneira geral, para todos os elementos analisados, a maioria dos fatores de contaminação calculados ficaram com valores abaixo ou igual ao valor controle. Os fatores de contaminação que ficaram acima deste, não alcançaram valores muito elevados, já que essa classificação propõe que valores menores que 1 indicam baixa contaminação, entre 1 e 3 contaminação moderada, entre 3 e 6 considerável e acima de 6 alta contaminação (SOARES *et al.*, 2004), ficando a maioria entre 1,1 e 1,8. No período da seca os fatores de contaminação apresentaram-se mais altos, pelo menor volume de água no córrego. Nesse período, os pontos 10, 11 e 12 apresentaram picos de contaminação de Zn, Ti e Sr e Cu, de origem antrópica, por deposição de esgoto doméstico sem tratamento, já que estes pontos estão localizados logo após a cidade de Paracatu.

No período da chuva não há variação significativa entre os fatores de contaminação, devido a um maior volume de água.

## 6.9. ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO

Como já citado no capítulo 3, o Índice de Geoacumulação (Igeo) é definido como uma medida quantitativa da poluição por metais no ambiente aquático. Este índice é agrupado numa escala com 7 intervalos, variando de 0 a 6, que representam graus de poluição crescente.

Para a região do Córrego Rico, foram utilizados como *background* a média das concentrações de cada metal em 3 pontos em um córrego próximo (Anexos 7 e 8), com pouco impacto antrópico e mesma geologia e a média mundial dos elementos associados às argilas, segundo MOREIRA, 2002. Os resultados dos índices de geoacumulação obtidos para o Córrego Rico encontram-se nos Anexos 13 a 16

---

Considerando o *background* local na época da seca, a região do Córrego Rico possui o Igeo da grande maioria dos pontos para os elementos estudados, na classe 0, ou seja, não poluído. Em alguns pontos, para os elementos Fe, Ti, V, Cu, Zn e Zr, o ponto foi classificado como pertencente à classe 1, ou seja, não poluído a moderadamente poluído. Nove pontos, para os elementos Ti, Cu e Zn, foram classificados como moderadamente poluídos. Os resultados estão de acordo com a geologia da região (Tabela 6.9)

Considerando o *background* local na época da chuva, a região do Córrego Rico possui o Igeo da grande maioria dos pontos para os elementos estudados, na classe 0, ou seja, não poluído. Em 11 pontos o Igeo para o elemento Sr foi classificado como pertencente à classe 1, ou seja, não poluído a moderadamente poluído. Em 1 ponto o Igeo para o elemento Zn foi classificado como pertencente à classe 1, ou seja, não poluído a moderadamente poluído. E em um ponto o Igeo para os elementos Cu e Zn foi classificado como pertencente à classe 1, ou seja, não poluído a moderadamente poluído. (Tabela 6.12)

Considerando o *background* mundial na época da seca, apenas o ponto 10 para o elemento Ti foi classificado como moderadamente poluídos, ou seja, pertencente à classe 2. (Tabela 6.10).

Considerando o *background* mundial na época da chuva, sete pontos foram classificados como moderadamente poluídos, ou seja, pertencente à classe 2, para o elemento Ti e três pontos foram classificados como moderadamente poluídos, ou seja, pertencente à classe 2, para o elemento Fe, segundo a Tabela 6.11.

Segundo os dados obtidos, a utilização das médias de referência mundial para o período de seca, pode levar a uma subestimação das concentrações dos elementos no Córrego Rico, já que apenas o ponto 10, para o elemento Ti, foi classificado como classe 1. A utilização das médias de referência mundial para o período de chuva, pode levar a uma superestimação das concentrações dos elementos no Córrego Rico, já que neste período vários pontos apresentaram elementos classificados como de classe 2, de acordo com a tabela 6.11. Esses resultados ratificam a conclusão de MOREIRA E BOAVENTURA, 2003, de que a utilização de referências locais para o cálculo do Índice de Geoacumulação fornece dados que caracterizam melhor a área de estudo.

O elemento titânio (Ti), que apresenta Igeo elevado em alguns pontos, é considerado um elemento imóvel devido à natureza relativamente insolúvel dos minerais em que ele faz parte, como o rutilo e o anatásio ( $TiO_2$ ). O Ti pode ocorrer em diferentes fases minerais, em materiais geogênicos ou pedogênicos. Pode também substituir o Fe em oxi-hidróxidos de Fe e

ser conservado na fração argila do solo. Entretanto alguns estudos demonstram que o Ti pode ser móvel nas diferentes camadas no solo, já que ocorrem perdas no titânio com os processos de lixiviação e translocação em condições tropicais. Assim, o Ti encontrado nos sedimentos de fundo tem como fonte o intemperismo do solo na região (MICHELON, 2006).

**Tabela 6.9.** Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias de pontos locais, no período da seca.

Amostra	0	1	2	3	4	5	6
Ponto 1	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Mg, Ca	Fe					
Ponto 2	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Fe	Ti				
Ponto 3	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	V, Ti					
Ponto 4	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Ti, Fe					
Ponto 5	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Cu, V	Ti				
Ponto 7	Sr, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Mg, Ca	Cu, Zn, Fe					
Ponto 8	Sr, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Cu, Zn, V, Fe	Ti				
Ponto 9	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	Cu, V, Ti					
Ponto 10	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Fe	Ti				
Ponto 11	Sr, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Fe	Cu, Zn, Ti				
Ponto 12	Sr, Y, Zr, Be, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zn, Co, V, Ti, Fe	Cu				
Ponto 15	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Fe	Cu, Ti				
Ponto 16	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	Cu	Ti				
Ponto 17	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Cu, V, Fe	Ti				
Ponto 18	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Cu, V, Ti, Fe					
Ponto 19	Sr, Cu, Zn, Y, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zr, V, Ti, Fe					

**Tabela 6.10.** Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias mundiais, no período da seca.

Amostra	0	1	2	3	4	5	6
Ponto 1	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Mg, Ca	Y					
Ponto 2	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Sr, Ti					
Ponto 3	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	Sr, Cr, Fe					
Ponto 4	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca						
Ponto 5	Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Sr, V, Ti, Fe					
Ponto 7	Sr, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Mg, Ca						
Ponto 8	Sr, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zn, Ti					
Ponto 9	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	Ti, Al, Fe					
Ponto 10	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca		Ti				
Ponto 11	Sr, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Sr, Cu, Zn, Ti					
Ponto 12	Sr, Y, Zr, Be, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Sr, Cu, Co					
Ponto 15	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Ti					
Ponto 16	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	Ti, Fe					
Ponto 17	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Ti					
Ponto 18	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Ti					
Ponto 19	Sr, Cu, Zn, Y, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zr, Ti, Al					

**Tabela 6.11.** Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias mundiais, no período da chuva.

Igeo - Ref mundial						
Amostra	0	1	2	3	4	5
Ponto 1	Sr, Cu, Zn, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Mg, Ca	Y, Fe				
Ponto 2	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Ti, Fe				
Ponto 3	Sr, Cu, Zn, Y, Be, Co, Mn, Ni, Cr, Si, Fe, Mg, Ca	Zr, Ba, V, Ti, Al				
Ponto 4	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Ti, Fe				
Ponto 5	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Ti, Fe				
Ponto 7	Sr, Cu, Zn, Y, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zr, V, Ti	Fe			
Ponto 8	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Ti	Fe			
Ponto 9	Sr, Cu, Zn, Y, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zr, Ti, Fe				
Ponto 10	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Fe	Ti			
Ponto 11	Sr, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Cu, V, Fe	Ti			
Ponto 12	Sr, Cu, Zn, Y, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zr, V	Ti, Fe			
Ponto 15	Sr, Cu, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zn, V, Fe	Ti			
Ponto 16	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Fe	Ti			
Ponto 17	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Fe	Ti			
Ponto 18	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	V, Fe	Ti			
Ponto 19	Sr, Cu, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Zn, V, Ti, Fe				
Ponto 20	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Ti, Fe				
Ponto 21	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Fe, Mg, Ca	Ti				
Ponto 22	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Al, Mg, Ca	Ti, Fe				

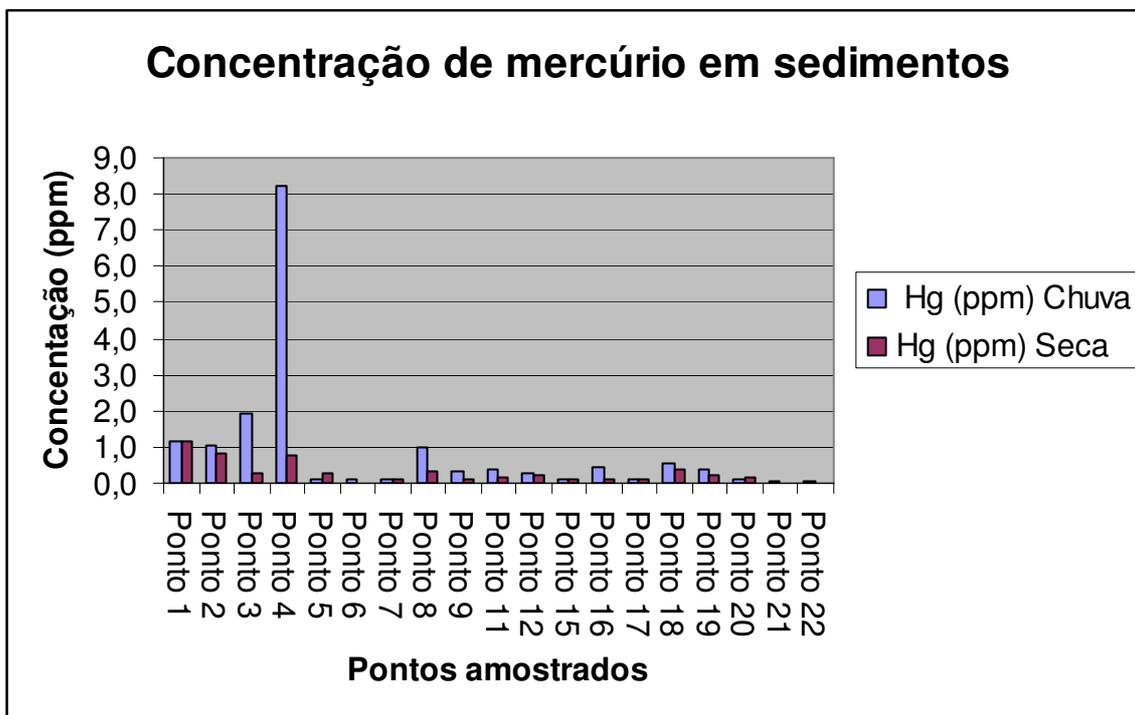
**Tabela 6.12.** Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos do Córrego Rico, utilizando como referência médias de pontos locais, no período da chuva.

Igeo - Ref regional						
Amostra	0	1	2	3	4	5
Ponto 1	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 2	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 3	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 4	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 5	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 7	Cu, Zn, Y, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr, Zr				
Ponto 8	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 9	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 10	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 11	Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr, Cu, Zn				
Ponto 12	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 15	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 16	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 17	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 18	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 19	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 20	Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca	Sr				
Ponto 21	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					
Ponto 22	Sr, Cu, Zn, Y, Zr, Be, Co, Ba, Mn, V, Ni, Cr, Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca					

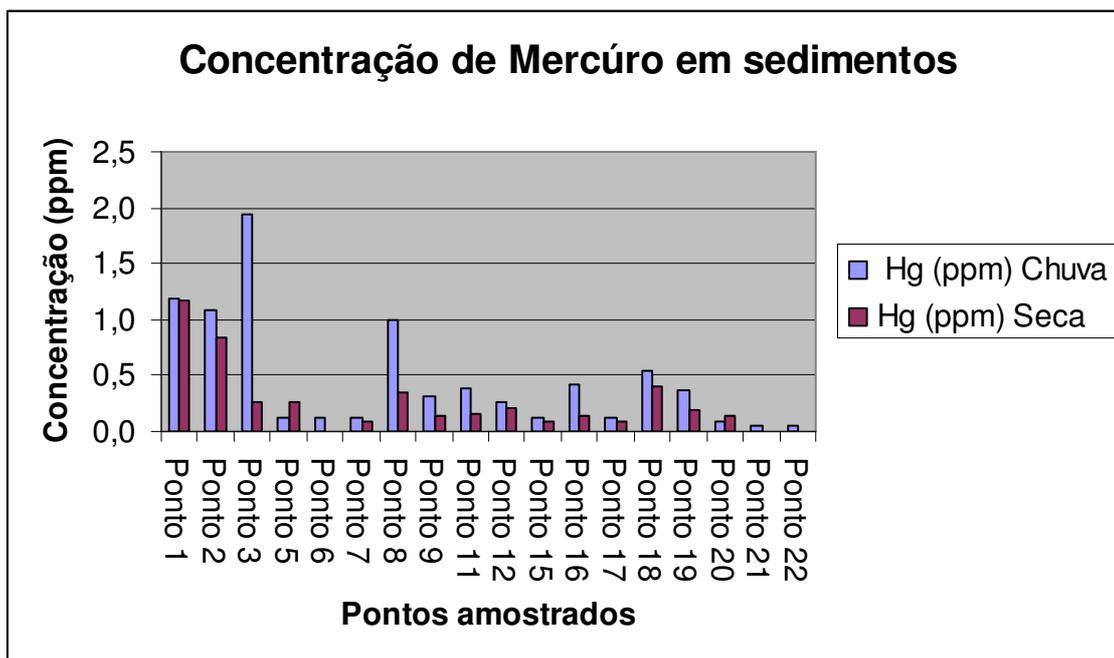
## 6.10. ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO (Hg) EM SEDIMENTOS.

De maneira geral, o elemento Hg apresentou distribuição uniforme ao longo do córrego, apenas alguns picos de concentração foram encontrados nos pontos 1, 2, 3 e 4 no período da chuva e no ponto 1 no período da seca (Figuras 6.17 e 6.18), porém estes picos estão relacionados com áreas de garimpagem próximas aos pontos de coleta. Os picos de concentração nos resultados demonstram que a contaminação por Hg no Córrego Rico é pontual e causada pela atividade de garimpo.

O lançamento de esgoto sem tratamento no Córrego Rico faz com que ocorra um aumento na quantidade de matéria orgânica disponível e com isso um aumento na quantidade de bactérias encontradas na água. O mercúrio metálico é menos tóxico que o mercúrio metilado por bactérias, portanto a associação de lançamento de esgoto doméstico com utilização de Hg no garimpo, pode fazer com que grande parte do Hg metálico passe a metil-mercúrio pela ação de bactérias, aumentando a biodisponibilidade desse elemento e com isso causando grande impacto sobre a população e fauna local.



**Figura 6.17.** Visão geral da concentração de mercúrio nos sedimentos de fundo durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 22) na bacia do Córrego Rico.



**Figura 6.18.** Concentração de mercúrio nos sedimentos de fundo durante os períodos da seca e da chuva, de montante (Ponto 1) para jusante (Ponto 23) na bacia do Córrego Rico. O dado anômalo do ponto 4 foi retirado para melhor visualização do comportamento.

### 6.11. CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO ALTO CÓRREGO RICO

Foram realizadas 10 medições de profundidade das cavas na região do alto córrego Rico (Tabela 6.13), nos pontos de coleta de água e sedimentos, a média dessas medições é de 3,25m, chegando a 7m de profundidade no ponto próximo à BR-040, e assim demonstrando a baixa capacidade de regeneração natural (resiliência) das margens do córrego, não chegando a 30%, segundo CORRÊA *et al*, 1998.

---

**Tabela 6.13.** Profundidade do leito garimpado nos pontos amostrados.

<b>Pontos Amostrados</b>	<b>Profundidade do Leito Garimpado (m)</b>
1	1,5
2	2,5
3	2,5
4	4
5	5
6	7
8	2
9	2
10	2
11	4

## **6.12. RESULTADOS DOS PONTOS CONTROLE**

Os resultados obtidos para os pontos controle estão dentro dos limites da normalidade estabelecidos pela legislação e serão utilizados como *background* local. Os dados estão apresentados nos anexos 7 a 10 e foram utilizados para o cálculo do Fator de Contaminação e de Índice de Geoacumulação. Os valores mais altos de pH nos pontos controle, se comparados com os pontos no Córrego Rico, estão relacionados com as rochas carbonáticas da Formação Vazante.

---

# Capítulo 7

## Conclusões e sugestões

### No meio do caminho

*Carlos Drummond de Andrade*

*No meio do caminho tinha uma pedra  
tinha uma pedra no meio do caminho  
tinha uma pedra  
no meio do caminho tinha uma pedra.*

*Nunca me esquecerei desse acontecimento  
na vida de minhas retinas tão fatigadas.  
Nunca me esquecerei que no meio do caminho  
tinha uma pedra  
tinha uma pedra no meio do caminho  
no meio do caminho tinha uma pedra*

---

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Durante o desenvolvimento desse trabalho foram realizados estudos geoquímicos em amostras de água e sedimentos de fundo para avaliar os impactos ambientais na bacia do Córrego Rico. Além disso, realizou-se estudo microbiológico para detecção de coliformes totais e *E. coli* em 4 pontos de estudo e análise de capacidade de resiliência do córrego com base na profundidade das cavas de garimpo.

Os parâmetros físico-químicos (temperatura, turbidez, cor, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, salinidade, dureza, alcalinidade, pH, cloreto, sulfato, fosfato e oxigênio consumido) e os elementos químicos analisados na água apresentaram valores dentro da normalidade segundo a legislação. As variações ocorridas estão relacionadas com a geologia da região estudada, com a utilização de fertilizantes na agricultura e principalmente na deposição de esgoto doméstico sem tratamento no Córrego Rico. Com o teste microbiológico pode-se concluir que há contaminação por coliformes fecais advindos do esgoto doméstico nos pontos amostrados.

Com relação aos sedimentos de fundo estudados, as variações apresentadas na concentração dos elementos químicos estão dentro da normalidade segundo a legislação e as maiores anomalias apresentadas são de origem antrópica pela deposição de esgoto doméstico sem tratamento no córrego ou pela utilização de mercúrio na atividade de garimpo.

Com relação ao fator de contaminação, a maioria dos pontos estudados apresentou valores abaixo ou igual ao valor controle. No período da seca os fatores de contaminação apresentaram-se mais altos, pelo menor volume de água no córrego, sendo que em alguns pontos, as anomalias do fator de contaminação, estão relacionadas com atividade antrópica. No período da chuva não há variação significativa entre os fatores de contaminação, devido a um maior volume de água nesse período.

Os índices de geoacumulação calculados para os metais apresentam valores baixos, classificando os sedimentos da região estudada, de uma maneira geral, como não poluídos a moderadamente poluídos. Para a confecção desses dados foram utilizados como referência a média mundial para elementos associados a argilas e a média de dois pontos controle, com isso, concluiu-se que a utilização da média local para o cálculo do índice de geoacumulação tornam os dados mais significativos com o estudo, como já havia sido reportado por MOREIRA E BOAVENTURA, 2003.

---

A capacidade de resiliência das margens do córrego segundo os dados obtidos apresenta-se baixa, não chegando a 30%, segundo dados comparados com a literatura. Com isso, é fundamental a recuperação das matas ciliares para diminuição do carreamento de sedimentos para o leito do córrego.

Embora os parâmetros analisados estejam na sua maioria dentro dos limites estabelecidos pela legislação, medidas de recuperação ambiental devem ser adotadas para esta bacia, como o término da construção da estação de tratamento de esgoto de Paracatu, com o tratamento da totalidade do esgoto doméstico da cidade. Além disso, deve-se realizar o monitoramento da qualidade da água e sedimentos de fundo, a fim de controlar a utilização de fertilizantes na agricultura e possíveis contaminações pela atividade garimpeira clandestina ou esgoto não tratado advindo de fazendas da região.

Finalizando, pode-se concluir que o principal agente contaminante da bacia do Córrego Rico é a deposição de esgoto doméstico sem tratamento no córrego.

---

# Capítulo 8

Referências

Bibliográficas

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMADO M., LEONEL L., URIAS C., KAWAI B., 2005. Poluição ambiental por metais. In [www.soresoliveira.br/projetomeioambiente/polmet.html/](http://www.soresoliveira.br/projetomeioambiente/polmet.html/).
- ALMEIDA F.F.M. 1967. Observações sobre o Pré-Cambriano da região central de Goiás. *In*: SBG, Congr. Bras. Geol., 21, Curitiba, Programa, resumo das comunicações, roteiro das excursões, 19-22.
- BAIRD C. 1999. The chemistry of natural waters. *In*: Baird C. Environmental chemistry. 2ªEd, USA, 421-459.
- BISINOTI M.C., JARDIM W.F. 2004. O comportamento do metilmercúrio no ambiente. *Química Nova*. Vol. 27(4), 593-600.
- BOAVENTURA, G.R. - 1991 - Performance do Espectrômetro de Emissão com Plasma (ICP), SPECTROFLAME FVM03, para Determinação de 20 Elementos Químicos nas Amostras de Referência Geoquímica DNC-1, W-2, UNB-B1 e UNB-G1, *In*: Congr.Bras. Geoq., 3º, São Paulo, 1991, Resumos, SBGq, V. II, p. 423-426.
- BORGES, A.L., 1992. Mineração e meio ambiente. Brasil: Instituto Brasileiro de Mineração, 111p.
- BRANCO, S. M. (1986). Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária, São Paulo, 3 ed., CETESB/ASCETESB, 616p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n. 12, de 19 de junho de 2000. Brasília, 2000.
- BRASIL . MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 1997.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

---

BRASIL. MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE. Norma de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 518, de 26 de março de 2004. Brasília, 2000a.

CAO Y.Q., YANG Y.S., HU K.R., KALIN R.M., 2004. Ecological and geochemical modelling of hydrogeological system with particular connection to human health. *Ecological Modelling*, 174, 375-385.

CAMPOS NETO M. C. 1984. Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos Grupos Canastra e Paranoá (Região de Vazante-Lagamar, MG). *Rev. Bras. Geoc.*, 14:81-91

CETEC (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS). 2004. Desenvolvimento de Tecnologia Para Descontaminação de Áreas Degradadas Pela Atividade Garimpeira, com Recuperação de Mercúrio e Ouro (Estudo de Caso – Córrego Rico/ Paracatu – MG) . Belo Horizonte, MG.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Desenvolvimento de tecnologia para descontaminação de áreas degradadas pela atividade garimpeira, com recuperação de mercúrio e ouro – estudo de caso – córrego Rico/Paracatu. Belo Horizonte, CETEC, 1999.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 2º plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro – Recursos Naturais. Belo Horizonte, CETEC, Série de Publicações Técnicas, 1981.

CLESCERI L.A., GREENBERG E., EATON A.D. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF, 20ª Ed.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005. Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005.

CARMOUZE, J. P. (1994). O Metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo - Editora Edgard Blücher – FAPESP. 253p.

- 
- CORRÊA, R.S. 2005. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação. Ed. Universa. Brasília/DF. 186p.
- CORRÊA, R.S. ; LEITE, L.L. E BASTOS, E.K. A dinâmica da degradação e da revegetação. In: Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado. CORRÊA, R.S. e MELO FILHO, B. Editora Paralelo 15, Coleção Rédio montano campestres. Brasília, 1998.
- CORTECCI, G. 2002. Geologia e Saúde. In: [www.cprm.gov.br/pgagem/geosaude.pdf](http://www.cprm.gov.br/pgagem/geosaude.pdf). São Paulo, Brasil.
- COTA, A.C.C., MULHOLLAND, D.S., BOAVENTURA, G.R. 2004. Hidrogeochemical study of the superficial water quality from the Areias river sub-basin of Corumbá river – Goiás – Brazil. Anais do Congresso Internacional de Geoquímica Ambiental. Búzios, RJ, Brasil.
- DARDENNE M.A., FREITAS-SILVA F.H. 2000. Pb-Zn ore deposits of Bambuí and Vazante groups, in São Francisco Craton and Brasília Fold Belt, Brazil. In: A. Misi & M. G. Silva (eds.). Base Metal Deposits of Brazil, 76-83.
- DARDENNE M.A. & FREITAS-SILVA F.H. 1998. Depósitos Pb-Zn-F-Ba do Supergrupo São Francisco. In: SBG, Congr. Bras.Geol., 40, Belo Horizonte, *Resumos Expandidos*, 133.
- DARDENNE M.A. 1978. Zonação tectônica na borda ocidental do Craton do São Francisco. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 30, Recife, Anais, 1:299-308.
- DIAS, J. C., LIMA, W. N., 2004. Comparação de métodos para determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. Revista científica da UFPA. Vol. 04, abril de 2004.
- EMBRAPA, 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2ª edição, Rio de Janeiro, p. 27-34, 85-87.
- ESTEVES, F. DE A., 1988. Fundamentos de limnologia. Ed. Interciência/FINEP, Rio de Janeiro, RJ. 574p.
- FREITAS-SILVA F.H. 1996. Metalogênese do depósito do Morro do Ouro, Paracatu, MG. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de geociências/UnB.

- 
- FREITAS-SILVA F.H. 1991. Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. Brasília, UnB - Instituto de Geociências, Dissertação de mestrado nº 63.
- FREITAS-SILVA F.H., DARDENNE M.A., M. A. Evolução estrutural das formações Paracatu e Vazante na região de Paracatu, MG. Rev. Escola de Minas, v. 45, n. ½, p. 57-59, 1992.
- FREITAS-SILVA F.H., DARDENNE M.A. 1992A. Quadro estratigráfico das formações Vazante e Paracatu na região de Paracatu – MG. REM, 45:91-93.
- FREITAS-SILVA F.H. & DARDENNE M.A. 1992B. Evolução estrutural das formações Paracatu e Vazante na região de Paracatu – MG. REM, 45:57-59.
- GREENBERG A.E., CLESCERI L.S., EATON A.D. (ED). 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18ed. Ed. American Public Health Association.
- GRIS E.P., CONTE E CASTRO A.M., OLIVEIRA F.F., 2005. Produtividade da soja em resposta à aplicação de molibidênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. R. Bras. Ci. Solo, 29:151-155.
- IPEM, 2003. PROJETO IMPLEMENTAÇÃO DE PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE BACIA HIDROGRÁFICA PARA O PANTANAL E BACIA DO ALTO PARAGUAI. Relatório Final. Distribuição e Transporte de Mercúrio na Bacia do Alto Paraguai.
- IGAM, 2005. ESTUDOS DE METAS DE QUALIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARACATU 2005. Estudo técnico do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM).
- LACERDA, H., 1990. Contribuição a tipologia dos depósitos auríferos da região central do Brasil. Revista Brasileira de Geociências. 20(1-4): 32-45.
- LICHT, O.A.B., 1998. Prospecção geoquímica – Princípios, Técnicas e Métodos, CPRM, Rio de Janeiro-RJ, p.236.

- 
- MASCARENHAS A.F.S., BRABO E.S., SILVA A.P., FAYAL K.F., JESUS I.M., SANTOS E.C.O., 2004. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. *Acta Amazonica*. 34(1), 61-68.
- MAIA, P.D. 2003. Estudo Geoquímico de Metais em Sedimentos de Lago Paranoá – DF. Dissertação de Mestrado em Geociências – Instituto de geociências/UnB.
- MCCUTCHEON S.C., MARTIN J.L., BARNWELL JR. T.O. 1993. Water quality. In: Maidment D.R. (Ed.). *Handbook of Hidrology*. McGraw-Hill, Inc., USA, 11.1-11.73.
- MENEGOL S., MUCELIN C.A., JUCHEN C.R., 2001. Avaliação das características físico-químicas do leito do Rio Alegria. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica*.
- MESTRINHO S.S.P. 1999. Qualidade das águas. In: Mestrinho S.S.P. *Geoquímica e Contaminação de Águas Subterrâneas*. ABAS/PE, DNPM, 47-64.
- MICHELON C. R., 2006. Balanço químico em seis conjuntos solo-saprolito do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Ciências do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.
- MOREIRA, R. C. A., BOAVENTURA, G. R., 2003. Referência Geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF. *Química Nova*. 26(0), 1-8.
- MOREIRA, R. C. A., 2002. Referência Geoquímica regional para interpretação das concentrações dos elementos químicos em sedimentos na bacia do Lago Paranoá – DF. Dissertação de Mestrado em Geociências – Instituto de geociências/UnB.
- NETO, R.O., PETTER, C.O., 2005. Abordagem da economia ambiental no contexto da mineração. *Revista Escola de Minas*. 58(1), 71-75.
- OLIVEIRA, E. C. Caracterização Geológica do Alto Córrego Rico, Paracatu/MG. Belo Horizonte, CETEC, 2001, Relatório Técnico.
- PINAZZA L.A., BORSARI F. 2004. Aumenta o uso de micronutrientes. *Revista de agronegócios da FGV*. Setembro. 50-51.

---

PROJETO MARCA D'ÁGUA / IBGE. Base de Dados Sócio-Econômicos. Informações Preliminares sobre as bacias hidrográficas pré-selecionadas. Brasília: 2001.

REIMANN C., CARITAT P., 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *The Science of the Total Environment*. 337, 91-107.

RIGOBELLO A.E., BRANQUINHO J.A., DANTAS M.G.S., OLIVEIRA T.F., NEVES FILHO W. 1988. Mina de Zinco de Vazante. In: C. Schobbenhaus e C. E. S. Coelho (eds): *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. DNPM, Brasília, 3:101-110.

RYTUBA J.J., 2000. Mercury mine drainage and processes that control its environmental impact. *The Science of the Total Environment*. 260, 57-71.

SANTOS A.C. 1997. Noções de hidroquímica. In: Feitosa F.A.C. e Manoel Filho J. *Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações*. Fortaleza, CPRM/LABHID/UFPE, 81-108.

SILVA, A.C.; TOMAZ, P.; PINTO, M.T.C.; CARVALHO, V.F. 2004. Concentração de mercúrio na ictiofauna do Córrego Rico (Paracatu, MG). *Anais do XXV Congresso Brasileiro de Zoologia*. Brasília- DF.

SOARES M.C.C., MIZUSAKI A.M.P., GUERRA T., VIGNOL M.L., 2004. Análise Geoquímica dos sedimentos de fundo do Arroio Salso, Porto Alegre – RS – Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 31(1), 39-50.

SPONZA D., KARAOGLU N., 2000. Environmental geochemistry and pollution studies of Aliga metal industry district. *Environmental International*. 27, 541-553.

TANNÚS, M.B., PIMENTEL, P.F., CASTRO E SILVA M.E.M., MOREIRA, C.V. R., OLIVEIRA, E. C.. 2001. Projeto Paracatu: Concepção e Resultados Preliminares. CETEM/MG In: *Jornada Internacional de Impacto Ambiental do Mercúrio Utilizado pela Atividade de Mineração Artesanal na Iberoamérica*. Lima. Peru.

WEDEPOHL K.H. (Ed). 1978. *Handbook of Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, v. II/1,2,3,4,5.

---

YANG H., ROSE, N., 2005. Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *Environmental International*. 31, 63-75.

ZINI, A.; FORLIN, R.; ANDREAZZA, P.; SOUZA, A. Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. Brasília, DNPM/CVRD, in: *Principais depósitos minerais do Brasil*, v. III, cap. XXIII, 1988.

---

# **ANEXO**

# **TABELAS**



**Anexo 1 – Análise físico química de água coletada no período da chuva. NA – Não analisada.**

<b>Amostra</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Cor (uH)</b>	<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>pH</b>	<b>Cond. (µS/cm)</b>	<b>TDS (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>O<sub>2</sub> Consumido (mg/L)</b>	<b>Nitrato NO<sub>3</sub> (mg/L)</b>	<b>Alcal.Total (mg/L)</b>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>NH<sub>4</sub> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub> (mg/L)</b>	<b>SAL (mg/L)</b>	<b>PO<sub>4</sub> (mg/L)</b>	<b>Dureza (mg/L)</b>
<b>Ponto 1</b>	24,5	6	1	4,55	280	137,5	7,5	NA	1	0,3	0	0	0,00	NA	0,00	0,01	80,5
<b>Ponto 2</b>	24,5	16	2	4,17	242	96,3	5,0	NA	1	0,3	0	0	0,08	NA	0,00	0,14	49,6
<b>Ponto 3</b>	30	5	2	5,6	108,5	44,5	3,0	NA	0,9	0,2	4	4	0,08	NA	0,00	1,44	23,7
<b>Ponto 4</b>	33	14	461	6,27	38,9	16,2	2,1	NA	0,9	21,3	6	6	0,09	NA	0,00	2,75	6,8
<b>Ponto 5</b>	34	30	460	6,04	42,7	16,2	2,1	NA	0,9	20,0	6	6	0,10	NA	0,00	2,75	7,2
<b>Ponto 6</b>	32	33	60	6,6	33,1	12,8	2,3	NA	1,1	1,1	6	6	0,01	NA	0,00	0,67	6,4
<b>Ponto 7</b>	27,5	41	25	10,3	12,3	5,1	2,2	NA	1,8	2,3	12	12	0,02	NA	0,00	0,40	2,2
<b>Ponto 8</b>	29,1	16	21	6,77	28,6	12,1	3,9	NA	2,3	3,2	10	10	0,54	NA	0,00	0,24	4,6
<b>Ponto 9</b>	29,6	32	20	7,28	40,1	15,2	4,4	NA	2,7	3,6	22	22	0,41	NA	0,00	0,12	5,4
<b>Ponto 10</b>	30,1	29	18	7,11	117,3	50,4	8,9	NA	3,8	4,5	34	34	2,05	NA	0,00	0,76	14,6
<b>Ponto 11</b>	29,5	25	19	7,1	120,9	52	9,9	NA	4	4,4	36	36	1,75	NA	0,00	0,41	23,4
<b>Ponto 12</b>	27,6	12	11	5,95	130	57,8	5,5	NA	2,1	4,1	44	44	0,58	NA	0,00	0,28	42,4
<b>Ponto 15</b>	24,5	15	10	7,36	78,7	37,6	5,9	NA	1,5	5,1	28	28	0,19	NA	0,00	0,23	27,2
<b>Ponto 16</b>	25	15	8	7,33	44,8	44,8	6,1	NA	1,3	5,2	36	36	0,08	NA	0,00	0,08	32,2
<b>Ponto 17</b>	25,5	14	7	7,62	125,6	59	5,2	NA	1	4,1	54	54	0,06	NA	0,00	0,30	47,8
<b>Ponto 18</b>	26,8	20	8	7,68	145,2	66,9	4,8	NA	1,1	3,3	66	66	0,03	NA	0,00	0,15	59,4
<b>Ponto 19</b>	26,9	13	12	7,96	138,7	63,3	5,0	NA	1	3,4	66	66	0,10	NA	0,00	0,16	58,8
<b>Ponto 20</b>	29,5	48	20	7,58	159,5	71,9	5,0	NA	1	2,8	72	72	0,11	NA	0,00	0,32	66,7
<b>Ponto 21</b>	27,2	16	36	7,72	145,1	63,3	2,2	NA	1,1	3,3	64	64	0,11	NA	0,00	0,27	59,0
<b>Ponto 22</b>	30	20	21	6,96	69,2	29,5	2,1	NA	0,9	3,1	26	26	0,17	NA	0,00	0,45	22,9

**Anexo 2 – Análise físico química de água coletada no período da seca. NA – Não analisada.**

<b>Amostra</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Cor (uH)</b>	<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>pH</b>	<b>Cond. (µS/cm)</b>	<b>TDS (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>O<sub>2</sub> Consumido (mg/L)</b>	<b>Nitrato NO<sub>3</sub> (mg/L)</b>	<b>Alcal.Total (mg/L)</b>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>NH<sub>4</sub> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub> (mg/L)</b>	<b>SAL (mg/L)</b>	<b>PO<sub>4</sub> (mg/L)</b>	<b>Dureza (mg/L)</b>
<b>Ponto 1</b>	21	4	2	4,14	195,4	97,8	2,7	NA	1,64	0,17	0	0	0	43	0	NA	65
<b>Ponto 2</b>	19	7	3	4,29	257	140	3,3	98,6	1,4	NA	0	0	0	43	0	0,1	79
<b>Ponto 3</b>	25,6	7	9	4,38	136,9	62,3	4,1	NA	1,2	0,09	5,6	5,6	0,03	36	0	NA	40
<b>Ponto 4</b>	19,02	15	3	5,83	69	35,3	3,1	10,6	1	NA	8,4	8,4	0	45	0	0,16	19
<b>Ponto 5</b>	22,1	12	5	5,51	54,2	27,1	3,4	18,7	0,88	NA	8	8	0	15	0	0,25	15
<b>Ponto 7</b>	19,7	5	8	5,6	8,9	4,1	2,9	22,9	1	NA	7,2	7,2	NA	11	0	0,12	3
<b>Ponto 8</b>	23,2	8	3	6,13	59,1	29	5,4	67,9	2,2	NA	21,2	21,2	0	NA	0	0,57	0
<b>Ponto 9</b>	24,8	11	7	6,18	56,6	25,9	5,9	37,7	3,36	NA	16,8	16,8	0,001	7	0	0,19	10
<b>Ponto 10</b>	24,3	12	7	6,35	73,6	35	8,4	15,8	3,4	NA	22,4	22,4	0,16	6	0	0,12	0
<b>Ponto 11</b>	28	8	24	6,71	190,1	82,2	15,5	NA	5	NA	70	70	0	6	0	NA	30
<b>Ponto 12</b>	25,4	6	12	7,16	189,9	85,4	7,2	NA	2,44	3,55	90,4	90,4	2,7	5	0	NA	51
<b>Ponto 15</b>	21,1	9	2	7,19	100,2	50,3	7,9	15,5	1,2	2,39	36,8	36,8	2,1	NA	0	0,19	3
<b>Ponto 16</b>	24,3	13	3	6,35	73,6	35	8,9	19,4	2	NA	48,8	48,8	0,009	NA	0	0,27	7
<b>Ponto 17</b>	22,9	6	3	7,09	156,3	78	7,6	35,2	1,4	NA	74	74	0,034	NA	0	0,22	7
<b>Ponto 18</b>	18,8	8	4	7,34	166,7	88	5,5	24,3	1	NA	92	92	0,037	NA	0	0,12	7
<b>Ponto 19</b>	20,1	16	3	7,48	165,1	87,4	5,4	34,5	1,32	NA	92	92	0	NA	0	0,12	4
<b>Ponto 20</b>	0	10	9	7,6	191	91	4,8	55,3	1,24	NA	114	114	0	NA	0	21	8

**Anexo 3 – Concentração dos elementos químicos (mg/L) em água, coletada no período da seca, da bacia do córrego Rico. A.L.D. –  
Abaixo do limite de detecção.**

<b>Amostra</b>	<b>Sr</b>	<b>La</b>	<b>Y</b>	<b>Ti</b>	<b>Ca</b>	<b>V</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Ni</b>	<b>Zr</b>	<b>Cu</b>	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Ba</b>	<b>Co</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>P</b>	<b>Mo</b>
<b>Ponto 1</b>	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	11,9	A.L.D	8,6	0,1	6,8	A.L.D	0,2	A.L.D	0,6	A.L.D	0,7	A.L.D	A.L.D	0,1	0,3	A.L.D	0,1	A.L.D.
<b>Ponto 2</b>	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	15,4	A.L.D	9,8	0,5	7,3	A.L.D	0,1	A.L.D	0,8	A.L.D	0,9	A.L.D	A.L.D	0,1	0,1	A.L.D	0,1	A.L.D.
<b>Ponto 3</b>	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	7,1	A.L.D	5,3	0,6	6,1	A.L.D	0,2	A.L.D	0,4	A.L.D	0,4	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,3	A.L.D	A.L.D	A.L.D.
<b>Ponto 4</b>	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	A.L.D	3,7	A.L.D	2,3	0,8	3,8	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	A.L.D	A.L.D.
<b>Ponto 5</b>	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	A.L.D	2,7	A.L.D	1,9	0,3	3,4	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	A.L.D	A.L.D.
<b>Ponto 7</b>	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	0,3	A.L.D	0,5	0,3	4,8	A.L.D	0,2	A.L.D	0,3	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,4	A.L.D	0,1	A.L.D.
<b>Ponto 9</b>	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	1,9	0,1	1,3	0,3	5,1	0,1	0,2	A.L.D	0,4	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,3	A.L.D	0,1	0,2
<b>Ponto 11</b>	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	A.L.D	6,3	A.L.D	3,4	0,5	4,7	A.L.D.	0,2	A.L.D	0,1	A.L.D	0,2	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,1	A.L.D	0,1	A.L.D.
<b>Ponto 12</b>	A.L.D	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D	10,9	A.L.D	5,9	0,1	5,0	A.L.D.	0,1	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	A.L.D	A.L.D
<b>Ponto 15</b>	A.L.D	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D	0,7	A.L.D	0,4	A.L.D	2,3	A.L.D.	0,1	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,4	A.L.D	0,1	A.L.D
<b>Ponto 16</b>	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	1,6	A.L.D	0,8	A.L.D	2,9	0,1	0,1	A.L.D	0,1	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	0,1	A.L.D
<b>Ponto 17</b>	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	1,6	A.L.D	0,8	A.L.D	3,1	0,1	0,1	A.L.D	0,2	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	0,1	A.L.D
<b>Ponto 18</b>	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	1,5	A.L.D	0,7	A.L.D	3,7	A.L.D.	0,1	A.L.D	0,8	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,7	A.L.D	0,1	A.L.D
<b>Ponto 19</b>	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	0,9	A.L.D	0,4	A.L.D	3,3	A.L.D.	0,1	A.L.D	0,5	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D	0,5	A.L.D	0,1	A.L.D
<b>Ponto 20</b>	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	A.L.D	1,8	A.L.D	0,9	A.L.D	3,6	A.L.D.	0,1	A.L.D	0,5	A.L.D	A.L.D	A.L.D	A.L.D.	0,1	0,5	A.L.D	0,1	A.L.D

**Anexo 4 - Concentração dos elementos químicos (mg/L) em água, coletada no período da chuva, da bacia do córrego Rico. A.L.D. –**

**Abaixo do limite de detecção.**

<b>Amostra</b>	<b>Sr</b>	<b>La</b>	<b>Y</b>	<b>Ti</b>	<b>Ca</b>	<b>V</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Ni</b>	<b>Zr</b>	<b>Cu</b>	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Ba</b>	<b>Co</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>P</b>	<b>Mo</b>	
<b>Ponto 1</b>	0,1	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	15,3	A.L.D.	10,3	A.L.D.	6,1	A.L.D.	0,3	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,8	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.
<b>Ponto 2</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	9,1	A.L.D.	6,5	0,4	6,6	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	0,5	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.
<b>Ponto 3</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	4,2	A.L.D.	3,2	0,9	5,6	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,0	A.L.D.	0,3	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.
<b>Ponto 4</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	1,1	A.L.D.	1,0	0,1	4,6	A.L.D.	0,4	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.
<b>Ponto 5</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	1,2	A.L.D.	1,0	0,1	4,5	A.L.D.	0,4	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.								
<b>Ponto 6</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	1,0	A.L.D.	0,9	0,1	4,1	A.L.D.	0,4	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.								
<b>Ponto 7</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,3	A.L.D.	0,4	A.L.D.	4,8	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,1						
<b>Ponto 8</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,8	A.L.D.	0,6	0,1	4,8	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,1						
<b>Ponto 9</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	1,1	A.L.D.	0,6	0,1	4,7	A.L.D.	0,4	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,0								
<b>Ponto 10</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	3,3	A.L.D.	1,5	0,1	4,8	A.L.D.	0,4	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,1
<b>Ponto 11</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	5,0	A.L.D.	2,6	0,1	5,4	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,1
<b>Ponto 12</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	8,7	A.L.D.	5,0	0,1	6,1	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,2	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,2						
<b>Ponto 15</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	5,4	A.L.D.	3,3	0,1	5,6	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,2	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,2						
<b>Ponto 16</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	6,3	A.L.D.	4,0	0,1	5,5	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	0,0	0,1						
<b>Ponto 17</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	9,1	A.L.D.	6,1	0,1	5,6	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	0,0	0,1						
<b>Ponto 18</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	10,9	A.L.D.	7,8	0,1	5,6	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,2	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,2						
<b>Ponto 19</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	10,6	A.L.D.	7,9	0,1	5,8	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,2	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,2						
<b>Ponto 20</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	12,0	A.L.D.	8,9	0,1	6,2	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,2	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,2						
<b>Ponto 21</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	10,7	A.L.D.	7,8	0,2	6,1	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,0	A.L.D.	A.L.D.	0,1	0,1						
<b>Ponto 22</b>	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	A.L.D.	5,0	A.L.D.	2,6	0,1	6,3	A.L.D.	0,4	A.L.D.	0,1	A.L.D.	A.L.D.	0,0	0,1						

---

**Anexo 5 – Estatística descritiva das concentrações dos elementos (mg/L) em água coletada no período da seca.**

<b>Elemento</b>	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Sr</b>	20	0,00	0,07	0,02	0,02
<b>La</b>	20	0,00	0,11	0,01	0,03
<b>Y</b>	20	0,00	0,03	0,00	0,01
<b>Ti</b>	20	0,00	0,03	0,01	0,01
<b>Ca</b>	20	0,30	20,08	5,28	5,89
<b>V</b>	20	0,00	0,05	0,01	0,01
<b>Mg</b>	20	0,40	11,99	3,27	3,73
<b>Fe</b>	20	0,01	0,76	0,19	0,23
<b>Si</b>	20	1,91	7,30	4,36	1,52
<b>Ni</b>	20	0,00	0,15	0,02	0,04
<b>Zr</b>	20	0,00	0,21	0,10	0,05
<b>Cu</b>	20	0,00	0,03	0,01	0,01
<b>Al</b>	20	0,00	0,80	0,26	0,26
<b>Cr</b>	20	0,00	0,04	0,01	0,01
<b>Mn</b>	20	0,00	0,85	0,14	0,24
<b>Ba</b>	20	0,00	0,05	0,02	0,01
<b>Co</b>	20	0,00	0,04	0,01	0,01
<b>Zn</b>	20	0,00	0,12	0,03	0,03
<b>Pb</b>	20	0,00	1,17	0,26	0,31
<b>Cd</b>	20	0,00	0,03	0,01	0,01
<b>P</b>	20	0,01	0,10	0,06	0,03
<b>Mo</b>	20	0,00	0,16	0,01	0,04

---

---

**Anexo 6 – Estatística descritiva das concentrações dos elementos (mg/L) em água coletada no período da chuva.**

<b>Elemento</b>	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Sr</b>	23	0,00	0,07	0,02	0,02
<b>La</b>	23	0,00	0,03	0,00	0,01
<b>Y</b>	23	0,00	0,03	0,00	0,01
<b>Ti</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ca</b>	23	0,25	22,12	7,03	5,62
<b>V</b>	23	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Mg</b>	23	0,37	13,76	4,67	3,75
<b>Fe</b>	23	0,01	0,86	0,13	0,17
<b>Si</b>	23	4,08	8,57	5,64	0,95
<b>Ni</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Zr</b>	23	0,35	0,39	0,37	0,01
<b>Cu</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Al</b>	23	0,00	0,42	0,12	0,11
<b>Cr</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mn</b>	23	0,00	0,81	0,09	0,19
<b>Ba</b>	23	0,00	0,12	0,01	0,03
<b>Co</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Zn</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pb</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cd</b>	23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>P</b>	23	0,00	0,12	0,04	0,04
<b>Mo</b>	23	0,00	0,26	0,11	0,08

---

**Anexo 7 - Concentração dos elementos químicos (mg/Kg) em sedimentos, pontos controle na época de chuva.**

Amostra	Sr	Cu	Zn	Y	Zr	Be	Co	Ba	Mn	V	Ni	Cr	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca
Ponto 13	39,55	37,74	98,06	15,05	212,35	1,93	17,50	378,86	0,11	187,23	A.L.D.	75,33	51,49	2,30	16,18	13,88	1,21	0,51
Ponto 14	9,51	36,96	132,01	12,57	174,11	2,06	12,90	426,97	0,07	120,19	A.L.D.	50,84	55,25	1,59	17,14	12,63	2,38	0,61
Média	24,53	37,35	115,04	13,81	193,23	1,99	15,20	402,92	0,09	153,71	A.L.D.	63,09	53,37	1,95	16,66	13,26	1,80	0,56

**Anexo 8 - Concentração dos elementos químicos (mg/Kg) em sedimentos, pontos controle na época de seca**

Amostra	Sr	Cu	Zn	Y	Zr	Be	Co	Ba	Mn	V	Ni	Cr	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca
Ponto 13	22,91	40,20	96,94	15,12	180,85	2,65	19,80	567,07	0,14	127,97	A.L.D.	64,90	58,18	1,17	17,01	11,01	2,02	0,78
Ponto 14	28,60	59,69	151,81	14,74	168,80	1,99	19,87	428,92	0,18	111,62	A.L.D.	60,45	54,89	1,13	11,89	10,48	1,75	2,26
Média	25,75	49,95	124,37	14,93	174,83	2,32	19,83	498,00	0,16	119,80	A.L.D.	62,67	56,53	1,15	14,45	10,75	1,88	1,52

**Anexo 9 – Análise físico química de água coletada no período da chuva nos pontos de controle. NA – Não analisada.**

Amostra	T (°C)	Cor (uH)	Turbidez (UNT)	pH	Cond. (µS/cm)	TDS (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> Consumido	Nitrato NO <sub>3</sub> (mg/L)	Alcal.Total (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	SAL (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	Dureza (mg/L)
Ponto 13	30	5	9	8,24	199,1	88,7	6,1	N.A.	1,9	5,3	76	76	0,1	N.A.	0	0,1	74
Ponto 14	27	4	5	8,9	266	118,9	2,8	N.A.	1,6	1,8	122	122	0,1	N.A.	0	0,0	112

**Anexo 10 – Análise físico química de água coletada no período da seca nos pontos de controle. NA – Não analisada.**

Amostra	T (°C)	Cor (uH)	Turbidez (UNT)	pH	Cond. (µS/cm)	TDS (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> Consumido	Nitrato NO <sub>3</sub> (mg/L)	Alcal.Total (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	SAL (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	Dureza (mg/L)
Ponto 13	25	9	8	7,99	231	98,7	6,3	N.A.	1,5	2,9	118	118	0,1	N.A.	0	0	69
Ponto 14	26	7	3	7,96	290	127,9	4,0	N.A.	1,3	1,1	159	159,2	0,0	N.A.	0	0	99

**Anexo 11 -Fator de contaminação no período da seca. Sublinhados os valores acima de 2.**

Amostra	Sr	Cu	Zn	Y	Zr	Be	Co	Ba	Mn	V	Ni	Cr	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca
Ponto 1	1,47	0,74	0,34	1,80	1,21	1,06	0,35	1,00	0,05	1,11	0,00	1,18	0,77	0,70	1,24	1,41	0,61	0,28
Ponto 2	1,65	0,53	0,38	0,88	1,14	0,74	0,39	0,68	0,06	1,38	0,00	1,10	0,82	<u>2,20</u>	1,34	1,19	0,58	0,29
Ponto 3	<u>2,17</u>	1,36	0,74	1,12	1,18	1,25	1,10	1,08	0,35	1,70	0,55	1,75	0,79	1,20	1,43	2,07	0,55	0,33
Ponto 4	1,16	0,61	0,52	0,89	1,22	0,83	0,51	0,81	0,30	1,36	0,00	1,14	0,93	1,24	1,36	1,26	0,67	0,34
Ponto 5	1,88	0,93	0,62	0,90	1,34	0,97	0,86	0,81	0,27	1,67	0,29	1,40	0,91	1,71	1,08	1,82	0,48	0,28
Ponto 7	1,29	0,84	0,92	0,82	1,02	0,97	0,34	0,90	0,10	1,12	0,00	1,24	0,90	0,74	1,36	1,29	0,81	0,49
Ponto 8	1,27	1,09	1,41	0,86	1,12	0,74	0,56	0,67	0,28	1,45	0,00	1,06	1,02	<u>2,03</u>	1,18	1,33	0,76	0,38
Ponto 9	1,23	1,26	0,58	0,85	1,20	0,88	0,28	0,83	0,16	1,36	0,00	1,30	0,83	1,30	1,59	1,58	0,79	0,37
Ponto 10	0,40	0,36	0,27	0,45	0,57	0,33	0,12	0,28	0,26	0,86	0,00	0,51	1,06	<u>3,25</u>	0,89	1,28	0,64	0,38
Ponto 11	<u>2,00</u>	<u>2,94</u>	<u>2,47</u>	1,02	1,33	0,95	0,99	0,82	0,19	1,51	1,10	1,45	0,87	1,74	1,19	1,24	0,77	0,71
Ponto 12	1,73	<u>3,90</u>	1,06	1,05	1,10	0,96	1,37	0,82	0,58	1,28	1,08	1,35	0,84	1,33	1,14	1,20	0,61	0,84
<b>Controle</b>	<b>1,00</b>																	
Ponto 15	0,78	1,77	0,76	0,55	0,64	0,37	0,94	0,25	0,26	1,05	0,00	0,71	1,11	<u>2,15</u>	0,50	0,95	0,69	0,48
Ponto 16	0,25	1,47	0,45	0,39	0,52	0,35	0,13	0,30	0,55	0,71	0,00	0,54	0,80	<u>2,74</u>	1,27	1,60	0,91	0,95
Ponto 17	1,46	1,30	0,64	1,03	1,18	0,75	0,77	0,61	0,64	1,59	0,00	1,07	0,93	<u>2,86</u>	1,11	1,37	0,76	0,45
Ponto 18	1,16	1,10	0,63	1,02	1,27	0,83	0,82	0,72	0,88	1,23	0,00	1,03	0,96	1,62	1,20	1,19	0,97	0,52
Ponto 19	1,38	0,75	0,44	1,21	<u>2,08</u>	0,89	0,55	0,80	0,42	1,45	0,00	1,12	0,91	1,61	1,59	1,04	0,70	0,38

**Anexo 12- Fator de contaminação no período da chuva. Sublinhados os valores acima de 2.**

Amostra	Sr	Cu	Zn	Y	Zr	Be	Co	Ba	Mn	V	Ni	Cr	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca
Ponto 1	1,26	0,70	0,29	<u>2,34</u>	1,23	1,16	0,47	1,33	0,59	0,72	0,00	1,04	0,95	0,41	1,19	0,70	0,71	0,68
Ponto 2	1,30	0,71	0,22	0,87	1,43	1,05	0,00	1,08	0,05	0,83	0,00	1,06	1,09	0,73	1,06	0,78	0,61	0,75
Ponto 3	1,82	0,32	0,10	0,87	1,54	1,37	0,00	1,46	0,02	0,80	0,00	1,19	1,11	0,52	1,47	0,35	1,01	0,76
Ponto 4	<u>2,00</u>	0,75	0,27	0,93	1,27	1,14	0,14	1,15	0,08	0,95	0,00	1,19	1,00	0,87	1,25	0,86	1,05	0,87
Ponto 5	1,44	0,70	0,41	0,94	1,16	1,04	0,20	1,01	0,16	0,80	0,00	1,09	0,95	0,65	1,23	0,90	0,94	0,83
Ponto 6	1,66	1,01	0,55	0,92	1,41	1,17	0,51	1,16	0,17	0,97	0,00	1,34	0,94	0,76	1,21	1,21	0,71	0,86
Ponto 7	1,62	0,93	0,50	0,85	1,57	1,05	0,57	1,00	0,27	0,98	0,00	1,21	0,95	1,06	1,18	1,18	0,89	0,85
Ponto 8	1,92	1,07	0,45	0,98	1,35	1,17	0,42	1,12	0,36	0,74	0,00	1,15	0,94	0,82	1,25	1,13	1,00	1,07
Ponto 9	1,30	0,71	0,44	0,97	1,51	1,27	0,00	1,19	0,22	0,66	0,00	1,05	1,00	0,31	1,30	0,80	0,95	0,86
Ponto 10	1,62	0,95	0,49	0,94	1,37	0,86	0,69	0,78	0,33	0,85	0,00	1,05	0,89	0,99	1,25	1,13	0,98	1,52
Ponto 11	1,52	1,85	1,81	0,94	1,03	1,01	0,90	0,94	0,66	0,89	0,00	1,31	0,96	1,02	1,13	1,22	1,08	1,50
Ponto 12	1,35	0,95	0,54	1,25	1,50	0,95	0,69	0,83	0,43	0,86	0,00	1,08	1,02	1,11	1,00	0,97	0,83	1,00
<b>Controle</b>	<b>1,00</b>																	
Ponto 15	0,65	0,84	0,97	1,02	0,93	0,83	0,73	0,83	0,79	0,71	0,00	0,73	1,03	0,98	0,82	0,85	1,22	1,19
Ponto 16	1,15	0,90	0,62	1,02	1,09	0,99	0,46	0,98	0,46	0,83	0,00	1,04	0,94	1,11	1,16	0,98	0,96	1,04
Ponto 17	1,54	0,83	0,80	1,13	1,11	0,94	0,55	0,83	0,41	0,96	0,00	1,11	1,06	1,18	1,10	0,88	0,91	0,83
Ponto 18	1,79	0,91	0,86	1,08	1,22	0,95	1,04	0,84	0,89	0,97	0,00	1,12	1,05	1,38	1,12	1,09	1,15	1,58
Ponto 19	1,53	0,84	0,94	1,27	1,12	1,16	0,70	1,13	0,40	0,76	0,00	1,11	0,98	0,77	1,35	0,84	1,07	1,09
Ponto 20	1,03	0,65	0,58	1,51	0,93	1,13	0,00	1,01	0,07	0,64	0,00	0,93	1,00	0,49	1,06	0,33	1,02	0,80
Ponto 21	0,71	0,71	0,66	1,10	1,02	0,88	0,41	0,91	0,76	0,65	0,00	0,89	0,94	0,66	1,28	0,53	1,36	1,35
Ponto 22	1,10	0,67	0,66	1,38	1,07	1,05	0,59	1,13	0,46	0,70	0,00	0,98	0,94	0,72	1,24	0,95	1,09	1,18

## Anexo 13 - Índice de Geoacumulação na seca - Média de referência local

Índice de Geoacumulação na seca - Média de referência local

Amostra	Igeo - Sr	Igeo - Cu	Igeo - Zn	Igeo - Y	Igeo- Zr	Igeo-Be	Igeo-Co	Igeo-Ba	Igeo-Mn	Igeo-V	Igeo-Ni	Igeo-Cr	Igeo-Si	Igeo-Ti	Igeo-Al	Igeo-Fe	Igeo-Mg	Igeo-Ca
Ponto 1	-3,66	-0,19	-1,26	-0,23	-0,45	-0,35	-1,90	-0,91	-4,35	-0,13	<<<0	-0,90	-1,20	-0,26	-0,37	1,00	-1,69	-3,94
Ponto 2	-3,50	-0,66	-1,07	-1,25	-0,54	-0,88	-1,73	-1,48	-3,92	0,18	<<<0	-1,00	-1,11	1,40	-0,25	0,76	-1,77	-3,90
Ponto 3	-3,10	0,69	-0,12	-0,91	-0,49	-0,12	-0,25	-0,79	-1,42	0,49	-2,98	-0,33	-1,16	0,53	-0,16	1,56	-1,85	-3,73
Ponto 4	-4,01	-0,47	-0,65	-1,25	-0,44	-0,70	-1,35	-1,21	-1,63	0,17	<<<0	-0,95	-0,92	0,57	-0,23	0,84	-1,56	-3,66
Ponto 5	-2,58	0,15	-0,37	-1,23	-0,30	-0,49	-0,61	-1,21	-1,81	0,46	-3,91	-0,65	-0,96	1,03	-0,57	1,37	-2,04	-3,93
Ponto 7	-3,86	0,00	0,19	-1,37	-0,69	-0,49	-1,93	-1,06	-3,23	-0,12	<<<0	-0,83	-0,98	-0,17	-0,24	0,88	-1,28	-3,12
Ponto 8	-3,87	0,38	0,80	-1,29	-0,57	-0,87	-1,22	-1,50	-1,72	0,26	<<<0	-1,05	-0,79	1,28	-0,44	0,92	-1,38	-3,50
Ponto 9	-3,93	0,59	-0,48	-1,30	-0,46	-0,62	-2,24	-1,17	-2,52	0,16	<<<0	-0,76	-1,09	0,64	-0,01	1,17	-1,32	-3,53
Ponto 10	-5,54	-1,24	-1,59	-2,23	-1,55	-2,03	-3,47	-2,75	-1,84	-0,49	<<<0	-2,11	-0,73	1,96	-0,85	0,86	-1,63	-3,51
Ponto 11	-3,22	1,80	1,61	-1,05	-0,32	-0,52	-0,41	-1,19	-2,28	0,31	-1,98	-0,60	-1,03	1,06	-0,43	0,82	-1,36	-2,60
Ponto 12	-3,43	2,21	0,40	-1,01	-0,59	-0,50	0,06	-1,19	-0,68	0,07	-2,01	-0,71	-1,08	0,67	-0,48	0,77	-1,69	-2,37
Ponto 15	-4,58	1,08	-0,09	-1,93	-1,37	-1,87	-0,47	-2,89	-1,83	-0,20	<<<0	-1,64	-0,67	1,36	-1,67	0,43	-1,51	-3,17
Ponto 16	-6,23	0,80	-0,85	-2,43	-1,68	-1,97	-3,39	-2,65	-0,78	-0,78	<<<0	-2,02	-1,14	1,71	-0,33	1,19	-1,12	-2,19
Ponto 17	-3,67	0,63	-0,35	-1,03	-0,49	-0,85	-0,76	-1,62	-0,56	0,39	<<<0	-1,05	-0,93	1,77	-0,52	0,96	-1,38	-3,26
Ponto 18	-4,01	0,38	-0,35	-1,04	-0,38	-0,71	-0,68	-1,39	-0,09	0,02	<<<0	-1,10	-0,87	0,96	-0,42	0,76	-1,04	-3,05
Ponto 19	-3,75	-0,17	-0,87	-0,80	0,33	-0,61	-1,26	-1,23	-1,17	0,26	<<<0	-0,97	-0,96	0,95	-0,01	0,56	-1,49	-3,49

## Anexo 14 - Índice de Geoacumulação na seca - Média mundial

Índice de Geoacumulação na seca - Média mundial

Amostra	Igeo - Sr	Igeo - Cu	Igeo - Zn	Igeo - Y	Igeo - Zr	Igeo - Be	Igeo - Co	Igeo - Ba	Igeo - Mn	Igeo - V	Igeo - Ni	Igeo - Cr	Igeo - Si	Igeo - Ti	Igeo - Al	Igeo - Fe	Igeo - Mg	Igeo - Ca
Ponto 1	-0,05	-1,63	-1,89	0,22	-0,58	-0,41	-1,80	-0,47	-4,72	-0,48	<<0	-0,34	-0,98	-1,19	-0,35	-0,08	-1,09	-2,36
Ponto 2	0,11	-2,10	-1,70	-0,80	-0,66	-0,94	-1,64	-1,03	-4,30	-0,17	<<0	-0,44	-0,89	0,47	-0,23	-0,32	-1,17	-2,32
Ponto 3	0,51	-0,75	-0,75	-0,46	-0,62	-0,18	-0,16	-0,35	-1,80	0,14	-0,85	0,23	-0,94	-0,40	-0,14	0,47	-1,26	-2,15
Ponto 4	-0,40	-1,92	-1,27	-0,80	-0,57	-0,76	-1,25	-0,76	-2,00	-0,18	<<0	-0,39	-0,70	-0,36	-0,21	-0,24	-0,96	-2,08
Ponto 5	0,30	-1,30	-1,00	-0,77	-0,43	-0,55	-0,52	-0,77	-2,19	0,12	-1,78	-0,09	-0,73	0,10	-0,55	0,28	-1,44	-2,35
Ponto 7	-0,25	-1,44	-0,44	-0,92	-0,82	-0,55	-1,83	-0,61	-3,61	-0,47	<<0	-0,27	-0,76	-1,10	-0,22	-0,21	-0,68	-1,54
Ponto 8	-0,26	-1,07	0,17	-0,83	-0,69	-0,93	-1,12	-1,05	-2,10	-0,09	<<0	-0,49	-0,57	0,35	-0,42	-0,16	-0,78	-1,92
Ponto 9	-0,31	-0,86	-1,10	-0,85	-0,59	-0,68	-2,15	-0,73	-2,90	-0,19	<<0	-0,21	-0,87	-0,29	0,01	0,08	-0,72	-1,95
Ponto 10	-1,93	-2,68	-2,21	-1,78	-1,68	-2,09	-3,38	-2,30	-2,21	-0,84	<<0	-1,55	-0,51	1,03	-0,83	-0,22	-1,03	-1,93
Ponto 11	0,39	0,36	0,99	-0,60	-0,44	-0,58	-0,31	-0,74	-2,66	-0,03	0,14	-0,05	-0,81	0,13	-0,41	-0,26	-0,77	-1,02
Ponto 12	0,18	0,77	-0,23	-0,55	-0,72	-0,56	0,16	-0,75	-1,06	-0,27	0,11	-0,15	-0,86	-0,26	-0,46	-0,31	-1,10	-0,78
Ponto 15	-0,96	-0,37	-0,72	-1,48	-1,50	-1,93	-0,38	-2,44	-2,21	-0,55	<<0	-1,08	-0,45	0,43	-1,65	-0,65	-0,91	-1,59
Ponto 16	-2,62	-0,64	-1,47	-1,97	-1,81	-2,03	-3,29	-2,20	-1,16	-1,13	<<0	-1,46	-0,92	0,78	-0,30	0,11	-0,52	-0,61
Ponto 17	-0,06	-0,81	-0,97	-0,58	-0,61	-0,91	-0,66	-1,17	-0,94	0,05	<<0	-0,49	-0,71	0,84	-0,50	-0,13	-0,78	-1,68
Ponto 18	-0,40	-1,06	-0,98	-0,59	-0,51	-0,77	-0,59	-0,94	-0,47	-0,32	<<0	-0,54	-0,65	0,03	-0,40	-0,32	-0,44	-1,47
Ponto 19	-0,14	-1,61	-1,50	-0,35	0,20	-0,67	-1,16	-0,78	-1,55	-0,09	<<0	-0,41	-0,74	0,02	0,01	-0,52	-0,89	-1,91

## Anexo 15 - Índice de Geoacumulação na chuva - Média mundial

Índice de Geoacumulação na chuva - Média mundial

Amostra	Igeo - Sr	Igeo - Cu	Igeo - Zn	Igeo - Y	Igeo - Zr	Igeo - Be	Igeo - Co	Igeo - Ba	Igeo - Mn	Igeo - V	Igeo - Ni	Igeo - Cr	Igeo - Si	Igeo - Ti	Igeo - Al	Igeo - Fe	Igeo - Mg	Igeo - Ca
Ponto 1	-3,96	-0,69	-1,60	0,04	-0,28	-0,45	-1,87	-0,02	-1,51	-0,11	<<0	-1,07	-0,97	-0,26	-0,23	0,30	-1,54	-3,82
Ponto 2	-3,91	-0,67	-1,97	-1,39	-0,06	-0,59	<<0	-0,33	-4,98	0,09	<<0	-1,04	-0,78	0,57	-0,39	0,46	-1,75	-3,68
Ponto 3	-3,42	-1,82	-3,09	-1,40	0,04	-0,21	<<0	0,11	-6,54	0,04	<<0	-0,87	-0,75	0,09	0,09	-0,72	-1,04	-3,66
Ponto 4	-3,29	-0,58	-1,67	-1,30	-0,24	-0,47	-3,59	-0,23	-4,35	0,29	<<0	-0,87	-0,90	0,82	-0,15	0,60	-0,97	-3,47
Ponto 5	-3,77	-0,67	-1,11	-1,27	-0,36	-0,60	-3,09	-0,42	-3,38	0,04	<<0	-1,01	-0,97	0,41	-0,18	0,66	-1,14	-3,53
Ponto 6	-3,56	-0,16	-0,66	-1,30	-0,09	-0,44	-1,75	-0,23	-3,26	0,32	<<0	-0,70	-0,99	0,62	-0,20	1,09	-1,54	-3,48
Ponto 7	-3,60	-0,27	-0,79	-1,42	0,07	-0,59	-1,58	-0,45	-2,65	0,34	<<0	-0,86	-0,98	1,11	-0,23	1,05	-1,22	-3,50
Ponto 8	-3,35	-0,08	-0,97	-1,22	-0,15	-0,44	-2,02	-0,28	-2,20	-0,06	<<0	-0,92	-1,00	0,74	-0,15	0,99	-1,05	-3,17
Ponto 9	-3,91	-0,67	-1,01	-1,23	0,01	-0,32	<0	-0,19	-2,94	-0,23	-4,09	-1,07	-0,91	-0,67	-0,10	0,49	-1,12	-3,49
Ponto 10	-3,59	-0,25	-0,84	-1,28	-0,13	-0,88	-1,32	-0,80	-2,33	0,14	<<0	-1,05	-1,07	1,01	-0,15	0,99	-1,08	-2,66
Ponto 11	-3,69	0,72	1,05	-1,28	-0,54	-0,66	-0,93	-0,53	-1,34	0,20	-3,47	-0,74	-0,96	1,05	-0,29	1,10	-0,94	-2,68
Ponto 12	-3,85	-0,25	-0,69	-0,87	0,00	-0,73	-1,32	-0,70	-1,94	0,15	<<0	-1,02	-0,88	1,18	-0,47	0,76	-1,31	-3,27
Ponto 15	-4,90	-0,41	0,16	-1,16	-0,68	-0,93	-1,23	-0,71	-1,07	-0,12	<<0	-1,57	-0,86	1,00	-0,75	0,58	-0,76	-3,01
Ponto 16	-4,09	-0,32	-0,50	-1,16	-0,46	-0,68	-1,89	-0,46	-1,87	0,09	<<0	-1,07	-1,00	1,17	-0,26	0,78	-1,10	-3,21
Ponto 17	-3,67	-0,44	-0,13	-1,01	-0,43	-0,75	-1,62	-0,71	-2,04	0,31	<<0	-0,97	-0,82	1,26	-0,33	0,62	-1,19	-3,53
Ponto 18	-3,45	-0,30	-0,03	-1,07	-0,30	-0,74	-0,71	-0,69	-0,91	0,31	<<0	-0,96	-0,84	1,48	-0,31	0,93	-0,85	-2,61
Ponto 19	-3,68	-0,42	0,10	-0,84	-0,42	-0,44	-1,28	-0,26	-2,06	-0,03	-2,83	-0,97	-0,94	0,65	-0,04	0,56	-0,95	-3,14
Ponto 20	-4,25	-0,79	-0,59	-0,59	-0,68	-0,48	<0	-0,42	-4,58	-0,29	<<0	-1,24	-0,90	0,00	-0,39	-0,79	-1,01	-3,58
Ponto 21	-4,78	-0,66	-0,40	-1,05	-0,56	-0,84	-2,06	-0,57	-1,13	-0,25	<<0	-1,30	-1,00	0,43	-0,12	-0,11	-0,60	-2,83
Ponto 22	-4,16	-0,75	-0,41	-0,72	-0,48	-0,59	-1,54	-0,26	-1,86	-0,14	<<0	-1,16	-1,00	0,55	-0,16	0,73	-0,92	-3,02

## Anexo 16 - Índice de Geoacumulação na chuva - Média de referência local

### Índice de Geoacumulação na seca - Média de referência local

Amostra	Igeo - Sr	Igeo - Cu	Igeo - Zn	Igeo - Y	Igeo- Zr	Igeo-Be	Igeo-Co	Igeo-Ba	Igeo-Mn	Igeo-V	Igeo-Ni	Igeo-Cr	Igeo-Si	Igeo-Ti	Igeo-Al	Igeo-Fe	Igeo-Mg	Igeo-Ca
Ponto 1	-0,15	-1,30	-2,13	0,61	-0,32	-0,24	-1,35	-0,02	-1,18	-0,68	<<0	-0,41	-0,63	-1,82	-0,34	-0,98	-1,12	-1,2166
Ponto 2	-0,10	-1,29	-2,49	-0,83	-0,10	-0,39	<<0	-0,33	-4,66	-0,48	<<0	-0,38	-0,44	-0,99	-0,50	-0,82	-1,33	-1,07824
Ponto 3	0,38	-2,44	-3,61	-0,83	0,00	0,00	<<0	0,11	-6,22	-0,53	<<0	-0,21	-0,42	-1,47	-0,03	-2,00	-0,62	-1,05642
Ponto 4	0,52	-1,20	-2,20	-0,73	-0,28	-0,27	-3,07	-0,23	-4,03	-0,28	<<0	-0,21	-0,56	-0,74	-0,26	-0,69	-0,55	-0,86814
Ponto 5	0,04	-1,29	-1,63	-0,71	-0,40	-0,39	-2,57	-0,42	-3,06	-0,53	<<0	-0,35	-0,64	-1,15	-0,29	-0,62	-0,71	-0,92915
Ponto 6	0,25	-0,77	-1,18	-0,74	-0,12	-0,23	-1,23	-0,23	-2,93	-0,25	<<0	-0,04	-0,65	-0,94	-0,31	-0,20	-1,11	-0,87768
Ponto 7	0,21	-0,89	-1,32	-0,85	0,03	-0,39	-1,06	-0,45	-2,33	-0,23	<<0	-0,19	-0,64	-0,46	-0,35	-0,23	-0,80	-0,89003
Ponto 8	0,46	-0,70	-1,49	-0,65	-0,19	-0,23	-1,50	-0,28	-1,88	-0,63	<<0	-0,26	-0,66	-0,82	-0,26	-0,30	-0,63	-0,5677
Ponto 9	-0,11	-1,29	-1,53	-0,66	-0,02	-0,11	<<0	-0,19	-2,62	-0,80	<<0	-0,40	-0,57	-2,23	-0,21	-0,80	-0,70	-0,8859
Ponto 10	0,21	-0,87	-1,36	-0,72	-0,17	-0,67	-0,79	-0,80	-2,01	-0,43	<<0	-0,39	-0,73	-0,56	-0,26	-0,30	-0,65	-0,05685
Ponto 11	0,12	0,10	0,53	-0,71	-0,57	-0,45	-0,41	-0,53	-1,02	-0,37	<<0	-0,08	-0,63	-0,51	-0,40	-0,18	-0,51	-0,07946
Ponto 12	-0,05	-0,87	-1,21	-0,30	-0,03	-0,52	-0,79	-0,70	-1,62	-0,42	<<0	-0,35	-0,54	-0,38	-0,58	-0,52	-0,88	-0,65989
Ponto 15	-1,10	-1,03	-0,37	-0,59	-0,72	-0,72	-0,71	-0,71	-0,75	-0,69	<<0	-0,91	-0,52	-0,57	-0,87	-0,70	-0,34	-0,40818
Ponto 16	-0,28	-0,94	-1,02	-0,59	-0,50	-0,48	-1,37	-0,46	-1,55	-0,48	<<0	-0,41	-0,66	-0,39	-0,37	-0,50	-0,68	-0,60455
Ponto 17	0,14	-1,06	-0,66	-0,44	-0,47	-0,54	-1,10	-0,71	-1,72	-0,26	<<0	-0,31	-0,48	-0,30	-0,45	-0,66	-0,76	-0,92068
Ponto 18	0,36	-0,92	-0,55	-0,51	-0,34	-0,54	-0,19	-0,69	-0,59	-0,26	<<0	-0,30	-0,50	-0,08	-0,43	-0,35	-0,42	4,5E-05
Ponto 19	0,13	-1,04	-0,42	-0,28	-0,46	-0,24	-0,76	-0,26	-1,74	-0,60	<<0	-0,31	-0,60	-0,91	-0,15	-0,72	-0,53	-0,5307
Ponto 20	-0,44	-1,41	-1,12	-0,02	-0,72	-0,28	<<0	-0,42	-4,25	-0,86	<<0	-0,58	-0,56	-1,56	-0,50	-2,08	-0,59	-0,97667
Ponto 21	-0,97	-1,28	-0,92	-0,48	-0,59	-0,63	-1,54	-0,57	-0,80	-0,82	<<0	-0,64	-0,66	-1,13	-0,23	-1,40	-0,18	-0,22315
Ponto 22	-0,35	-1,37	-0,93	-0,16	-0,52	-0,38	-1,02	-0,26	-1,54	-0,71	<<0	-0,50	-0,66	-1,01	-0,27	-0,55	-0,50	-0,41907

---

**Anexo 17– Sólidos Voláteis e Matéria Orgânica em sedimentos na época da chuva.**

<b>Amostra</b>	<b>Sólidos Voláteis (%)</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>
Ponto 1	11,25	2,75
Ponto 2	6,44	2,46
Ponto 3	4,53	2,01
Ponto 4	6,56	2,90
Ponto 5	7,63	2,54
Ponto 6	7,70	2,57
Ponto 7	10,27	4,10
Ponto 8	11,52	4,35
Ponto 9	11,05	3,68
Ponto 10	10,15	3,38
Ponto 11	8,90	3,15
Ponto 12	9,57	3,19
Ponto 15	9,29	4,27
Ponto 16	7,40	2,47
Ponto 17	9,61	3,75
Ponto 18	9,02	3,23
Ponto 19	7,61	2,92
Ponto 20	9,62	3,21
Ponto 21	12,69	5,90

---

---

**Anexo 18 – Sólidos Voláteis e Matéria Orgânica em sedimentos na época da seca.**

<b>Amostra</b>	<b>Sólidos Voláteis (%)</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>
Ponto 1	14,25	5,1
Ponto 2	8,73	3,25
Ponto 3	8,39	2,93
Ponto 4	7,45	3,56
Ponto 5	7,24	2,88
Ponto 7	12,79	5,83
Ponto 8	6,10	2,99
Ponto 9	9,38	4,56
Ponto 10	7,00	2,97
Ponto 11	16,52	5,62
Ponto 12	18,03	5,75
Ponto 15	12,07	5,33
Ponto 16	8,25	2,43
Ponto 17	8,00	3,33
Ponto 18	9,96	3,32
Ponto 19	8,78	3,43
Ponto 20	10,12	3,71

---

**Anexo 19- Concentração dos elementos maiores (%), em sedimento de fundo, no período de chuva.**

<b>Amostra</b>	<b>Si</b>	<b>Ti</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Soma</b>	<b>Maior+Sólidos Voláteis</b>
<b>Ponto 1</b>	50,97	0,80	19,75	9,32	1,28	0,38	82,50	93,75
<b>Ponto 2</b>	58,34	1,42	17,66	10,39	1,10	0,42	89,34	95,79
<b>Ponto 3</b>	59,20	1,02	24,50	4,59	1,81	0,43	91,55	96,08
<b>Ponto 4</b>	53,48	1,70	20,83	11,42	1,90	0,48	89,81	96,37
<b>Ponto 5</b>	50,87	1,27	20,45	11,94	1,69	0,46	86,69	94,33
<b>Ponto 6</b>	50,34	1,48	20,16	16,05	1,28	0,48	89,79	97,49
<b>Ponto 7</b>	50,60	2,07	19,68	15,66	1,60	0,48	90,08	100,35
<b>Ponto 8</b>	50,08	1,60	20,86	14,97	1,79	0,60	89,90	101,42
<b>Ponto 9</b>	53,11	0,60	21,58	10,58	1,71	0,48	88,07	99,12
<b>Ponto 10</b>	47,56	1,93	20,81	14,97	1,76	0,85	87,88	98,03
<b>Ponto 11</b>	51,22	1,99	18,90	16,20	1,94	0,84	91,10	100,00
<b>Ponto 12</b>	54,30	2,17	16,69	12,80	1,50	0,56	88,03	97,60
<b>Ponto 15</b>	55,00	1,92	13,69	11,32	2,20	0,67	84,79	94,08
<b>Ponto 16</b>	49,96	2,16	19,35	12,99	1,73	0,58	86,77	94,18
<b>Ponto 17</b>	56,78	2,30	18,35	11,64	1,64	0,47	91,18	100,79
<b>Ponto 18</b>	55,86	2,68	18,62	14,45	2,07	0,89	94,57	103,59
<b>Ponto 19</b>	52,16	1,50	22,53	11,14	1,92	0,61	89,87	97,48
<b>Ponto 20</b>	49,93	1,41	20,70	12,54	1,96	0,66	87,20	96,82
<b>Ponto 21</b>	53,45	0,96	17,66	4,36	1,84	0,45	78,72	91,40
<b>Ponto 22</b>	49,93	1,30	21,26	6,99	2,45	0,76	82,69	94,83

---

**Anexo 20 – Concentração dos elementos químicos maiores (%), em sedimento de fundo, no período da seca.**

<b>Amostra</b>	<b>Si</b>	<b>Ti</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Soma</b>	<b>Maior+Sólidos Voláteis</b>
<b>Ponto 1</b>	43,57	0,80	17,88	15,11	1,16	0,35	78,88	93,13
<b>Ponto 2</b>	46,26	2,53	19,38	12,80	1,09	0,36	82,43	91,16
<b>Ponto 3</b>	44,82	1,38	20,69	22,23	1,03	0,41	90,56	98,95
<b>Ponto 4</b>	52,64	1,42	19,66	13,57	1,27	0,43	88,98	96,43
<b>Ponto 5</b>	51,50	1,96	15,56	19,52	0,91	0,35	89,81	97,04
<b>Ponto 7</b>	50,69	0,85	19,58	13,90	1,53	0,62	87,17	99,96
<b>Ponto 8</b>	57,58	2,33	17,00	14,33	1,43	0,47	93,15	99,25
<b>Ponto 9</b>	46,86	1,49	22,90	16,96	1,49	0,46	90,17	99,55
<b>Ponto 10</b>	60,15	3,74	12,82	13,77	1,20	0,47	92,15	99,15
<b>Ponto 11</b>	48,92	2,00	17,14	13,34	1,44	0,89	83,74	100,26
<b>Ponto 12</b>	47,36	1,53	16,53	12,93	1,15	1,05	80,55	98,58
<b>Ponto 15</b>	62,61	2,47	7,26	10,17	1,31	0,60	84,42	96,49
<b>Ponto 16</b>	45,31	3,15	18,41	17,24	1,72	1,18	87,00	95,25
<b>Ponto 17</b>	52,56	3,29	16,09	14,68	1,43	0,56	88,62	96,62
<b>Ponto 18</b>	54,53	1,86	17,29	12,81	1,82	0,65	88,96	98,92
<b>Ponto 19</b>	51,27	1,86	22,92	11,16	1,32	0,48	89,01	97,79

---

**Anexo 21 – Concentração dos elementos traço ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), em sedimentos de fundo, no período da seca. A.L.D. – Abaixo do limite de detecção.**

<b>Amostra</b>	<b>Sr</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Be</b>	<b>Co</b>	<b>Ba</b>	<b>Mn</b>	<b>V</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>
<b>Ponto 1</b>	37,89	36,93	41,89	26,87	211,65	2,47	6,97	497,27	0,01	133,02	A.L.D	74,11
<b>Ponto 2</b>	42,50	26,64	47,88	13,21	199,66	1,71	7,82	336,60	0,01	164,75	A.L.D	68,95
<b>Ponto 3</b>	55,98	67,95	92,20	16,77	206,11	2,89	21,83	540,07	0,06	204,20	8,96	109,77
<b>Ponto 4</b>	29,83	30,25	64,14	13,23	213,67	1,93	10,19	404,16	0,05	163,24	A.L.D	71,45
<b>Ponto 5</b>	48,31	46,58	77,59	13,46	234,40	2,24	17,02	403,95	0,04	200,37	4,70	88,03
<b>Ponto 7</b>	33,12	42,00	114,37	12,18	179,14	2,24	6,82	449,76	0,02	133,67	A.L.D	77,61
<b>Ponto 8</b>	32,82	54,63	174,86	12,90	195,53	1,72	11,16	331,53	0,05	174,09	A.L.D	66,65
<b>Ponto 9</b>	31,58	63,16	72,19	12,76	210,39	2,05	5,49	414,82	0,03	162,61	A.L.D	81,21
<b>Ponto 10</b>	10,32	17,84	33,49	6,70	99,02	0,77	2,34	139,36	0,04	103,53	A.L.D	32,06
<b>Ponto 11</b>	51,50	146,67	307,57	15,20	232,70	2,20	19,57	409,81	0,03	180,56	17,84	90,74
<b>Ponto 12</b>	44,60	194,66	132,37	15,69	192,09	2,23	27,14	409,23	0,09	153,24	17,47	84,56
<b>Ponto 15</b>	20,13	88,60	94,39	8,25	111,95	0,86	18,72	126,30	0,04	126,27	A.L.D	44,43
<b>Ponto 16</b>	6,41	73,28	55,88	5,86	90,13	0,80	2,48	149,40	0,09	84,51	A.L.D	34,13
<b>Ponto 17</b>	37,61	65,17	79,11	15,39	206,77	1,75	15,35	304,54	0,10	190,96	A.L.D	66,80
<b>Ponto 18</b>	29,85	54,73	78,71	15,28	222,16	1,92	16,16	357,63	0,14	147,77	A.L.D	64,35
<b>Ponto 19</b>	35,64	37,37	54,89	18,06	363,45	2,07	10,86	398,75	0,07	173,74	A.L.D	70,47
<b>Ponto 20</b>	27,02	28,79	61,46	16,13	282,98	1,95	9,01	377,41	0,07	130,35	A.L.D	62,04

**Anexo 22 – Concentração dos elementos traço ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), em sedimentos de fundo, no período da chuva. A.L.D. – Abaixo do limite de detecção.**

<b>Amostra</b>	<b>Sr</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Be</b>	<b>Co</b>	<b>Ba</b>	<b>Mn</b>	<b>V</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>
<b>Ponto 1</b>	30,88	26,10	33,04	32,36	238,38	2,31	7,08	537,29	0,05	134,54	A.L.D	65,62
<b>Ponto 2</b>	31,95	26,35	25,67	11,99	276,91	2,09	A.L.D	433,49	0,00	154,75	A.L.D	67,00
<b>Ponto 3</b>	44,74	11,86	11,82	11,95	297,86	2,73	A.L.D	588,39	0,00	149,95	A.L.D	75,25
<b>Ponto 4</b>	49,14	28,09	31,48	12,79	244,96	2,27	2,15	464,39	0,01	178,30	A.L.D	75,39
<b>Ponto 5</b>	35,28	26,33	46,63	13,03	224,91	2,08	3,04	407,23	0,01	150,00	A.L.D	68,56
<b>Ponto 6</b>	40,83	37,69	63,79	12,76	272,91	2,33	7,71	466,84	0,02	181,61	A.L.D	84,77
<b>Ponto 7</b>	39,68	34,80	57,98	11,77	303,41	2,09	8,67	401,07	0,02	183,85	A.L.D	76,29
<b>Ponto 8</b>	47,07	39,79	51,27	13,57	260,40	2,32	6,38	450,83	0,03	139,35	A.L.D	72,77
<b>Ponto 9</b>	31,83	26,36	50,07	13,42	292,38	2,53	A.L.D	480,25	0,02	124,05	4,15	65,95
<b>Ponto 10</b>	39,83	35,33	56,10	12,95	264,23	1,71	10,42	314,20	0,03	159,92	A.L.D	66,52
<b>Ponto 11</b>	37,31	69,21	208,06	13,02	199,54	2,00	13,60	378,14	0,06	167,11	6,37	82,41
<b>Ponto 12</b>	33,22	35,32	62,40	17,22	290,48	1,90	10,42	335,63	0,04	161,21	A.L.D	68,26
<b>Ponto 15</b>	16,04	31,50	112,13	14,12	180,15	1,66	11,05	332,93	0,07	133,76	A.L.D	46,37
<b>Ponto 16</b>	28,25	33,56	71,11	14,11	210,23	1,96	7,01	396,75	0,04	155,29	A.L.D	65,56
<b>Ponto 17</b>	37,76	30,92	91,62	15,66	214,99	1,88	8,41	333,53	0,04	180,50	A.L.D	70,26
<b>Ponto 18</b>	43,92	34,02	98,77	14,98	235,39	1,88	15,83	338,11	0,08	180,72	A.L.D	70,97
<b>Ponto 19</b>	37,48	31,29	107,84	17,54	216,43	2,32	10,68	457,23	0,04	142,13	9,88	70,32
<b>Ponto 20</b>	26,90	24,92	75,89	19,09	207,06	2,09	8,90	457,04	0,04	131,72	A.L.D	61,70
<b>Ponto 21</b>	25,27	24,32	66,65	20,92	180,45	2,25	A.L.D	407,03	0,01	119,09	A.L.D	58,38
<b>Ponto 22</b>	17,52	26,60	76,39	15,22	196,74	1,76	6,23	367,04	0,07	122,53	A.L.D	56,17

---

**Anexo 23 - Concentração de mercúrio (Hg) em PPM, nas amostras de sedimentos, nos períodos de chuva e seca. N.A – Não analisado.**

<b>Amostra</b>	<b>Hg (Chuva)</b>	<b>Hg (Seca)</b>
<b>Ponto 1</b>	1,2	1,2
<b>Ponto 2</b>	1,1	0,8
<b>Ponto 3</b>	1,9	0,3
<b>Ponto 4</b>	8,2	0,8
<b>Ponto 5</b>	0,1	0,3
<b>Ponto 6</b>	0,1	N.A.
<b>Ponto 7</b>	0,1	0,1
<b>Ponto 8</b>	1	0,4
<b>Ponto 9</b>	0,3	0,1
<b>Ponto 11</b>	0,4	0,2
<b>Ponto 12</b>	0,3	0,2
<b>Ponto 15</b>	0,1	0,1
<b>Ponto 16</b>	0,4	0,1
<b>Ponto 17</b>	0,1	0,1
<b>Ponto 18</b>	0,5	0,4
<b>Ponto 19</b>	0,4	0,2
<b>Ponto 20</b>	0,1	0,1
<b>Ponto 21</b>	0,1	N.A.
<b>Ponto 22</b>	0	N.A.