

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais - PPGEM

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA PROVENIENTE DAS
ATIVIDADES DE MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO ARROIO DO CONDE, REGIÃO DO BAIXO JACUÍ - RS**

Gracianine Rocca Vecchio

Dissertação para obtenção do título de Mestre
em Engenharia

Porto Alegre

2001

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais - PPGEM

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA PROVENIENTE DAS
ATIVIDADES DE MINERAÇÃO DE CARVÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO ARROIO DO CONDE, REGIÃO DO BAIXO JACUÍ - RS**

Gracianine Rocca Vecchio
Química

Trabalho realizado no Departamento de Minas da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Tecnologia Mineral

Porto Alegre
2001

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final, pelo Orientador, Co-orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Co-orientador: Dra. Elba Calessio Teixeira

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Felipe Costa Leite

Prof. Dr. Leandro Fagundes

Prof. Dra. Teresinha Guerra

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
Coordenador do PPGEM

Dedico este trabalho a Deus, meu Eterno Mestre.

A meu filho Eduardo.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Jair Carlos Koppe pela orientação, compreensão, paciência e atenção dispensada durante a execução deste trabalho.

A co-orientadora Dra. Elba Calesso Teixeira, pelas críticas e sugestões prestadas em todas as fases do trabalho, e por contribuir para o meu crescimento profissional.

Ao PPGEM - UFRGS, em especial ao Professor Telmo Roberto Strohaecker, pela compreensão e oportunidade concebida, o que possibilitou a conclusão desse trabalho.

A CAPES, pela bolsa de estudos.

A CIENTEC, Departamento de Águas, pela condução das análises físico-químicas.

A FEPAM, especialmente a Divisão de Química, Setor de Coleta e Transportes, pelo apoio técnico prestado.

Ao Professor Carlos Eduardo Morelli Tucci, do IPH - UFRGS, por sua atenção e orientação para o cálculo das vazões na bacia do Arroio do Conde.

As amigas e colegas Daniela, Marta, Rosângela, Aída, Raquel e Ana Cristina pela ajuda e motivação no transcorrer desse trabalho.

Aos meus pais José e Marta, pela força e afeto em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Deborah e Júnior, e também ao meu cunhado Orlei e sobrinho Matheus, pela tolerância durante todo esse tempo.

Ao Paulo Ricardo pelo amor, carinho e paciência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE SIGLAS	xi
LISTA DE UNIDADES.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Meta e Objetivos.....	8
2. ÁREA DE ESTUDO.....	10
2.1. Localização Geográfica e Fisiográfica.....	11
2.2. Geologia.....	13
2.3. Geomorfologia.....	15
2.4. Clima.....	16
2.5. Solos.....	17
2.6. Vegetação.....	17
2.7. Características do Carvão Existente na Bacia do Arroio do Conde.....	17
2.8. Caracterização dos Depósitos de Rejeitos e Cinzas de Carvão Localizados nos Municípios de Butiá e Minas do Leão.....	18
2.8.1. Análises Físico - Químicas de Alguns Depósitos de Rejeitos e Cinzas de Carvão Mapeados na Bacia do Arroio do Conde.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1. Localização das Estações de Amostragem.....	24
3.2. Dados Utilizados.....	30
3.2.1. Dados Primários.....	30
3.2.1.1. Água Superficial.....	30
3.2.1.2. Sedimentos de Corrente.....	32

3.2.2. Dados Secundários.....	34
3.2.2.1. Água Superficial.....	34
3.2.2.2. Sedimentos de Corrente.....	34
3.3. Relevância dos Parâmetros Determinados em Águas Superficiais.....	34
3.4. Relevância dos Metais Determinados em Águas Superficiais e nos Sedimentos de Corrente.....	37
3.5. Fluxo de Transferência de Metais.....	39
3.6. Nível de Contaminação Antropogênica nos Sedimentos.....	40
3.6.1. Fator de Enriquecimento de Metais nos Sedimentos de Corrente.....	41
3.6.2. Índice de Geoacumulação – Igeo.....	42
3.7. Aplicação de Métodos Estatísticos.....	43
3.7.1. Análise Fatorial Aplicada aos Dados de Águas Superficiais.....	43
3.7.2. Funções Discriminantes Canônicas Aplicadas aos Dados de Sedimentos de Corrente.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. Sedimentos de Corrente.....	47
4.1.1. Carbono _{Total} e Enxofre _{Total}	47
4.1.2. Extração Total.....	48
4.1.3. Fator de Enriquecimento.....	50
4.1.4. Índice de Geoacumulação.....	53
4.1.5. Tratamento Estatístico.....	54
4.2. Águas Superficiais.....	58
4.2.1. Parâmetros Físico-químicos.....	58
4.2.2. Determinação de Metais Totais em Águas Superficiais.....	65
4.2.3. Tratamento Estatístico.....	70
4.2.4. Fluxo de Transferência de Metais ao Longo da Bacia do Arroio do Conde.....	77

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	80
5.1. Conclusões.....	81
5.2. Recomendações.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da bacia hidrográfica do Arroio do Conde – RS.....	12
Figura 2 -	Localização dos pontos de amostragem e das principais fontes de emissão de poluentes das atividades de mineração na bacia do Arroio do Conde – RS.....	26
Figura 3a -	P1 (30° 09' 38" S e 52° 01' 49" W) – Arroio Taquara (ponto considerado como <i>background</i>) a montante do ponto de captação da CORSAN e de depósitos de rejeitos de carvão no município de Minas do Leão.....	27
Figura 3b -	P2 (30° 07' 35" S e 52° 02' 31" W) – Arroio do Conde, próximo ao ponto de captação do lavador da CRM e de vários depósitos de rejeitos de carvão no município de Minas do Leão.....	27
Figura 3c -	P3 (30° 07' 37" S e 52° 03' 07" W) – Arroio Capão da Roça, a jusante da saída do efluente das bacias de decantação da CRM no município de Minas do Leão.....	28
Figura 3d -	P4 (30° 05' 56" S e 51° 56' 32" W) – Arroio Martins, a jusante da COPELMI e de depósitos de rejeitos e cinzas de carvão no município de Butiá.....	28
Figura 3e -	P5 (30° 03' 93" S e 51° 55' 81" W) – Arroio do Conde, após a confluência com o Arroio Martins no município de Butiá.....	29
Figura 3f -	P6 (29° 57' 81" S e 51° 47' 86" W) – Arroio do Conde, afluente do Rio Jacuí no município de São Jerônimo.....	29
Figura 4a -	Concentração de Cu, Cd, Pb e Ni nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	49
Figura 4b -	Concentração de Mn, Cr, Fe e Zn nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	50
Figura 4c -	Concentração de Co nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	50
Figura 5a -	Fator de enriquecimento de Co e Pb nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	52
Figura 5b -	Fator de enriquecimento de Cd e Ni nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	52

Figura 5c - Fator de enriquecimento de Cu e Mn nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	52
Figura 5d - Fator de enriquecimento de Cr e Fe nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	53
Figura 5e - Fator de enriquecimento de Zn nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	53
Figura 6 - Funções Discriminantes Canônicas obtidas para os 6 pontos estudados na bacia hidrográfica do Arroio do Conde.....	57
Figura 7 - Variação média do pH determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	60
Figura 8 - Variação média do potencial redox determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	61
Figura 9 - Variação média do íon ferroso determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	61
Figura 10 - Variação média do sulfato determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	62
Figura 11 - Variação média da condutividade determinada nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	62
Figura 12 - Variação média dos sólidos totais dissolvidos determinados nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	63
Figura 13 - Variação média da demanda química de oxigênio determinada em 5 dos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	63
Figura 14 - Variação média da matéria orgânica determinada nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	64
Figura 15 - Variação média das partículas em suspensão determinadas nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	64
Figura 16 - Variação média da turbidez determinada nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	65
Figura 17 - Variação média do oxigênio dissolvido determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	65
Figura 18 - Variação média de Pb total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	67
Figura 19 - Variação média de Cu total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	67

Figura 20 -	Varição média de Cr total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	68
Figura 21 -	Varição média de Ni total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	68
Figura 22 -	Varição média de Co total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	69
Figura 23 -	Varição média de Fe total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	69
Figura 24 -	Varição média de Mn total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	70
Figura 25 -	Índice de Poluição da bacia do Arroio do Conde determinado durante os períodos de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder calorífico e teor de cinzas e enxofre referentes aos carvões das minas localizadas na bacia do Arroio do Conde.....	18
Tabela 2 - Teores de cinzas, S_{total} , C_{total} e pH referentes às amostras dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.....	20
Tabela 3 - Concentração total dos metais presentes nas amostras coletadas nos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.....	20
Tabela 4 - Percentual dos metais lixiviados nas amostras coletadas nos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.....	20
Tabela 5 - Percentual dos metais solubilizados nas amostras coletadas nos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.....	21
Tabela 6 - Ordem crescente de mobilidade dos metais em relação às concentrações totais dos metais determinados nas amostras dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão (Teixeira e Sanchez, 1998).....	22
Tabela 7 - Nível de enriquecimento dos metais nos sedimentos.....	41
Tabela 8 - Classificação do índice de geoacumulação de metais pesados nos sedimentos do Rio Reno (Müller, <i>apud</i> Förstner, 1989).....	42
Tabela 9 - Média dos teores de carbono e enxofre em amostras de sedimentos referentes aos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.....	47
Tabela 10 - Concentração média dos metais em sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	48
Tabela 11 - Média dos índices de geoacumulação de metais nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.....	53
Tabela 12 - Matriz dos coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> para metais, C_{total} e S_{total}	54
Tabela 13 - Funções Canônicas obtidas para os 6 pontos estudados.....	55

Tabela 14 - Matriz de correlação entre as variáveis discriminantes e as Funções Discriminantes Canônicas padronizadas.....	56
Tabela 15 - Média e desvio padrão das variáveis determinadas nas águas superficiais da bacia do Arroio do Conde.....	71
Tabela 16 - Matriz de correlação de <i>Pearson</i> para as 14 variáveis determinadas nas águas superficiais, nos períodos de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.....	72
Tabela 17 - Cargas Fatoriais obtidas em águas superficiais na bacia do Arroio do Conde para o período de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.....	73
Tabela 18 - Coeficientes dos escores fatoriais em águas superficiais na bacia do Arroio do Conde para o período de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.....	74
Tabela 19 - Escores Fatoriais - F1 obtidos para os pontos 1, 2, 3, 5 e 6.....	75
Tabela 20 - Concentrações médias e fluxos médios de metais determinados em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde – período: maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.....	78
Tabela 21 - Fluxos médios e fluxos médios específicos de metais determinados em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde – período: maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos depósitos mapeados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.....	19
Quadro 2 - Métodos empregados na determinação dos parâmetros físico-químicos.....	31

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
CETESB	Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPELMI	Companhia de Pesquisa e Lavras Minerais
CORSAN	Companhia Rio-grandense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CRM	Companhia Rio-grandense de Mineração
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
GTM	Geociências e Tecnologia Mineral
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Economia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
PADCT	Projeto de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

LISTA DE UNIDADES

g/L	grama por litro
mg/L	miligrama por litro
µg/L	micrograma por litro
µg/g	micrograma por grama
µS/cm	micro-Siemens por centímetro
m ³ /s	metro cúbico por segundo
km ²	quilômetro quadrado
km	quilômetro
m	metro
°C	graus Celsius
U.N.T.	unidade nefelométrica de turbidez
t/ano	toneladas por ano
t/km ² .ano	toneladas por quilômetro quadrado ano

RESUMO

Esse trabalho teve como meta estudar os efeitos provenientes das atividades de mineração de carvão sobre as águas superficiais e sedimentos de corrente em seis pontos localizados na bacia do Arroio do Conde, região do Baixo Jacuí, RS. Para avaliar a influência antrópica nos cursos d'água superficiais, foram utilizadas as informações adquiridas no presente trabalho, durante o período de setembro à dezembro de 1997 e nos meses de fevereiro, abril e junho de 1998, e as pertencentes ao estudo realizado por Teixeira e Sanchez (1998), correspondente ao período entre maio de 1994 à novembro de 1995. Quanto aos sedimentos de corrente, foram utilizados os dados obtidos nesse trabalho nos meses de janeiro, outubro e dezembro de 1997, e por Teixeira e Sanchez (1998) durante os meses de outubro de 1992, abril de 1993, agosto e novembro de 1994, fevereiro, maio e setembro de 1995. Com base nos dados disponíveis, os resultados para as águas superficiais indicaram influência antrópica mais significativa no Arroio Capão da Roça, evidenciada pela estimativa dos fluxos de transferência elevada para todos os elementos metálicos analisados. Os sedimentos de corrente apresentaram teores elevados de $\text{Carbono}_{\text{total}}$ e $\text{Enxofre}_{\text{total}}$ para o Arroio Capão da Roça e um aumento gradual de montante para jusante para os elementos Cu, Ni e Zn. As áreas que sofrem maior influência antropogênica apresentaram concentrações elevadas de Fe e Cr, e as localizadas a jusante das principais fontes de contaminação por carvão revelaram concentrações elevadas de Mn, Cd e Co, bem como enriquecimento moderado para os elementos Co, Cu, Zn, Cd, Ni e Fe. Não houve acumulação significativa de metais nos sedimentos da bacia hidrográfica estudada. Técnicas estatísticas de Análise Fatorial e Funções Discriminantes Canônicas foram utilizadas como ferramentas complementares para integração, síntese e apresentação visual dos resultados de águas superficiais e sedimentos de corrente, respectivamente. A determinação de um Índice de Poluição para as águas superficiais, possibilitou definir os locais críticos em relação aos parâmetros analisados, bem como revelou boa qualidade para os cursos d'água situados a jusante desses locais. A técnica das Funções Discriminantes Canônicas permitiu diferenciar os sedimentos de corrente mediante a identificação dos parâmetros que apresentaram maior variabilidade entre os seis pontos estudados (Ni, Co, Zn, $\text{Carbono}_{\text{total}}$ e $\text{Enxofre}_{\text{total}}$). De forma geral, com exceção de alguns pontos específicos, a bacia do Arroio do Conde não encontra-se comprometida pela influência antrópica proveniente do carvão.

ABSTRACT

The goal of this study was to understand the effects of the coal mining activities on fluvial waters and stream sediments of the Arroio do Conde basin, Baixo Jacuí region, Rio Grande do Sul State. Besides the data collected in this work, from September 1997 to June 1998, data from Teixeira and Sanchez (1998) were added to evaluate the anthropogenic influence in fluvial waters and stream sediments contamination. Fluvial waters analysis showed that the strongest influence was in the Arroio Capão da Roça where the data indicate high metals transference flux. In the same stream, high grades of carbon and sulfur and an increasing content of Cu, Ni and Zn in upstream sediments were identified. The zones of higher anthropogenic influence contain high concentrations of Fe and Cr and the zones located downstream of the sources of coal contamination showed high levels of Mn, Cd, and Co, as well as moderate enrichment of Cu, Zn, Cd, Ni and Fe. No significant accumulation of metals was identified in the stream sediments of the Arroio do Conde basin. Factorial analysis (FA) and canonic discriminant functions (CDF) were applied as complementary tools in the general analysis and integration of results for fluvial waters and stream sediments. The definition of a Pollution Index for fluvial waters allowed to define the critical polluted areas as well as indicated the good quality of downstream waters far from those areas. The CDF technique was able to classify stream sediments based on the variability of the studied parameters (Ni, Co, Zn, C and S). With a few exceptions, in a general way the Arroio do Conde basin was not seriously polluted by the coal mining activities.

1. INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A preocupação e interesse pelo dimensionamento e avaliação dos efeitos antrópicos advindos das atividades de mineração de carvão têm sido enfatizada por diferentes áreas de pesquisa, em função de causarem uma série de alterações ambientais, mesmo a grandes distâncias da fonte geradora (Salomons, 1995).

Os problemas inerentes ao meio ambiente, resultantes das atividades de mineração de carvão, começam a partir do processo de mineração a céu aberto ou subterrânea, onde iniciam-se as modificações na estrutura do meio natural, com probabilidade de possibilitar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, alterações na atmosfera pela geração de poeira, e perda de fertilidade do solo (Sanchez e Formoso, 1991). Destacam-se, também, os efeitos antrópicos associados aos efluentes procedentes das plantas de beneficiamento, dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão, entre outros. Em termos ambientais, os efluentes mais críticos dos processos de beneficiamento de carvão correspondem a geração de finos, pois esses podem elevar o teor de sólidos em suspensão.

Os impactos decorrentes dos rejeitos e cinzas de carvão tendem a se acentuar quando estão dispostos de forma inadequada (sem a compactação adequada, seguida de revestimento dos taludes com argila e revegetação), pois a geração de poluentes pode permanecer ativa e com risco potencial ao meio ambiente por muitos anos, mesmo após a atividade de mineração ter sido cessada. O tempo de duração pode variar em função de diferentes fatores, tais como concentração de rejeito piritoso, quantidade e granulometria do material exposto.

A deposição de rejeitos piritosos oriundos das minerações e do beneficiamento do carvão quando expostos ao oxigênio da atmosfera e à umidade, tem como consequência a oxidação da pirita (FeS_2) além de outros minerais sulfetados. Essa reação gera como principal produto o ácido sulfúrico, o qual pode provocar a acidificação das águas superficiais e subterrâneas, principalmente, em áreas onde a capacidade tampão é pouco elevada, isto é, pobre em carbonatos. Esse fato, pode acarretar a acidificação dos cursos d'água por longo tempo, mesmo sem haver

novas deposições de rejeitos, devido a capacidade tampão do resíduo contendo pirita ter extinguido.

A deposição inadequada dos rejeitos pode provocar, ainda, a contaminação dos solos, tornando-se mais evidente logo abaixo das pilhas, onde os contaminantes são absorvidos pelo solo, e também pelo pasto natural e ou cultivado. Provoca, também, assoreamento de rios e reservatórios, alteração da geomorfologia e à degradação de extensas áreas rurais e urbanas com conseqüente desvalorização de propriedades (Schubert, 1979). Ressalta-se, ainda, os efeitos relacionados ao incremento de metais pesados, sólidos nas águas superficiais, bem como infiltração de água através das pilhas gerando a drenagem (*run-off*), com subseqüente remoção de parte do material solúvel, composto por finos de carvão, ácidos húmicos, ácido sulfúrico e diversos íons inorgânicos.

As cinzas quando depositadas inadequadamente, podem reagir com a água, acarretando a solubilização dos elementos metálicos existentes na superfície da partícula (Sanchez, 1994; Teixeira et al., 1992), bem como ocasionar variações do pH por reações com óxidos que constitui as cinzas (Sanchez, 1994).

Dentre os efeitos provocados pelos rejeitos e cinzas de carvão dispostos de forma inadequada, os elementos traços no meio ambiente se destacam devido a solubilidade apresentada em pH ácido e por não serem biodegradáveis. Em condições ácidas, as concentrações dos metais tendem a aumentar, podendo vir a comprometer a integridade dos ecossistemas hídricos, além das populações que se utilizam de seus recursos (Esteves, 1988). Associada à concentração, o tipo de metal envolvido e sua especiação química influem no efeito poluidor e na toxicidade orgânica (Förstner e Wittman, 1981). Mudanças no estado de oxidação de um elemento pode, também, ter efeito profundo sobre a biodisponibilidade e a toxicidade.

Os elementos-traço em sistemas de águas naturais estão presentes sob diversas formas químicas (íons, complexos inorgânicos, colóides) e físicas (associadas as partículas sólidas e dissolvidas). A partição desses elementos, ou

seja, a relação entre as concentrações da fase particulada e dissolvida, atua como um importante agente regulador de suas concentrações, definindo o tempo de permanência na coluna d'água (Sigg, 1985).

Fatores hidrológicos e hidrodinâmicos influenciam de forma significativa na dinâmica dos poluentes nos cursos d'água, principalmente em rios, arroios, sistemas essencialmente abertos, com materiais alóctones (dissolvidos e em suspensão) originando, normalmente, um fluxo na direção a jusante. A vazão dos recursos hídricos agrega as condições críticas ambientais e, a variabilidade deste parâmetro associada a outros fatores (descargas lançadas no curso d'água, reações internas e condições de transporte de massa) irão influenciar na concentração de uma certa variável de qualidade de água. O ambiente litológico pode, também, ser responsável pela disponibilidade relativa dos metais, com conseqüente alteração de suas concentrações.

Há vários processos físicos (advecção, diluição, dispersão e sedimentação) e químicos (reações em soluções, precipitação, coprecipitação e adsorção em sedimentos de corrente ou em partículas em suspensão) que atuam no meio aquático podendo promover, direta ou indiretamente, a atenuação de poluentes. As variáveis químicas controlam as concentrações de metais em águas superficiais, contudo, o processo de diluição deve ser considerado, pois afeta as variáveis pH, alcalinidade, cátions maiores e a concentração dos metais dissolvidos. Concentrações dos elementos metálicos nas águas de superfície, podem ser alteradas devido variações temporais e espaciais, e de *inputs* de metais. Como conseqüência, determinados metais podem formar complexos com as partículas coloidais, as quais permanecem dispersas nos cursos d'água por muito tempo, sendo transportadas a longas distâncias (Moore et al., 1989).

O comportamento de adsorção dos metais é associado ao pH, podendo este provocar alterações significativas na concentração dos metais dissolvidos em águas. A adsorção dos metais sobre as fases sólidas da coluna d'água, pode aumentar de zero a 100% para um acréscimo de pH de uma ou duas unidades. De acordo com Salomons (1993), este comportamento é um exemplo de resposta não linear dos

elementos-traço em relação às mudanças ambientais. O aumento do pH pode causar, ainda, adsorção dos metais dissolvidos sobre as fases sólidas da coluna d'água.

Uma vez associados às partículas, os metais têm distribuição condicionada à dinâmica deste material, ocorrendo na maioria das vezes, por se acumular nos sedimentos em ambientes deposicionais. Os elementos metálicos concentram-se em sedimentos de sistema aquático natural, e sua acumulação nas diferentes fases geoquímicas é atribuída, normalmente, aos processos de adsorção, co-precipitação e complexação.

Há vários estudos que retratam a concentração de metais em sedimentos fluviais, objetivando reportar a influência antropogênica proveniente das atividades de mineração, entre outras. A extensão da poluição dos sedimentos por metais pode ser estabelecida, subtraindo os valores das concentrações medidas, dos níveis naturais ou de base. O sedimento que apresenta concentrações de metais acima do valor natural, supõe a presença de contribuição antropogênica. Contudo, um dos principais problemas é avaliar a concentração natural de um determinado elemento em sedimentos.

Diferentes métodos têm sido propostos para definir o valor de *background* para os elementos traço (Förstner, 1982), entre os quais destacam-se a composição do folhelho médio; sedimentos fósseis; depósitos recentes em áreas parcialmente não poluídas; sedimento de fundo. Entretanto, este último tem sido mencionado como o mais representativo da composição natural (Prohic e Juracic, 1989). Sedimentos de profundidade sem influência antropogênica e de superfície expostos a poluição, podem ser avaliados simultaneamente. Porém, se houver alterações significativas do tamanho do grão ou da composição mineral, com a profundidade, torna-se necessário uma correção do tamanho de grão.

Em ambientes onde a granulometria de sedimentos varia consideravelmente, tem sido sugerido por vários autores uma correção do efeito de tamanho de grão - normalização (Groot et al., 1982; Förstner e Schoer, 1984). Análise padrão nas

frações de sedimentos menores que 63 μm é recomendado por Förstner e Salomons (1980) para ajuste do efeito de tamanho de grão pelos seguintes motivos:

- i. os poluentes têm sido encontrados principalmente nas partículas argila e silte;
- ii. a fração < 63 μm é aproximadamente equivalente ao material transportado em solução (principal forma de transporte nos sistemas aquáticos);
- iii. o processo de peneiramento para obtenção da fração pelítica, não varia a concentração dos poluentes, especialmente se o peneiramento for realizado à úmido e com a água do local de coleta;
- iv. existência de vários estudos de poluição, mais especificamente com metais pesados, realizados na fração granulométrica inferior a 63 μm , o que conduz a uma melhor comparação entre os resultados obtidos e de outros trabalhos.

A forte correlação entre decréscimo do tamanho do grão e aumento da concentração do metal é bem documentada, evidenciando a adsorção como principal mecanismo de enriquecimento de metais na superfície das partículas. Embora, não haja um consenso sobre o constituinte de sedimento apropriado para ser usado na normalização de elementos traços, o Al tem sido considerado efetivo normalizador geoquímico, devido as seguintes razões: alta concentração natural; contaminação antropogênica mínima; elemento constituinte conservativo, ou seja, seu comportamento se mantém estável ao longo de um sistema, sem entradas artificiais; elemento estrutural de minerais argilosilicatos, com o qual a maior parte dos metais está associada.

A fração argila e silte compreende os maiores carreadores (suportes) para os compostos naturais e antropogênicos e, são distribuídas em uma extensa área de sedimentação, além de serem menos afetadas pelos efeitos do tamanho do grão. Diversas pesquisas (Moore et al., 1989; Salomons, 1995) sobre transporte e acumulação de metais em sedimentos fluviais têm revelado concentrações

significativas de metais nas frações mais finas, em função da maior área específica e pela natureza dos finos das partículas (matéria orgânica). Os metais dissolvidos em solução são preferencialmente adsorvidos nas superfícies das partículas mediante o mecanismo de sorção, complexação e revestimento. As argilas minerais por apresentarem grande área específica, captam óxidos/hidróxidos e a matéria orgânica, que podem reter metais pesados. Além disso, as argilas tem carga de superfície negativa e capacidade de troca catiônica, que facilmente atraem metais e substratos carreadores de metais.

Em determinadas regiões do estado do Rio Grande do Sul, é observado a existência de quantidades significativas de rejeitos e cinzas de carvão depositados de forma inadequada, que tem provocado um comprometimento dos recursos hídricos nas regiões de Candiota (Machado et al., 1984; Fiedler e Solari, 1988) e no Baixo Jacuí (Teixeira e Sanchez, 1998), com altos teores de sólidos suspensos, pH ácido e metais dissolvidos provenientes dos efluentes de drenagem de mina e do beneficiamento.

Na região do Baixo Jacuí, mais especificamente na bacia hidrográfica do Arroio do Conde, onde situam-se os municípios de São Jerônimo, Butiá e Minas do Leão, os depósitos de rejeitos e cinzas de carvão dispostos de forma inadequada, e os efluentes das bacias de decantação do beneficiamento do carvão, têm promovido a alteração nas características naturais das águas e sedimentos fluviais, mediante a descarga de considerável carga de contaminantes contendo metais pesados, entre outras substâncias, prejudiciais ao meio ambiente (Teixeira e Sanchez, 1998; Vecchio et al., 1996).

Visando avaliar a magnitude dos impactos advindos das atividades de mineração do carvão na bacia hidrográfica do Arroio do Conde, o presente trabalho apresenta os resultados provenientes da caracterização das águas superficiais e dos sedimentos de corrente dos principais arroios contribuintes dessa bacia (Taquara, Capão da Roça, Martins), e do próprio Arroio do Conde.

A caracterização das águas superficiais foi obtida pela determinação de parâmetros químicos, físicos e físico-químicos, e dos sedimentos de corrente mediante parâmetros químicos. A coleta das amostras de águas foi realizada no período de setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho de 1998, e os sedimentos foram coletados nos meses de janeiro, outubro e dezembro/97. Os critérios e procedimentos de amostragem e análises seguiram métodos propostos pela ABNT (1987), ASTM (1996) e APHA (1992). Técnica de extração total foi aplicada às amostras de sedimentos.

A execução do presente trabalho complementa as informações obtidas no estudo realizado por Teixeira e Sanchez (1998), mediante a inclusão de uma nova estação de amostragem no município de Butiá, localizada próxima a depósitos de rejeitos e cinzas de carvão, e de alguns parâmetros que irão auxiliar na interpretação das alterações ocorridas nas águas superficiais e nos sedimentos de corrente advindas das atividades de mineração de carvão.

1.1. Meta e Objetivos

A meta desse trabalho é avaliar os níveis de contaminação proveniente das atividades da mineração de carvão, nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Arroio do Conde, região do Baixo Jacuí, RS, baseado-se na dinâmica das transferências de suas concentrações entre segmentos hídricos e compartimentos ambientais (água-sedimento).

Visando atingir esta meta, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- caracterizar e avaliar as águas superficiais a partir da determinação de parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- quantificar os fluxos de transferências de metais provenientes dos principais arroios contribuintes da bacia do Arroio do Conde;
- obter um Índice de Poluição para as águas superficiais, referente a cada ponto de amostragem, por meio da técnica de Análise Fatorial;
- caracterizar os sedimentos de corrente, identificando os teores de Carbono total, Enxofre total e metais;

- avaliar o enriquecimento e acumulação dos metais nos sedimentos da área de estudo;
- avaliar as diferenças entre os sedimentos de corrente estudados, mediante a aplicação do método das Funções Discriminantes Canônicas;
- avaliar se as áreas estudadas foram efetivamente impactadas pelas atividades de mineração de carvão. Em caso afirmativo, avaliar qual a sua extensão.

2. ÁREA DE ESTUDO

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização Geográfica e Fisiografia

A bacia hidrográfica do Arroio do Conde (Figura 1) está localizada na região centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, a 80 km de Porto Alegre, capital do Estado, entre os limites geográficos definidos pelas latitudes 29° 57' e 30° 12' Sul e pelas longitudes 51° 46' e 52° 05' Oeste. Ao Norte tem como limite a bacia do Rio Taquarí/Antas, a Noroeste a bacia da Sanga Negra, ao Sul a bacia do Arroio dos Ratos, a Leste a bacia do Arroio da Porteira e a Oeste a bacia do Arroio Francisquinho (Andreazza, 1997). O principal acesso à área é pela via rodoviária BR-290. Essa bacia faz parte da microrregião carbonífera, onde ao longo de seu trecho estão localizados os municípios de São Jerônimo, Butiá e Minas do Leão, à margem direita do Rio Jacuí.

A bacia do Arroio do Conde, afluente da margem direita do Rio Jacuí, apresenta uma área de drenagem de 363,8 km² e está localizada quase integralmente na região da Depressão Central. O seu curso d'água principal tem 53 km de extensão, com declividade média de 3,6 m/km, escoando de uma cota de 200 m para 7 m (Andreazza, 1997). As nascentes do Arroio do Conde são próximas ao Cerro do Roque, desenvolvendo-se por aproximadamente 53 km até sua foz no curso inferior do Rio Jacuí. Os afluentes mais importantes desta bacia são os Arroios Martins, na margem direita, que recebe efluentes das minas de carvão da cidade de Butiá, e Capão da Roça, na margem esquerda, o qual é receptor dos efluentes do beneficiamento de carvão da CRM situada no município de Minas do Leão.

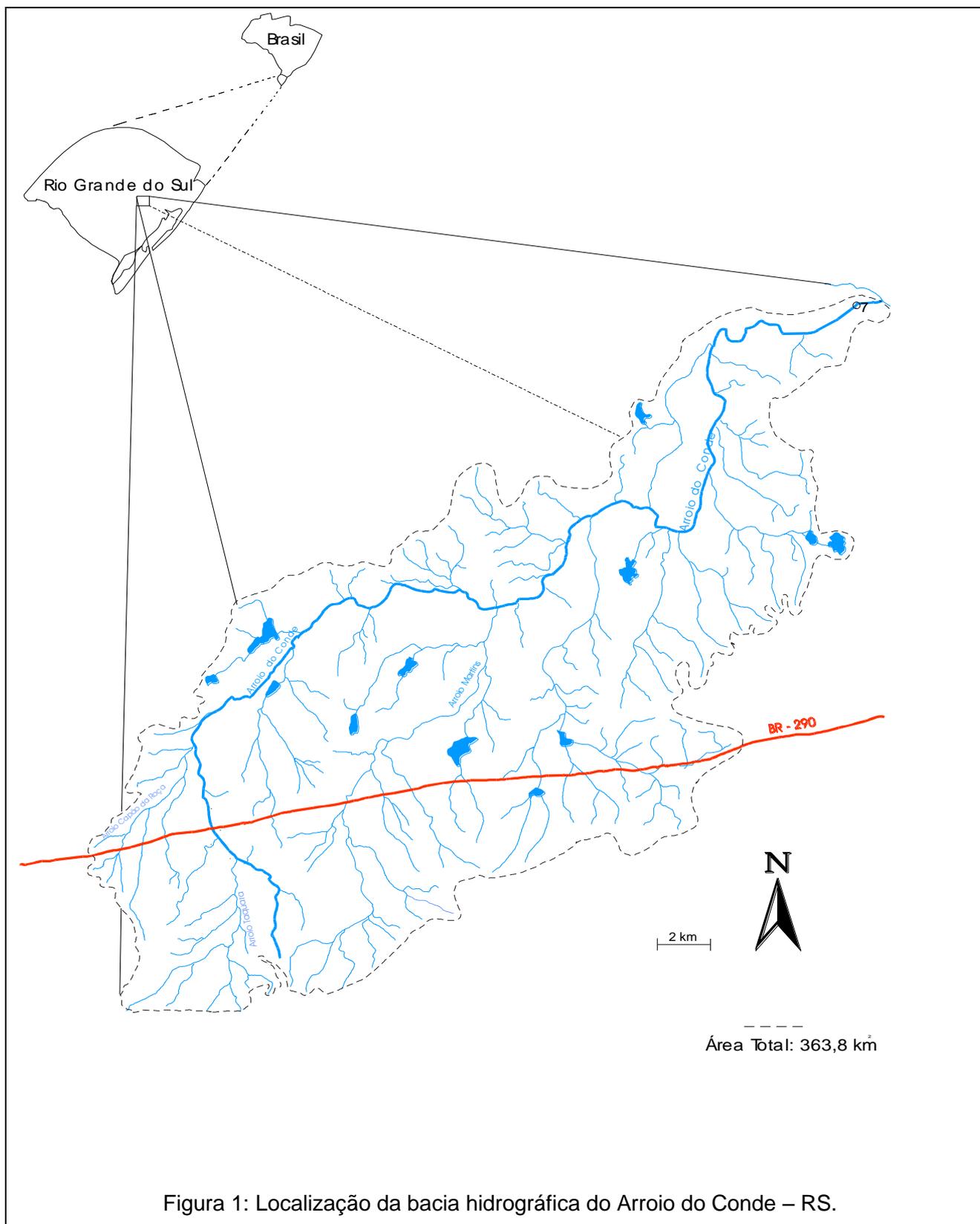


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Arroio do Conde – RS.

2.2. Geologia

Na bacia hidrográfica do Arroio do Conde as unidades litoestratigráficas pertencem ao Embasamento Pré-Cambriano Indiferenciado, à Bacia do Paraná e à Sedimentação Quaternária/Recente (CPRM, 1986).

As unidades estratigráficas que ocorrem na bacia em estudo são as do Grupo Itararé (Formação Rio do Sul), Grupo Guatá (Formação Rio Bonito e Palermo), Grupo Passa Dois (Formação Iratí, Estrada Nova e Rio do Rasto) e Grupo São Bento (Formação Rosário do Sul, Botucatu e Serra Geral).

Com base no estudo realizado por Teixeira e Sanchez (1998), a seguir encontra-se a descrição resumida de cada uma das Formações dos Grupos citados.

♦ **Grupo Itararé: Formação Rio do Sul**

Esta formação é caracterizada pelos sedimentos essencialmente argilosos que ocorrem na parte superior do Grupo Itararé (Schneider, 1974). A parte basal é constituída de folhelhos e argilitos, com aspecto várvido e a porção superior de argilitos, folhelhos várvidos, ritmitos, arenitos finos e diamictitos.

• **Grupo Guatá: Formação Rio Bonito e Palermo**

A - A *Formação Rio Bonito* apresenta três conjuntos litológicos distintos:

1º) O primeiro conjunto litológico é formado predominantemente por arenitos médios e grossos e seixos de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas. Secundariamente, ocorrem arenitos muito finos, finos e médios. Siltitos carbonosos com leitos e camadas de carvão são de ocorrência subordinada, bem como conglomerados com matriz arenosa e seixos de diversas litologias.

2º) O segundo conjunto é predominantemente pelítico, constituído por siltitos carbonosos, por vezes argilosos, maciços, com raras interlaminações de arenitos e intercalações de leitos e camadas de carvão. Na região de Minas do Leão ocorrem intercalações de camadas de paraconglomerados de arenitos finos a grossos, quartzosos ou feldspáticos.

3º) O terceiro conjunto litológico é constituído essencialmente por arenitos quartzosos a ortoquartzíticos, finos a médios, localmente grossos com grânulos e seixos dispersos. Secundariamente, ocorrem leitos e camadas de siltitos carbonosos, leitos e camadas de carvão.

B - A *Formação Palermo* é constituída predominantemente por uma interlaminação de silte e areia fina a muito fina, com laminação ondulada formando um conjunto com intercalações de leitos e lentes de arenito fino a médio, ortoquartzítico. Nesse conjunto são encontradas, ainda, pequenas lentes de conglomerados de grânulos com abundante cimento carbonático.

O contato com sedimentos continentais da Formação Rio Bonito é abrupto, freqüentemente desenvolvendo feições erosivas sobre camadas de carvão e siltitos carbonosos, com presença de leitos de arenito médio a grosso.

• **Grupo Passa Dois: Formação Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto**

A - A *Formação Irati*, em função da freqüência dos leitos carbonáticos, divide-se em dois Membros:

- 1) Membro Taquaral: seqüência de folhelhos e siltitos situados na base;
- 2) Membro Assistência: presença de folhelhos e siltitos com freqüentes leitos de calcários argilosos, por vezes dolomíticos.

B - A *Formação Estrada Nova* é constituída por folhelhos e siltitos, na porção superior. Aparecem raros leitos de calcários impuros, siltitos carbonáticos e arenitos muito finos. Na porção inferior ocorrem siltitos com intercalações de folhelhos, raros leitos de calcário e arenitos muito finos.

C - A *Formação Rio do Rasto* é composta por uma seqüência de rochas sedimentares. Sua porção basal é pelítica com intercalações de leitos, lentes e camadas de arenitos finos e, a porção superior é arenosa, com intercalações de leitos e camadas de pelitos.

• **Grupo São Bento: Formação Rosário do Sul, Botucatu e Serra Geral**

A - A *Formação Rosário do Sul* é composta na sua porção basal por arenitos finos a muito finos, quartzosos, com proporções variadas de feldspatos. A porção mediana apresenta arenitos médios a grosseiros e, o topo é constituído por siltitos fossilíferos. Localmente são encontradas pequenas lentes de arenitos. A porção superior é composta por arenitos finos a conglomeráticos; siltitos e argilitos ocorrem subordinadamente.

B - A *Formação Botucatu*, é composta por arenitos finos e médios, quartzosos. Arenitos ocorrem na porção basal.

C - A *Formação Serra Geral*, constitui-se, predominantemente, em uma seqüência básica, e uma seqüência ácida, mais abundante no topo. Ocorrem na região de estudo predominantemente diques e sills de rochas básicas.

2.3. Geomorfologia

Os domínios morfoestruturais característicos na bacia do Arroio do Conde são os seguintes: Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares e Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos (IBGE, 1986).

O Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares abrange, entre outras, a região geomorfológica Depressão Central Gaúcha. Na área em estudo, esta região geomorfológica é observada na porção norte, onde identifica-se a unidade geomorfológica Depressão Rio Jacuí. Essa unidade, caracteriza-se por apresentar um relevo sem grandes variações altimétricas, predominando as formas conhecidas como coxilhas. Paralelamente, ocorrem vastas superfícies planas, rampeadas, recobertas por colúvios, com dissecação incipiente.

O Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos ocorre na parte sul, da área estudada, onde identifica-se a Região Geomorfológica Planalto Sul-rio-grandense. Pertencente a essa região observa-se a unidade geomorfológica Planalto Rebaixado Marginal. Essa unidade se caracteriza por apresentar uma superfície dissecada, com posição altimétrica entre 100 e 200 metros.

O relevo encontra-se bastante dissecado nas rochas do Escudo Sul-rio-grandense, configurando colinas, interflúvios tabulares e secundariamente, cristais. Os rios freqüentemente se adaptam a linha fratura, contato estratigráfico ou zona de cisalhamento, originando vales ou sulcos estruturais.

2.4. Clima

De acordo com Ferraro e Hasenack (1995) a bacia hidrográfica do Arroio do Conde está inserida no tipo climático *Cfa* (subtropical úmido), que corresponde a áreas com cotas geralmente inferiores a 500 m. Esse tipo climático caracteriza-se, por apresentar temperaturas médias entre -3 °C e 18 °C para o mês mais frio e superiores a 22 °C para o mês mais quente, e precipitação bem distribuída durante o ano e totais superiores a 1200 mm.

2.5. Solos

Conforme Schneider et al. (1996) os solos do tipo podzólicos vermelho-escuros e bruno-acinzentados, são predominantes na bacia do Arroio do Conde. Esses, podem ocorrer em unidades simples e em associações. Em menores proporções são encontrados plintossolos, solos litólicos, gleis pouco húmicos e solos aluviais.

2.6. Vegetação

A bacia do Arroio do Conde, conforme IBGE (1986), está localizada em áreas de região fitoecológica da Savana, subformação Savana Gramíneo-Lenhosa com floresta-de-galeria. A área ocupada pela Savana encontra-se, quase que na sua totalidade, substituída pela expansão da agricultura de culturas cíclicas e pelos reflorestamentos de acácia, eucalipto e pinus. As matas-galeria encontram-se relativamente preservadas, ao longo da maior parte dos cursos d'água da bacia do Arroio em estudo.

2.7. Características do Carvão Existente na Bacia do Arroio do Conde

A produção de carvão no estado do Rio Grande do Sul, atualmente, é de 3.000.000 t/ano, o que equivale a 60% da produção nacional. As principais aplicações do carvão nesse estado têm sido para a geração de energia elétrica e nas indústrias cimenteiras, soja, petroquímica e de celulose. Na bacia do Arroio do Conde, a COPELMI e a CRM são as empresas responsáveis pela exploração de carvão nas minas do Recreio e Butiá-Leste (ambas a céu aberto), e Leão I (subterrânea), respectivamente.

Conforme descrito por Teixeira e Sanchez (1998), os carvões das minas em atividade na bacia do Arroio do Conde são do tipo betuminoso alto volátil C, cujas características do ROM (*run of mine*) e do produto obtido após o beneficiamento (CE 4.700) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Poder calorífico e teor de cinzas e enxofre referentes aos carvões das minas localizadas na bacia do Arroio do Conde.

Minas	ROM			CE 4.700		
	Teor de Cinzas (%)	Teor de Enxofre (%)	Poder Calorífico (kcal/kg)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Enxofre (%)	Poder Calorífico (kcal/kg)
Butiá-Leste	51,1	2,3	3.550	34,6	0,8	4.752
Recreio	58,4	1,9	2.670	34,5	0,8	4.752
Leão I	58,3	0,9	2.810	34,1	0,65	4.750

2.8. Caracterização dos Depósitos de Rejeitos e Cinzas de Carvão Localizados nos Municípios de Butiá e Minas do Leão

A caracterização, o mapeamento e as análises físico-químicas dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão apresentados a seguir, são dados que fazem parte do estudo realizado na região do Baixo Jacuí (Teixeira e Sanchez, 1998).

No município de Butiá foram caracterizados cinco depósitos de rejeitos de carvão (B 01, B 02, B 04, B 05 e B 06) e um composto por cinzas (B 03) localizados na área de influência do Arroio Martins. Todos os depósitos de rejeitos encontram-se dispostos em pilhas, de forma desordenada, com espessura média entre 2 e 5 metros. A granulometria das partículas varia de fina a grossa, sendo que as mais finas encontram-se concentradas na superfície das pilhas. Esse fato pode estar associado a ação do intemperismo físico sobre as partículas originalmente mais grossas, provocando a redução do seu tamanho.

Com relação ao município de Minas do Leão, um grande depósito constituído por rejeitos (ML), predominantemente de beneficiamento e em menor quantidade de estéril da exploração de carvão da Mina do Leão I, encontra-se localizado na área de influência do Arroio do Conde, na Vila do Recreio. Dispostos de forma desordenada, as pilhas de rejeitos apresentam espessuras que chegam a atingir até 10 metros. Algumas pilhas constituem uma configuração onde o material mais grosseiro encontra-se na parte basal, gradando para o material mais fino no topo. Em certos locais, encontra-se material estéril oriundo da lavra de rochas de cobertura, tal como arenitos e siltitos, disposto em blocos atingindo até 30cm de diâmetro.

O Quadro 1 apresenta, de forma sucinta, a constituição, a época de deposição, a área aproximada e a procedência dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão mapeados nos municípios de Butiá e Minas do Leão. Nesse Quadro consta também os códigos referentes às amostras coletadas em alguns dos depósitos mapeados. A localização e a área correspondente a estes depósitos, podem ser visualizadas na Figura 2, Capítulo 3.

Quadro 1: Características dos depósitos mapeados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.

Depósito	Amostras	Constituição	Época (ano)	Área aprox. (m ²)	Procedência
Butiá					
B 01	-	Rejeito de cata manual	década 30 a 50	33.446,00	COPELMI
B 02	B 02A	Rejeito de cata manual	década 30 a 50	480.640,00	COPELMI
	B 02B	Rejeitos			
B 03	B 03	Cinzas	década 30 a 50	30.889,00	COPELMI
		Cinzas			
B 04	B 04	Rejeito de cata manual	década 30 a 50	171.674,00	COPELMI
		Rejeitos			
B 05	B05	Rejeito de cata manual	década 30 a 50	98.666,00	COPELMI
		Rejeitos			
B 06	-	Rejeito de cata manual	década 30 a 50	133.747,00	COPELMI
Minas do Leão					
ML	ML 01A	Rejeitos de carvão + estéril	-	750.892,00	COPELMI
		Rejeitos – fino			
	ML 01B	Rejeitos – grosso			
	ML 02A	Rejeitos – fino			
	ML 02B	Rejeitos – grosso			

2.8.1. Análises Físico-Químicas de Alguns Depósitos de Rejeitos e Cinzas de Carvão Mapeados na Bacia do Arroio do Conde

As Tabelas 2 a 5 apresentam as principais características das amostras coletadas em alguns depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados no município de Butiá, bem como do depósito de rejeitos de carvão existente em Minas do Leão.

Tabela 2: Teores de cinzas, S_{total} , C_{total} e pH referentes às amostras dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.

Amostras	Cinzas _{bs} (%)	S_{total} (%)	C_{total} (%)	pH
B 02A	70,0	1,0	17,1	3,7
B 02B	69,5	1,2	17,4	4,1
B 03	81,9	0,8	11,6	4,5
B 04	75,5	0,3	12,3	4,3
B 05	78,1	0,4	10,1	4,2
ML 01A	64,7	0,8	21,4	3,7
ML 01B	71,9	1,0	15,2	3,1
ML 02A	50,1	0,7	36,5	7,1
ML 02B	73,1	0,9	16,1	6,8

Tabela 3: Concentração total dos metais presentes nas amostras coletadas nos depósitos e rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.

Amostras	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Co ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Fe ($\mu\text{g/g}$)	Ni ($\mu\text{g/g}$)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
B 02A	0,29	8,83	24,91	17,50	19760	8,82	17,81	27,69	51,30
B 02B	0,87	9,63	26,04	18,69	27842	11,02	20,12	36,82	55,20
B 03	0,42	22,20	58,50	35,20	12034	34,00	44,90	13,92	59,70
B 04	0,31	9,63	22,60	17,70	8476	6,94	10,70	29,50	21,10
B 05	0,24	11,40	42,80	25,10	7391	9,73	9,11	17,90	21,30
ML 01A	0,50	8,67	41,53	18,15	11696	8,56	20,24	35,66	33,60
ML 01B	0,22	8,41	44,23	10,99	8673	5,13	15,69	83,21	12,80
ML 02A	0,29	9,62	49,17	21,60	6178	12,10	46,72	33,23	74,80
ML 02B	0,50	11,64	54,59	22,53	9552	10,28	43,90	34,73	38,40

Tabela 4: Percentual dos metais lixiviados nas amostras coletadas nos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.

Amostras	Cd (%)	Co (%)	Cr (%)	Cu (%)	Fe (%)	Ni (%)	Mn (%)	Pb (%)	Zn (%)
B 02A	1,7	3,7	0,02	0,2	0,1	7,1	39,4	0,3	2,3
B 02B	0,9	1,0	0,1	0	0,03	1,6	3,8	14,0	1,1
B 03	4,0	2,2	0,03	0,1	0,04	1,0	66,1	0,9	6,5
B 04	2,0	0,1	0,1	0	0,02	0,3	1,5	0,02	3,8
B 05	5,0	0,3	0,1	0	0,04	0,8	1,7	0,3	1,5
ML 01A	1,4	2,8	0,03	0,1	0,1	5,4	23,6	0,2	8,5
ML 01B	17,8	1,2	0,1	0,6	1,6	5,4	36,4	1,9	10,7
ML 02A	0	1,5	0,01	0	0,01	1,0	13,1	0,2	0,4
ML 02B	0	2,6	0,01	0,03	0,04	2,7	11,1	0,1	0,7

Tabela 5: Percentual dos metais solubilizados nas amostras coletadas nos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão.

Amostras	Cd (%)	Co (%)	Cr (%)	Cu (%)	Fe (%)	Ni (%)	Mn (%)	Pb (%)	Zn (%)
B 02A	1,0	3,4	0,04	0,2	0,03	6,4	39,1	0,9	1,7
B 02B	0	0,7	0	0,02	0,004	0,9	2,9	0,3	0,4
B 03	0,7	1,8	0,01	0,03	0,002	0,9	58,8	1,0	5,2
B 04	0	0,04	0,01	0,9	0,003	0,3	1,3	0,2	1,2
B 05	0	0,2	0	0,2	0,02	1,1	1,6	0	0,9
ML 01A	2,2	2,9	0,04	0,2	0,02	6,8	21,3	0,5	7,4
ML 01B	2,3	1,2	0,1	0,7	0,4	4,8	31,3	0,6	9,3
ML 02A	0	0	0	0,02	0	0,1	0,8	0,1	0,01
ML 02B	0	0,01	0	0,02	0	0	1,2	0,2	0,1

O percentual dos elementos metálicos lixiviados e solubilizados, conforme apresentado nas Tabelas 4 e 5 respectivamente, indica a mobilidade geoquímica desses elementos em relação à concentração total existente nas amostras de rejeitos e cinzas de carvão (Tabela 3).

A comparação entre os três métodos (extração total, lixiviação e solubilização), revela que o elemento presente em maior concentração nem sempre apresenta maior mobilidade. No caso das amostras de rejeitos e cinzas de carvão da área de estudo, o Fe total embora tenha apresentado concentração mais elevada para todas as amostras, a mobilidade conferida por meio dos testes de lixiviação e solubilização foi, praticamente, a menor.

A Tabela 6 apresenta a ordem crescente de mobilidade dos metais, obtida pelos métodos de lixiviação e solubilização, em relação às concentrações totais dos metais, determinadas pelo método da extração total.

Tabela 6: Ordem crescente de mobilidade dos metais em relação às concentrações totais dos metais determinados nas amostras dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão localizados nos municípios de Butiá e Minas do Leão (Teixeira e Sanchez, 1998).

Amostras	Lixiviação	Solubilização	Extração Total
B 02A	Cr<Fe<Cu<Pb<Cd=Zn<Co<Ni<Mn	Fe<Cr<Cu<Pb=Cd<Zn<Co<Ni<Mn	Cd<Co=Ni<Cu=Mn<Cr<Pb<Zn<Fe
B 02B	Cr<Fe<Cu<Cd=Co=Zn<Ni<Mn<Pb	Cd<Cr<Fe<Cu<Pb=Zn<Co<Ni<Mn	Cd<Co=Ni<Cu=Mn<Cr<Pb<Zn<Fe
B 03	Cr<Fe<Cu<Pb<Ni<Co<Cd<Zn<Mn	Fe<Cr<Cu<Cd<Ni<Pb<Co<Zn<Mn	Cd<Pb<Co<Cu=Ni<Mn<Cr=Zn<Fe
B 04	Cu<Fe<Pb<Cu<Co<Ni<Mn<Cd<Zn	Cd<Fe<Cr<Co<Pb<Ni<Cu<Zn<Mn	Cd<Ni<Co=Mn<Cu=Zn<Cr<Pb<Fe
B 05	Cu<Fe<Cr<Co<Pb<Ni<Zn<Mn<Cd	Cd<Cr=Pb<Fe<Co<Cu<Zn<Ni<Mn	Cd<Mn<Ni<Co<Pb<Zn<Cu<Cr<Fe
ML 01A	Cr<Cu<Fe<Pb<Cd<Co<Ni<Zn<Mn	Fe<Cr<Cu<Pb<Cd<Co<Ni<Zn<Mn	Cd<Co=Ni<Cu<Mn<Pb<Zn<Cr<Fe
ML 01B	Cr<Cu<Co<Fe<Pb<Ni<Zn<Cd<Mn	Cr<Fe<Pb<Cu<Co<Cd<Ni<Zn<Mn	Cd<Ni<Co<Cu<Zn<Mn<Cr<Pb<Fe
ML 02A	Cd=Cu<Fe=Cr<Pb<Zn<Ni<Co<Mn	Cd=Co=Cr=Fe<Zn<Cu<Pb<Ni<Mn	Cd<Co<Ni<Cu<Pb<Mn=Cr<Zn<Fe
ML 02B	Cd<Cr<Cu=Fe<Pb<Zn<Co=Ni<Mn	Cd=Ni=Cr=Fe<Co<Cu<Zn<Pb<Mn	Cd<Ni<Co<Cu<Zn<Pb<Mn<Cr<Fe

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterizar as águas superficiais e os sedimentos de corrente foram selecionados seis pontos de amostragem na bacia do Arroio do Conde. Os critérios e procedimentos de amostragem e análises dos parâmetros determinados nas amostras de águas seguiram métodos propostos pela ABNT (1987), ASTM (1996) e APHA (1992). A extração dos metais totais nos sedimentos foi realizada por digestão ácida (sistema aberto) e por digestão microondas (sistema fechado). A determinação dos metais foi feita com ICP-AES, conforme metodologia utilizada e empregada por Teixeira e Sanchez (1998).

A quantificação dos fluxos de transferências médios e médios específicos de metais totais em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, foi determinada mediante a utilização dos cálculos empregados por Travassos (1994), Laybauer (1995), Hatje (1996) e Andreatza (1997). O nível de contaminação antrópica nos sedimentos de corrente foi obtido com a utilização dos métodos denominados de Fator de Enriquecimento e Índice de Geoacumulação.

Tratamento estatístico foi aplicado aos dados de águas superficiais (técnica de Análise Fatorial - Kim, 1975) e de sedimentos de corrente (método das Funções Discriminantes Canônicas - Hair, 1998) como ferramenta para obter um Índice de Poluição para os cursos d'água e avaliar as diferenças entre os sedimentos fluviais estudados.

3.1. Localização das Estações de Amostragem

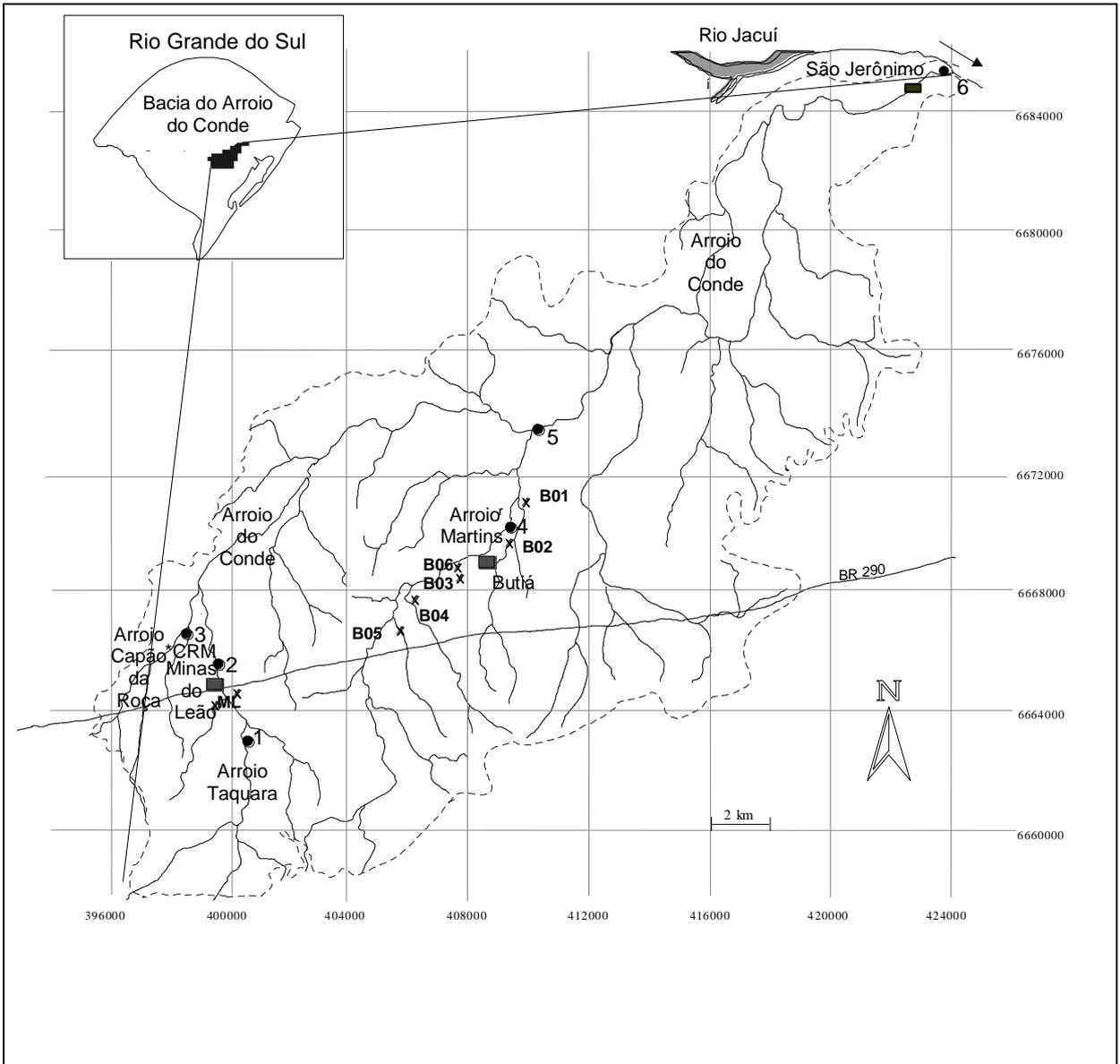
Os Arroios Taquara (também chamado de Arroio do Conde no seu trecho de montante), Capão da Roça, Martins e Conde, integrantes da bacia hidrográfica em estudo, foram selecionados para a localização dos pontos de amostragem de água superficial e de sedimentos de corrente, em função dos seguintes critérios: i. obter um ponto a montante das possíveis influências advindas das atividades de mineração do carvão (considerado como ponto branco ou *background*); ii. obter

pontos de amostragem a jusante dos depósitos de rejeitos e ou cinzas de carvão, dispostos de forma inadequada, e do lavador de carvão da CRM; iii. evitar locais adjacentes à saídas de esgotos; iv. selecionar locais de fácil acesso para a coleta de amostras de água superficial e sedimento de corrente.

A localização dos pontos de amostragem de água e sedimento e das principais fontes de emissão de poluentes provenientes das atividades de mineração podem ser visualizadas na Figura 2. Os códigos adotados como referência dos pontos localizados nos Arroios Taquara, Capão da Roça, Martins e Conde são os seguintes:

- ❑ Ponto 1 = 1 (Arroio Taquara)
- ❑ Ponto 2 = 2 (Arroio do Conde)
- ❑ Ponto 3 = 3 (Arroio Capão da Roça)
- ❑ Ponto 4 = 4 (Arroio Martins)
- ❑ Ponto 5 = 5 (Arroio do Conde: após a confluência com o Arroio Martins)
- ❑ Ponto 6 = 6 (Arroio do Conde, afluente do Rio Jacuí)

A Figura 3 (a, b, c, d, e, f) apresenta a descrição da localização dos seis pontos avaliados na bacia do Arroio do Conde.



Legenda:	Área dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão:	Área de influência da drenagem em cada ponto:
*CRM : Companhia Riograndense de Mineração (a)		
● : Pontos de amostragem de água e sedimentos		
X : Depósitos de rejeitos e cinzas de carvão (b)		
■ : Cidades	ML: 34,4 km ²	Ponto 1: 18,6 km ²
- - - : Limite da Bacia Hidrográfica do Arroio do Conde	B01: 12,2 km ²	Ponto 2: 35,0 km ²
~ : BR 290	B02: 8,9 km ²	Ponto 3: 9,7 km ²
(a) e (b) Fontes de emissão de poluentes provenientes das atividades de mineração	B03 e B06: 45,7 km ²	Ponto 4: 49,8 km ²
	B04: 6,7 km ²	Ponto 5: 190,0 km ²
		Ponto 6: 361,8 km ²
		Área total da Bacia:
		363,8 km ²

Figura 2: Localização dos pontos de amostragem e das principais fontes de emissão de poluentes das atividades de mineração na bacia do Arroio do Conde – RS.



Figura 3a: P1 (30° 09' 38" S e 52° 01' 49" W) - Arroio Taquara (ponto considerado como *background*) a montante do ponto de captação da CORSAN e de depósitos de rejeitos de carvão no município de Minas do Leão.



Figura 3b: P2 (30° 07' 35" S e 52° 02' 31" W) - Arroio do Conde, próximo ao ponto de captação do lavador da CRM e de vários depósitos de rejeitos de carvão no município de Minas do Leão.



Figura 3c: P3 (30° 07' 37" S e 52° 03' 07" W) - Arroio Capão da Roça, a jusante da saída do efluente das bacias de decantação da CRM no município de Minas do Leão.



Figura 3d: P4 (30° 05' 56" S e 51° 56' 32" W) - Arroio Martins, a jusante da COPELMI e de depósitos de rejeitos e cinzas de carvão no município de Butiá.



Figura 3e: P5 ($30^{\circ} 03' 93''$ S e $51^{\circ} 55' 81''$ W) - Arroio do Conde, após a confluência com o Arroio Martins no município de Butiá.



Figura 3f: P6 ($29^{\circ} 57' 81''$ S e $51^{\circ} 47' 86''$ W) - Arroio do Conde, afluente do Rio Jacuí no município de São Jerônimo.

3.2. Dados Utilizados

Tendo em vista que a maioria dos pontos caracterizados na bacia hidrográfica em estudo, assim como parte dos parâmetros analisados em águas superficiais e nos sedimentos de corrente terem sido os mesmos do estudo realizado por Teixeira e Sanchez (1998), os dados obtidos nesse estudo (secundários) foram utilizados, simultaneamente, com os obtidos no presente trabalho (primários) para a avaliação da contribuição antrópica proveniente do carvão.

3.2.1. Dados Primários

3.2.1.1. Água Superficial

As amostras de águas superficiais foram coletadas entre os meses de setembro à dezembro de 1997 e nos meses de fevereiro, abril e junho de 1998.

A metodologia empregada na determinação dos parâmetros físico-químicos foi segundo o ABNT (1987), ASTM (1996) e APHA (1992), conforme mostra o Quadro 2. As amostras coletadas para determinação dos metais foram preservadas com ácido nítrico à pH < 2, de acordo com os procedimentos da ABNT - NBR 9898 (1987) e do APHA (1992).

Para caracterizar os cursos d'água, foram selecionados os seguintes parâmetros: sólidos totais dissolvidos (STD); partículas em suspensão; turbidez; condutividade; vazão; oxigênio dissolvido (OD); íon ferroso; sulfato, demanda química de oxigênio (DQO); matéria orgânica, e metais (Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Cu).

Quadro 2: Métodos empregados na determinação dos parâmetros físicos - químicos.

Parâmetro	Norma	Método
Partículas em Suspensão	-	Acetato de celulose de 0,45 µm
Sólidos Dissolvidos Totais	NBR 10664	Potenciometria
Turbidez	Standard Methods 2530 . B	Nefelometria
Vazão	-	Micro-molinete
Íon ferroso	Standard Methods 3500 - FED	Colorimetria (método da o-enantrolina)
Metais Totais (Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Cu)	Standard Methods e ASTM D 1971/91 (método B - ataque)	Espectrometria de Absorção Atômica
pH	Standard Methods - NBR 9251	Potenciometria
Demanda Química de Oxigênio	Standard Methods 5220 B	Volumetria de oxi-redução (refluxo aberto)
Oxigênio Dissolvido	Standard Methods - 4500 - O C	Oximetria
Condutividade	Standard Methods - 2510 . B	Condutometria
Sulfato	Standard Methods 4500 - SO ₄ ²⁻ E	Turbidimetria
Matéria Orgânica	Environmet -Canadá / 74 CETESB L 5143	Permanganometria

Os parâmetros vazão, íon ferroso, pH, OD, condutividade, STD e turbidez foram determinados em campo, mediante a utilização de equipamentos portáteis. A determinação das partículas em suspensão, sulfato e matéria orgânica, bem como a digestão das amostras para a determinação dos metais totais foi executada em laboratório. A análise da DQO foi realizada somente nos pontos 2 e 3, tendo em vista análises preliminares comprovarem valores abaixo do limite de detecção para os demais pontos.

Para a análise de metais em águas, as amostras foram atacadas de acordo com a metodologia do APHA (1992), e a leitura dos metais totais foi através de um espectrômetro de absorção atômica, da marca VARIAN, modelo AA 1475.

A vazão foi medida apenas nos pontos 3 e 4, pois a capacidade de leitura do medidor utilizado era restrita para cursos d'água de pequeno volume. As vazões dos pontos 1, 2, 5 e 6, para o período de setembro à dezembro/97 e para os meses de fevereiro, abril e junho/98, foram estimadas a partir das vazões obtidas no ponto 4 por proporcionalidade entre as áreas de drenagem (Andreazza, 1997), conforme descrito a seguir:

$$Q_4 / A_4 = Q_i / A_i$$

Onde: Q_4 = vazão no ponto 4

A_4 = área de drenagem da sub-bacia do ponto 4

Q_i = vazão do ponto (i)

A_i = área de drenagem da sub-bacia (i)

(i = 1, 2, 5, 6)

3.2.1.2. Sedimentos de Corrente

As coletas de sedimento foram realizadas nos meses de janeiro, outubro e dezembro de 1997.

As amostras de sedimentos de corrente, em locais rasos e de seção transversal relativamente estreita (pontos 1, 2, 3, 4 e 5), foram obtidas mediante a utilização de um equipamento confeccionado em PVC de fundo perfurado. Para obter maior representatividade do sedimento, várias amostras foram coletadas na parte central dos Arroios, sendo posteriormente homogeneizadas em bandeja de PVC e acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados - local e data. As amostras foram preservadas e estocadas a temperatura de 4° C para posterior preparação e análise.

Em virtude das características hídricas do ponto 6, a seção transversal desse curso d'água foi dividida em quatro partes, onde o sedimento foi coletado com draga de Petersen, sendo posteriormente homogeneizado em bandeja de PVC (amostragem composta). A forma de acondicionamento e preservação das amostras de sedimentos, foi realizado conforme procedimento mencionado anteriormente.

A preparação das amostras, em laboratório, foi realizada por peneiramento a úmido com peneiras de teflon, para a separação das partículas menores que 63 μm , silto-argiloso (Förstner e Salomons, 1980), com posterior secagem da fração fina em câmara de luz UV, a aproximadamente 30°C. Após, as amostras foram desagregadas em gral de ágata.

• Métodos de Extração Total

A extração total dos metais Cd, Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Cu nos sedimentos foi realizada por digestão ácida, empregando o método convencional (sistema aberto) para digestão da matéria orgânica, seguida da técnica por digestão microondas (sistema fechado). A digestão em sistema aberto consistiu em atacar 0,25g de amostra, aproximadamente, com HNO₃ e HF até a completa eliminação da matéria orgânica. A digestão por microondas (marca MLS - 1200 MEGA - Milestone) foi realizada de acordo com as condições de operação recomendadas pelo setor de análises de metais da FEPAM, baseada na metodologia referida para solos no manual do fabricante (Milestone - Application Notes for Microwave Digestion - Milestone Application Lab - Jan 1995 - técnica nº 222). De forma a evitar projeção e possível perda da amostra, foi introduzido um período de 10 minutos de repouso entre as duas etapas de digestão.

• Determinações dos Metais Totais

A determinação dos metais (Cd, Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Cu) nas amostras de sedimento foi feita com ICP-AES, sequencial 38S, Jobin Yvon, conforme metodologia implementada e utilizada em trabalhos realizados por Teixeira e Sanchez (1998). Modificações foram introduzidas no processo, visando uma otimização da metodologia específica para determinação de metais em sedimentos por ICP-AES.

• Análise de Carbono_{total} e de Enxofre_{total}

A análise de Carbono_{total} (C_{total}) e de Enxofre_{total} (S_{total}), foi realizada somente nas amostras de sedimentos coletados no mês de outubro/97. Os teores de C_{total} foram determinados via instrumental Leco CHN 600 (ASTM-D-5373, 1996) e os teores de S_{total}, via Leco SC 132 (ASTM-D- 4239, 1996), ambos por combustão da amostra e detecção infra-vermelho.

Os dados referentes ao C_{total} foram reportados como carbônico orgânico, tendo em vista os resultados obtidos, a partir dos testes qualitativos, não terem evidenciado a presença de carbonatos.

3.2.2. Dados Secundários

3.2.2.1. Água Superficial

As informações de sólidos totais dissolvidos; turbidez; íon ferroso; metais totais (Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Cu); pH, oxigênio dissolvido; demanda química de oxigênio; condutividade; sulfato e matéria orgânica, referentes ao período de maio/94 à novembro/95, fazem parte do estudo realizado na região do Baixo Jacuí (Teixeira e Sanchez, 1998).

3.2.2.2. Sedimentos de Corrente

Os dados das concentrações dos metais totais (Cd, Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Cu), bem como os teores de Carbono $_{total}$ e Enxofre $_{total}$, que fazem parte do estudo acima mencionado, foram determinados durante 7 meses, entre 1992 à 1995 (Teixeira e Sanchez, 1998).

3.3. Relevância dos Parâmetros Determinados em Águas Superficiais

• Turbidez

A turbidez corresponde a alteração da penetração da luz nos mananciais, devido a presença de várias substâncias, tais como argila coloidal, silte em suspensão, material fino, entre outros. A turbidez além de alterar o aspecto estético da água, prejudica a produtividade do ecossistema aquático pela redução da penetração da luz.

Normalmente, a turbidez nas condições naturais dos corpos hídricos está entre 3 a 500 U.N.T, sendo que para fins de potabilidade o valor requerido não deve atingir 1 unidade.

- **Condutividade**

A condutividade é um parâmetro que expressa a capacidade da água para transmitir a corrente elétrica, tendo em vista a existência de substâncias dissolvidas ionizadas. O valor da condutividade tende a elevar a medida que aumenta a temperatura, porém, isto difere para cada tipo e concentração de íon. Os recursos hídricos naturais apresentam valores de condutividade que variam de 10 à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no entanto, esta faixa de valor pode aumentar para 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em sistemas poluídos, e até 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para águas oceânicas.

- **Sólidos Totais Dissolvidos**

A presença de sólidos totais dissolvidos em águas naturais, sugere as taxas de desgaste das rochas provocado pela ação de intemperismo. A salinidade também é considerada como sólidos totais dissolvidos, ou também, como a parte fixa dos sólidos dissolvidos.

Quantidades excessivas de sólidos dissolvidos nos corpos hídricos, podem afetar as características naturais da água. De acordo com o CONAMA Nº 20 de 18/06/86 o valor máximo permissível, de sólidos dissolvidos para águas de abastecimento é de 500 mg/L.

- **Partículas em Suspensão**

As partículas em suspensão, além de aumentarem a turbidez, prejudicam o aspecto estético da água bem como a produtividade do ecossistema, devido a diminuição da penetração da luz. Atuam, também, como carreadores dos metais à longas distâncias.

- **Vazão**

A avaliação do impacto ambiental no ecossistema aquático abrange o conhecimento do comportamento hidrológico. As condições críticas ambientais são condicionadas pela vazão do manancial, logo a concentração de um determinado parâmetro, está intimamente ligada a vazão. A noção da variabilidade hidrológica é fundamental para o conhecimento das condições ambientais desfavoráveis.

- **pH**

A importância na determinação do pH consiste no fato de que este parâmetro comanda a especiação química das águas. Embora muitos seres aquáticos sobrevivam em condições em que o valor do pH seja igual ou menor que 5, a solubilidade dos metais torna-se mais elevada nesses intervalos, podendo provocar a toxidez desses seres. Para manter as condições ideais do ecossistema aquático, o valor do pH deve estar entre 6 e 9.

- **Oxigênio Dissolvido (OD)**

A redução da concentração do OD frequentemente aponta a poluição orgânica da água, proveniente da decomposição da matéria orgânica biodegradável mediante atividade bioquímica e ou poluição química, pela oxidação de certos compostos.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A DQO mede o grau de poluição de efluentes provenientes de esgotos domésticos e industriais, por meio do oxigênio requerido para oxidar quimicamente todos os compostos passíveis a essa reação (oxi-redução).

- **Sulfato**

A presença de íons sulfatos, embora possam ser provenientes de diversas fontes naturais, como, por exemplo, reações da água com rochas sulfatadas, retrata, na maioria das vezes, a poluição dos corpos d'água por águas pluviais, as quais contêm quantidade significativa de compostos orgânicos e minerais de enxofre, como, também, podem ser oriundos da mineração do carvão, a partir da oxidação da pirita.

- **Íon Ferroso**

Este parâmetro retrata parte dos efeitos advindos da mineração, tendo em vista a liberação do íon ferroso durante o processo de oxidação da pirita.

- **Matéria Orgânica (MO)**

A matéria orgânica na água pode ser proveniente de fonte natural ou antropogênica. Dentre os vários efeitos conferidos pela MO, destaca-se o de agente quelante, por estar associado à permanência de metais dissolvidos no meio aquoso.

3.4. Relevância dos Metais Determinados em Águas Superficiais e nos Sedimentos de Corrente

A presença de determinados metais mesmo a baixas concentrações, pode acarretar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente. Praticamente, todos os metais da tabela periódica estão presentes no carvão, sendo que na fração mineral são encontrados os metais denominados elementos maiores (Fe, Al, Ca, K, etc.), enquanto que os chamados elementos traços (Co, Ni, Mn, Pb, etc.) estão associados a espécies minerais e/ou à fração orgânica do carvão (Pires e Teixeira, 1991). Algumas características a cerca dos metais determinados nesse estudo, serão abordadas a seguir.

- ❑ Cádmio: apresenta alta mobilidade e possui propriedades carcinogênicas reconhecidas para o homem e animais. Dentre os problemas vinculados à saúde do homem, destacam-se, ainda, os relacionados às disfunções renais. A concentração média na crosta é de 0,2 mg/kg.
- ❑ Cobalto: é potencialmente tóxico nas águas superficiais, mesmo a baixas concentrações. É mais tóxico que Cr^{3+} , Cr^{6+} , Mn^{7+} , Mo^{6+} para a maioria das espécies aquáticas. No entanto, para essas espécies a toxicidade do Co comparada aos íons Al^{3+} , Cd^{2+} e Cu^{2+} é bem menos intensa. Quanto aos problemas causados ao homem, o Co pode ocasionar perda parcial ou total do

olfato, trombose, problemas de tireóide, distúrbios gastrointestinais, entre outros. A concentração média na crosta é de 25 mg/kg.

- Cobre: considerado altamente tóxico para a maior parte das espécies de plantas aquáticas, espécies de invertebrados e peixes. Com relação aos mamíferos, é um elemento essencial em diversas reações enzimáticas. A concentração média na crosta é de 50 mg/kg.

- Chumbo: na forma inorgânica, o Pb é considerado moderadamente tóxico para as plantas aquáticas. Contudo apresenta toxicidade mais elevada do que os elementos Ba, Cr, Fe, Mn e Zn. Quando combinado com Cu e Zn, Cu, Zn e H⁺, o Pb atua de forma sinérgica. A presença de Pb em concentrações muito baixas, isto é, na faixa entre 0,019 – 0,025 mg/L, tem sido reportada como causa de efeitos crônicos tóxicos, como a redução da capacidade reprodutiva, em espécies de invertebrados. Efeitos crônicos tóxicos também tem sido observados em peixes, à concentrações menores que 0,010 mg/L de Pb inorgânico. Dentre os efeitos crônicos tóxicos causados ao homem, destacam-se os relacionados a perda do apetite, anemia, fraqueza, constipação, insônia, disfunção renal, dores musculares, danos ao sistema nervoso periférico, hipertensão, entre outros. O Pb é classificado pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer, como sendo pertencente ao Grupo 3, ou seja, apresenta evidências cancerígenas inadequadas em homens, e alguns sais de Pb revelam essas evidências em animais. A concentração média na crosta é de 15 mg/kg.

- Cromo: os compostos de Cr⁶⁺ e Cr³⁺ são considerados tóxicos para os peixes, sendo que para o homem o Cr⁶⁺ é mais tóxico do que o Cr³⁺. Certos compostos de Cr⁶⁺ solúveis em água são normalmente mutagênicos e carcinogênicos. Outros compostos insolúveis desse composto, tais como, cromatos de Ca, Pb, Sr e Zn, podem ser carcinogênicos. A concentração média na crosta é de 100 mg/kg.

- Ferro: o Fe é um elemento fundamental para plantas e animais, sendo essencial no transporte do oxigênio no sangue de todos os vertebrados e de certos

invertebrados. Esse elemento, embora seja considerado de pouca significância toxicológica, normalmente controla as concentrações dos demais elementos e de diversos metais pesados tóxicos. O composto Fe^{3+} é moderadamente tóxico para diversas espécies de plantas aquáticas. Juntamente com o Fe^{2+} , o Fe^{3+} é moderadamente tóxico para a maior parte das espécies de invertebrados. A concentração média na crosta é de 5%.

- Manganês: o Mn é um componente essencial para plantas e para diversos sistemas enzimáticos em animais. O Mn é considerado de pouca significância toxicológica, contudo pode controlar as concentrações dos demais elementos e de vários metais pesados. O composto Mn^{2+} é considerado fraco a moderadamente tóxico para a maioria das espécies de invertebrados e plantas aquáticas. Para o homem, os efeitos crônicos tóxicos são observados em mineiros, com conseqüente problemas no sistema nervoso central, acarretando efeitos nas funções neuro-transmissoras. A concentração média na crosta é de 950 mg/kg.

- Níquel: algumas formas de Ni são conhecidas pelo seu potencial carcinogênico. Não há, no entanto, evidências de seu potencial carcinogênico pela ingestão de Ni na comida ou em águas. A forma Ni^{2+} é moderadamente a altamente tóxico para a maior parte das espécies de plantas aquáticas. Para os invertebrados o Ni^{2+} é um dos agentes inorgânicos menos tóxicos, sendo relativamente não-tóxico para os peixes. A concentração média na crosta é de 75 mg/kg.

- Zinco: o Zn apresenta toxicidade altamente variável em plantas aquáticas, cuja variabilidade da concentração permitida pode ser de <0,01 a >100 mg/L. O composto Zn^{2+} é conhecido como sendo moderadamente tóxico para a maior parte das espécies de peixes. A concentração média na crosta é de 70 mg/kg.

3.5. Fluxo de Transferência de Metais

Diante do elevado tempo de permanência dos metais pesados em meio hídrico, foi realizado nesse estudo uma avaliação da dinâmica de transferência de cargas

poluentes (metais) na bacia do Arroio do Conde, considerando a diferença de carga entre os pontos que recebem influência das atividades de mineração de carvão e o ponto considerado *background*. Nesse caso, a avaliação da transferência (transporte) de carga foi efetuada considerando apenas segmentos de um mesmo meio, ou seja, o meio hídrico.

O cálculo dos fluxos médios de metais totais foi efetuado pelo produto entre as concentrações médias de cada metal e as vazões médias referentes a cada ponto estudado, e o procedimento adotado para obter os fluxos médios específicos consistiu em dividir os fluxos médios calculados pela área de drenagem de cada ponto analisado.

Os metais totais usados no cálculo dos fluxos de poluentes, foram os obtidos neste trabalho concomitantemente com os do estudo realizado por Teixeira e Sanchez (1998). As vazões médias utilizadas nesse cálculo, foram determinadas a partir das vazões medidas e estimadas no presente trabalho, além das pertencentes ao estudo citado acima.

3.6. Nível de Contaminação Antropogênica nos Sedimentos

Há vários métodos para calcular os níveis de contaminação de origem antrópica no sedimento. Entretanto as metodologias de cálculo propostas por Tomlinson (*apud* Förstner, 1989) e Müller (*apud* Förstner, 1989) denominadas, respectivamente, de Fator de Enriquecimento e Índice de Geoacumulação são freqüentemente utilizadas.

No presente trabalho, a granulometria do material utilizado foi adaptada para concentrações dos metais medidos na fração < 63 µm (fração silte e argila) e não na fração argila conforme proposto por Müller (*apud* Förstner, 1989), pelo fato deste tamanho de partícula conter a maioria dos metais (Loring e Asmund, 1996). Além disso, para calcular o Índice de Geoacumulação foi utilizado os metais do ponto 1 (*background*) e o folhelho padrão como valor de referência.

3.6.1. Fator de Enriquecimento de Metais nos Sedimentos de Corrente

O fator de enriquecimento - FE proposto por Tomlinson (*apud* Förstner, 1989) é expresso pela razão entre as concentrações dos metais e a de um normalizador geoquímico, geralmente um elemento conservativo, dividida pela razão das concentrações da região natural ou *background*. O FE obtido deverá sempre ser um número maior que zero, o qual representará o enriquecimento do conteúdo de elementos metálicos nas amostras de sedimento, em relação ao *background*.

O FE é determinado pela seguinte equação:

$$FE = \frac{[Me_n]_s / [Elc]_s}{[Me_n]_b / [Elc]_b}$$

onde:

FE = Fator de enriquecimento

[Me_n]_s = Concentração do metal “n” no sedimento estudado

[Elc]_s = Concentração do elemento conservativo no sedimento estudado

[Me_n]_b = Concentração do metal “n” no sedimento não contaminado (*background*)

[Elc]_b = Concentração do elemento conservativo no sedimento não contaminado (*background*)

A Tabela 7 mostra a classificação proposta por Hakanson (1980) que permite verificar a ordem de grandeza ou nível do conteúdo metálico excedido em relação ao natural.

Tabela 7: Nível de enriquecimento dos metais nos sedimentos.

Fator de enriquecimento	Classificação do nível de enriquecimento
< 1	Baixa contaminação
1 - 3	Moderado
3 - 6	Considerável
> 6	Alto

3.6.2. Índice de Geoacumulação – Igeo

O Índice de Geoacumulação (Igeo) proposto por Müller (*apud* Förstner, 1989) é uma medida quantitativa de poluição causada por metais pesados no sedimento aquático, a qual é baseada na seguinte fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1,5 \times B_n$$

onde:

C_n = concentração do elemento “n” na fração argila (< 2 μ m) do sedimento.

B_n = “background” geoquímico do elemento no folhelho médio (folhelho padrão).

1,5 = fator de correção, usado para minimizar possíveis variações do *background*, provocadas por diferenças litológicas.

O Igeo é agrupado numa escala com 7 intervalos, variando de 0 a 6 (Tabela 8), que representam graus crescentes de acumulação ou poluição. O valor mais elevado (Igeo = 6) indica um enriquecimento do metal superior ao valor encontrado no *background*, de aproximadamente 100 vezes.

Tabela 8: Classificação do índice de geoacumulação de metais pesados nos sedimentos do Rio Reno (Müller, *apud* Förstner, 1989).

Intensidade de Poluição	Acumulação no Sedimento (Igeo)	Classes do 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	> 1-0	1
Praticamente não poluído	< 0	0

3.7. Aplicação de Métodos Estatísticos

3.7.1. Análise Fatorial Aplicada aos Dados de Águas Superficiais

Visando sintetizar as informações obtidas de água superficial foi utilizada nesse trabalho, a técnica de Análise Fatorial, pelo método de Componentes Principais.

A Análise Fatorial consiste de uma técnica de Análise Multivariada, que trata das relações internas de um conjunto de variáveis, substituindo um conjunto inicial de variáveis correlacionadas, por um conjunto menor de “Fatores” que podem, ou não, ser correlacionados, justificando a maior parte da variância do conjunto original de dados (Fachel, 1976). Desta forma, é estudada a estrutura de correlação de um conjunto inicial de “p” variáveis (X_1, X_2, \dots, X_p), substituindo esse por um conjunto menor de variáveis hipotéticas, os fatores comuns, com menor número e com estrutura mais simples, os quais explicam em maior parte, a variação das variáveis originais.

Análise Fatorial, segundo Kim (1975) consiste de três etapas básicas: a preparação da matriz de correlação; a extração dos Fatores e a possível rotação de dados para uma solução final à procura de fatores simples e interpretáveis. O objetivo da rotação dos fatores é obter uma matriz de cargas mais facilmente interpretável, diante da natureza das variáveis observadas (Fachel, 1976). Independente da rotação, na técnica de Análise Fatorial, o primeiro Fator tende a ser um fator geral cujas cargas apresentadas são altas para todas as variáveis. Os Fatores subseqüentes tendem a ter, em certos casos, algumas cargas positivas e outras negativas (Kim, 1975).

Assim sendo, as etapas seguidas na aplicação da Análise Fatorial foram as seguintes:

- composição da matriz de correlação;
- seleção das variáveis;

- composição da nova matriz de correlação com as variáveis selecionadas;
- aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais;
- obtenção de um novo conjunto de variáveis sintéticas (Fatores Comuns) baseado nas interrelações dos dados originais;
- obtenção dos fatores e das cargas fatoriais das variáveis, na composição dos Fatores;
- análise final dos resultados.

3.7.2. Funções Discriminantes Canônicas Aplicadas aos Dados de Sedimentos de Corrente

Para determinar a diferença entre os sedimentos dos 6 pontos de amostragem, foi aplicado aos dados de sedimento as Funções Discriminantes Canônicas.

O ponto de partida para uma Função Discriminante Canônica (FDC) é uma matriz de dados com linhas e colunas. Uma diferença essencial entre a FDC e outros métodos de análise multivariada, consiste no fato de que as linhas da matriz de dados são agrupadas (neste caso, o agrupamento dos seis pontos de amostragem), já as análises do tipo Fatorial ou Componentes Principais, só são relevantes quando estas linhas da matriz não são agrupadas.

A FDC é uma técnica que procura analisar as diferenças entre os agrupamentos das linhas da matriz dos dados, sendo neste caso, as diferenças entre os 6 pontos estudados. Em vez de analisar variável por variável, esta análise procura uma combinação linear entre as variáveis, que melhor descreve as diferenças entre os grupos (pontos de amostragem). O nome técnico da combinação linear é a Primeira Função Canônica, denotada por FC1. A FC1 serve para “ordenar” os pontos de amostragem, conforme os valores numéricos da combinação linear entre as variáveis.

A função FC1 é a mais importante, pois explicará a maior parte das diferenças entre os 6 pontos de amostragem. Existem, também, outras funções canônicas, FC2, FC3,..., que explicam sucessivamente menores diferenças entre os pontos.

Freqüentemente, podemos explicar uma grande parte das diferenças entre os pontos, usando somente as primeiras duas funções canônicas FC1 e FC2; neste caso, é conveniente representar os valores de FC1 e FC2 graficamente, plotando as duas funções para ilustrar a ordenação de ambas.

As funções discriminantes canônicas ficam definidas matematicamente como:

$$D_i = \sum_{k=1}^p d_{ik} z_k$$

onde D_i é o escore discriminante da função i ; d_{ik} os pesos das variáveis nas funções discriminantes; Z_k os valores padronizados das variáveis e p , o número de variáveis discriminatórias utilizadas para a análise. Em geral, o número máximo de funções discriminantes é igual a $(N-1)$, sendo N o número de grupos previamente estabelecidos.

Para testar a significância dos resultados, são necessárias 3 suposições básicas em relação aos dados: i. observações em cada grupo são escolhidas ao acaso; ii. funções apresentam distribuição normal em cada grupo; iii. matrizes de variância-covariância são supostamente iguais para os grupos.

O primeiro passo no teste de significância de uma função discriminante, é a medida da separação ou distinção entre dois grupos. Isto pode ser obtido medindo-se a distância entre dois centróides, ou seja, a média multivariada dos grupos. Os valores correspondentes das diferenças entre as médias são, geralmente, convenientemente padronizados através da forma de escore-Z. A diferença entre as médias de dois grupos pode ser expressa como a Distância Euclidiana.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sedimentos de Corrente

4.1.1. Carbono _{Total} e Enxofre _{Total}

As médias dos teores de Carbono _{total} (C_{total}) e Enxofre _{total} (S_{total}) observados nos sedimentos de corrente dos 6 pontos estudados, estão apresentadas na Tabela 9. Cabe ressaltar, que estas médias incluem os resultados constatados experimentalmente neste estudo (sedimentos coletados em outubro/97) e dos realizados por Teixeira e Sanchez (1998) durante sete meses (outubro/92, abril/93, agosto e novembro/94, fevereiro, maio e setembro/95). Entretanto o ponto 4 pelo fato de não ter sido estudado anteriormente, os teores de C_{total} e S_{total} considerados foram somente os determinados no mês de outubro/97.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se claramente que os teores de Carbono e Enxofre foram mais elevados no Arroio Capão da Roça (ponto 3), que se justifica pela freqüente incidência de efluentes de finos de carvão provenientes das bacias de decantação do lavador da CRM. O ponto 2 (Arroio do Conde) também apresentou alto teor de enxofre, comprovando a influência da pirita. Esse ponto está localizado entre dois depósitos de rejeitos de carvão (Binotto, 1997) cuja lixiviação da pirita presente nestes resíduos pode provocar a contaminação dos cursos d'água.

Tabela 9: Média dos teores de carbono e enxofre em amostras de sedimentos referentes aos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Pontos de amostragem	Teor de carbono %	Teor de enxofre %
1	1,9	0,05
2	2,8	0,39
3	12,8	0,36
4	*3,3	*0,14
5	3,6	0,15
6	3,4	0,11

*Teores apresentados nos sedimentos coletados no mês de outubro/97.

4.1.2. Extração Total

A Tabela 10 mostra a média dos resultados de extrações totais aplicadas às amostras de sedimentos de corrente dos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da bacia do Arroio do Conde. As concentrações dos metais Cd, Co, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe e Zn obtidas nos sedimentos, foram comparadas ao folhelho médio - FM (Bowen, 1979). Para obter a média das concentrações desses metais foram utilizados dados primários e secundários. Os dados primários foram obtidos no presente estudo (janeiro, outubro e dezembro/97) e os secundários foram determinados pelo estudo realizado por Teixeira e Sanchez (1998) durante sete meses (outubro/92, abril/93, agosto e novembro/94, fevereiro, maio e setembro/95).

Tabela 10: Concentração média dos metais em sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

Metais µg/g	Pontos						Folhelho Médio µg/g
	1	2	3	4	5	6	
Cd	0,36	0,50	0,21	0,33	0,55	0,8	0,22
Cu	12,2	19,2	24,1	25,3	30,0	32,5	39
Pb	41,7	28,3	32,7	45,7	33,0	37,0	23
Ni	10,3	17,5	16,8	23,4	35,0	35,5	68
Mn	210	80,5	88,0	188,3	434,2	1209	850
Cr	30,0	45,4	42,8	34,0	40,0	41,7	90
Fe	15079	24017	11154	2978	21548	28060	48000
Zn	58,3	52,8	77,6	98,4	116,2	142,5	120
Co	15,2	19,7	16,9	24,3	43,7	51,2	19

De acordo com os resultados apresentados na tabela acima, observa-se que o conteúdo total da maioria dos metais analisados nos sedimentos não apresentaram variação significativa entre os 6 pontos estudados. As concentrações mais altas de Cd, Fe, Mn, Pb e Zn observadas no ponto 1, considerado ponto de referência (*background*), em relação a determinados pontos, podem ser atribuídas à constituição litológica da região.

Para melhor visualizar o comportamento dos metais nos pontos estudados, encontram-se plotados na Figura 4 de 4a à 4c os resultados das concentrações médias. As concentrações dos elementos Cd, Co e Pb mostraram-se superiores ou próximos aos valores do FM, na maioria dos pontos estudados. Um aumento gradual da concentração de montante para jusante, a partir do ponto 1, foi verificado para os

elementos Cu, Ni e Zn. A concentração de Mn foi elevada nos pontos 5 (Arroio do Conde na confluência com o Arroio Martins) e 6 (Arroio do Conde, afluente do Rio Jacuí), sendo que neste último o valor obtido ficou acima do FM. Concentrações mais elevadas de Cd e Co também foram observadas para esses pontos. Com relação aos elementos Fe e Cr, embora a média das concentrações esteja abaixo do FM, esses metais apresentaram uma tendência a serem mais elevados nos pontos 2 (Arroio do Conde), 5 e 6. O Cr apresentou, ainda, esta tendência no ponto 3 (Arroio Capão da Roça). Os elementos Cu, Mn, Fe, Cd, Co, Ni e Zn, mostraram concentrações mais elevadas nos pontos 5 e 6, provavelmente em função dos seguintes fatores: i. transporte dos metais oriundos de influências antropogênicas (atividades de processamento de carvão) com posterior adsorção dos metais nas superfícies das partículas finas, ii. maior sedimentação destas partículas em função de um decréscimo na declividade do leito e/ou um aumento da rugosidade junto ao fundo das seções onde foram coletas as amostras de sedimento. Isto pode ocasionar uma diminuição na velocidade do fluxo, fazendo com que parte da carga seja depositada. Sendo assim, há uma forte tendência dos sedimentos possuírem acúmulo de carga metálica neste ponto.

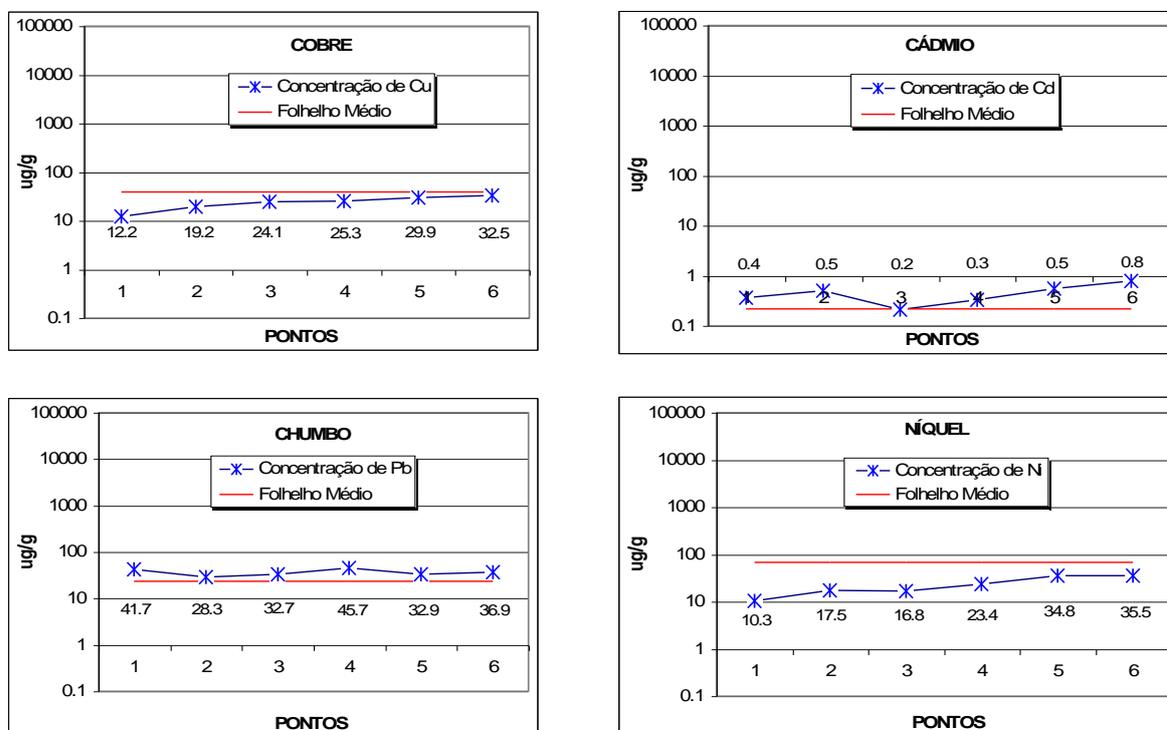


Figura 4a: Concentração de Cu, Cd, Pb e Ni nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

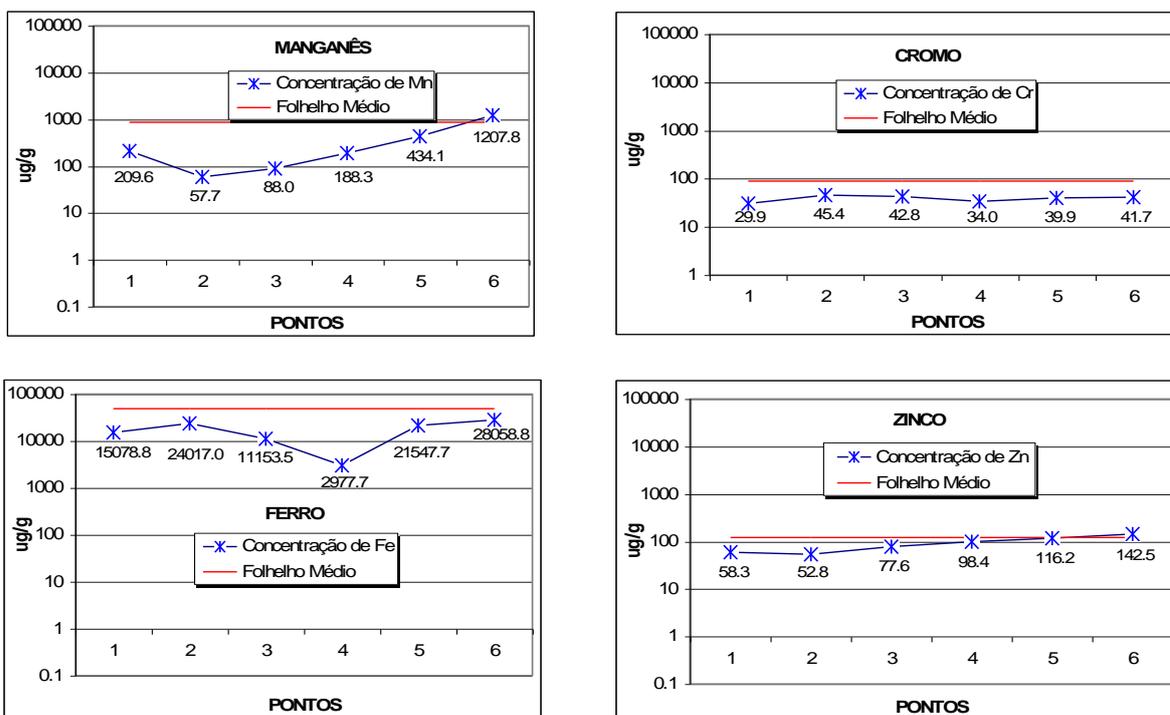


Figura 4b: Concentração de Mn, Cr, Fe e Zn nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

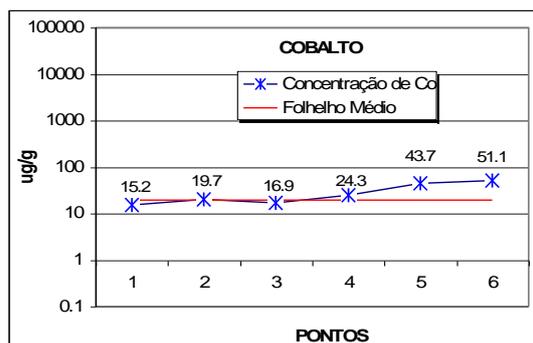


Figura 4c: Concentração de Co nos sedimento da bacia do Arroio do Conde.

4.1.3. Fator de Enriquecimento

Para calcular o Fator de Enriquecimento - FE dos metais nos sedimentos, da bacia do Arroio do Conde, o Al foi utilizado como normalizador geoquímico. Embora não haja consenso quanto a utilização de um normalizador, o Al tem sido sugerido por ser um componente natural das argilas (Förstner e Schoer, 1984) e por apresentar alta concentração natural e contaminação antropogênica mínima. Logo, este elemento considerado um componente central das argilas, pode ser utilizado como uma medida do conteúdo de uma amostra de sedimento. As concentrações dos elementos do ponto considerado *background* (ponto1) foram utilizadas como nível de base dos metais estudados.

O cálculo do FE foi aplicado somente nos pontos 2, 3, 5 e 6, pois as concentrações de Al utilizadas foram obtidas a partir de dados secundários (Teixeira e Sanchez, 1998), e correspondem aos pontos citados. Sendo assim, o ponto 4 (Arroio Martins) não foi incluído no referido cálculo.

A Figura 5 de 5a à 5e mostra as médias do FE dos elementos metálicos nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde. Os resultados revelam, segundo a classificação proposta por Hakanson (*apud* Hatje, 1996), enriquecimento moderado para Co, Cu e Zn no Arroio do Conde (pontos 5 e 6). Esse mesmo comportamento é verificado nos cursos médio (ponto 2) e inferior (pontos 5 e 6) para os elementos Cd, Ni e Fe. O Mn apresentou valor de enriquecimento moderado (1,6) e considerável (3,6) nos pontos 5 e 6, respectivamente. Com relação ao Cr, este mostrou enriquecimento moderado na confluência dos Arroios Martins e Conde (ponto 5). Em todo o curso analisado, o Pb apresentou ausência de enriquecimento nos sedimentos.

Diversos trabalhos (Teixeira, 1994; Pires e Teixeira, 1992; Raask, 1985) têm reportado que os elementos Co, Ni e Zn em virtude de estarem associados a sulfetos e Mn a carbonatos em carvões, são facilmente mobilizados em meio aquoso. Como consequência, esses elementos são readsorvidos às partículas mais finas de sedimento, podendo ficar acumulados/enriquecidos nos sedimentos em locais mais distantes das fontes antropogênicas.

Embora, o Arroio Capão da Roça (ponto 3) seja um corpo receptor direto e indireto de considerável carga de agentes contaminantes provenientes das atividades antrópicas oriundas da mineração de carvão, não foi verificado enriquecimento por nenhum dos metais estudados no compartimento sólido desse arroio. Isto pode ser justificado pelo fato do material analisado não ser constituído exatamente por sedimento, mas por rejeitos e finos de carvão. Logo, a técnica de extração total utilizada para quantificar os metais nos sedimentos, provavelmente não foi eficaz para esse tipo de material.

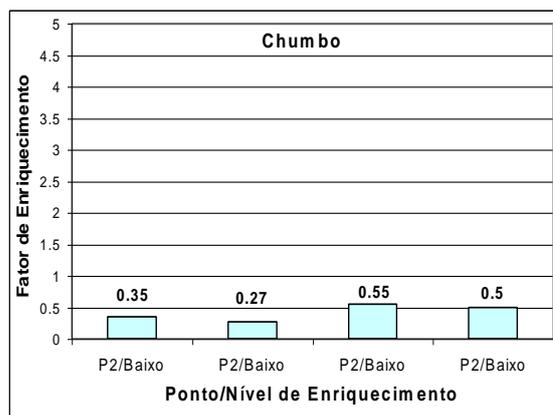
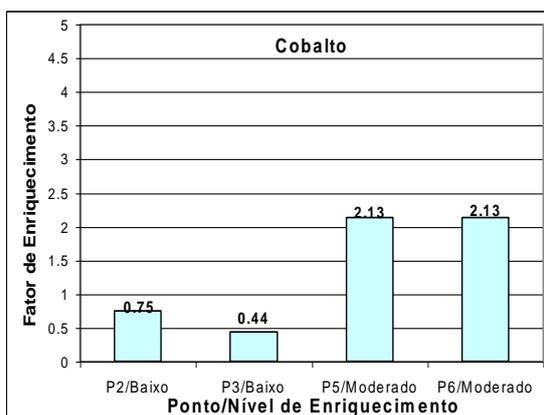


Figura 5a: Fator de enriquecimento de Co e Pb nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

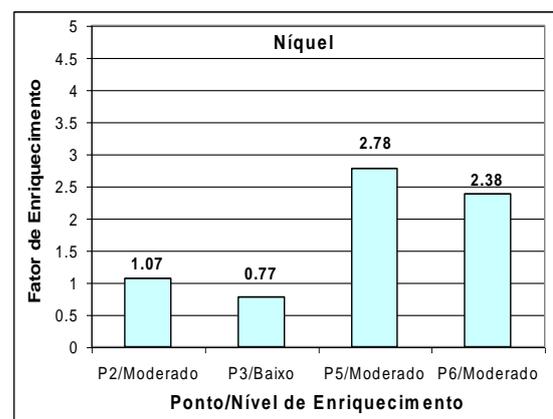
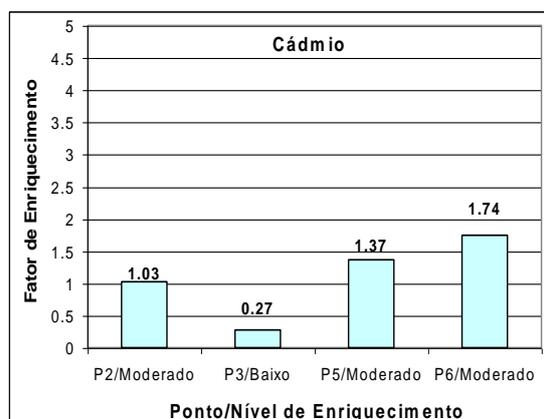


Figura 5b: Fator de enriquecimento de Cd e Ni nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

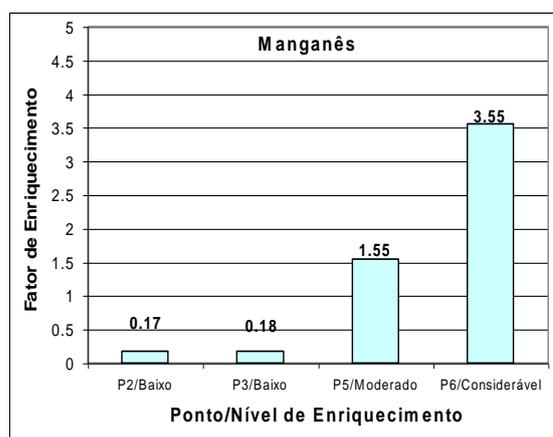
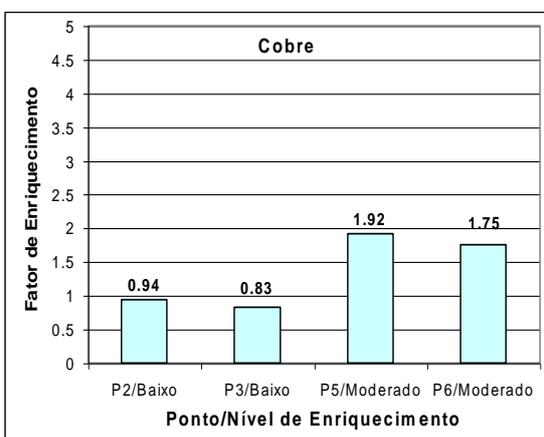


Figura 5c: Fator de enriquecimento de Cu e Mn nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

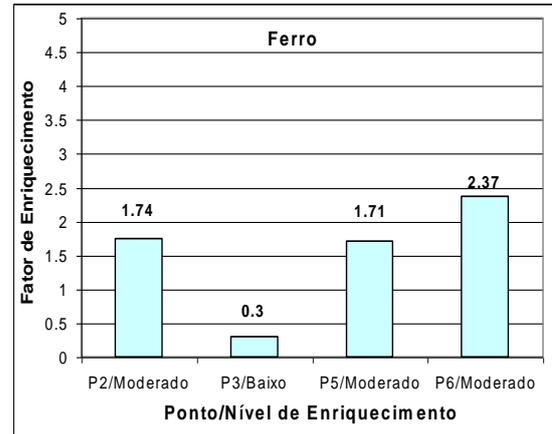
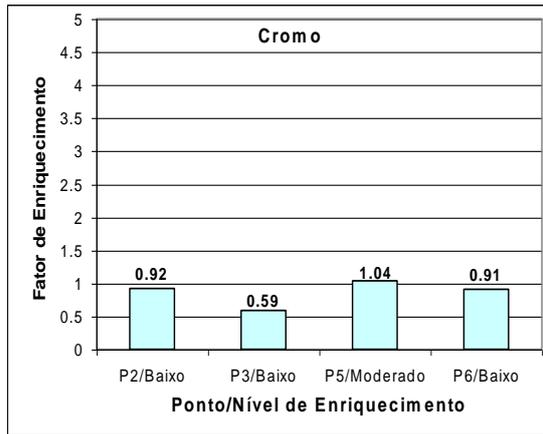


Figura 5d: Fator de enriquecimento de Cr e Fe nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

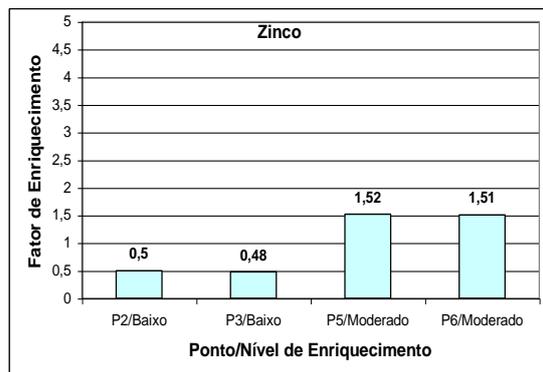


Figura 5e: Fator de enriquecimento de Zn nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

4.1.4. Índice de Geoacumulação

A Tabela 11 mostra a média dos índices de geoacumulação – Igeo dos metais determinados nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde, conforme intervalo proposto por Müller (*apud* Förstner, 1989). O cálculo do Igeo foi realizado utilizando a concentração dos metais totais presentes na fração silte/argila e, o ponto 1 como *background* para cada um dos elementos.

Tabela 11: Média dos índices de geoacumulação de metais nos sedimentos da bacia do Arroio do Conde.

Metais	Pontos					
	2	3	4	5	6	
Cd	0	0	0	0	1	
Co	0	0	1	1	2	
Cr	0	0	0	0	0	
Cu	0	1	1	1	1	
Fe	1	0	0	1	1	
Mn	0	0	0	1	1	
Ni	1	1	0	1	1	
Pb	0	0	0	0	0	
Zn	0	0	0	1	1	

Os resultados apresentados apontam que não há acumulação de metais nos pontos que sofrem maior influência das atividades antrópicas provenientes de

mineração de carvão (pontos 2, 3 e 4). A média do Igeo para os metais Cu, Co, Ni, Fe, Mn e Zn nos pontos 5 e 6, apresentaram concordância com a média dos valores obtidos no fator de enriquecimento nestes mesmos pontos. Entretanto, o grau de acumulação revelado para esses metais nos pontos 5 e 6 não foi significativo, variando apenas de pouco poluído a moderado.

4.1.5. Tratamento Estatístico

Visando obter a diferenciação entre os sedimentos dos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde, foi aplicada a Função Discriminante Canônica (FDC) aos dados de sedimentos de corrente.

Inicialmente, foi determinada a matriz de correlação de *Pearson*, em relação às concentrações dos metais totais e aos teores de C_{total} e S_{total} para os 6 pontos estudados (Tabela 12). As variáveis que apresentaram correlação significativa ao nível de 5%, ou seja $\alpha \leq 0,05$, estão assinaladas com um asterísco (*). Isto significa que quanto mais “alto” for o coeficiente das variáveis, mais indicador será para a diferenciação entre os sedimentos.

Tabela 12: Matriz dos coeficientes de correlação de *Pearson* para metais, C_{total} e S_{total} .

Variáveis	Cd	Co	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Fe	Zn	C_{total}	S_{total}
Cd	1										
Co	0,65	1									
Cu	0,34	0,64	1								
Pb	0,04	0,02	0,20	1							
Ni	0,49	0,82*	0,74*	0,08	1						
Mn	0,53	0,74*	0,57	0,18	0,64	1					
Cr	0,15	0,08	0,29	-0,13	0,24	-0,02	1				
Fe	0,61	0,36	0,11	-0,28	0,19	0,24	0,28	1			
Zn	0,43	0,68	0,68	0,17	0,71*	0,72*	-0,18	-0,11	1		
C_{total}	-0,34	-0,23	0,19	-0,07	-0,09	-0,23	0,03	-0,32	0,21	1	
S_{total}	-0,17	-0,35	-0,04	-0,34	-0,22	-0,42	0,13	-0,01	-0,15	0,45	1

*Correlação com significância a 5%

Conforme os resultados gerados pela matriz de correlação, observa-se que as únicas correlações significativas foram entre os pares Ni/Co, Ni/Cu, Mn/Co, Zn/Ni e Zn/Mn. A correlação apresentada entre os metais, sugere que os mesmos sejam provenientes de fontes difusas.

No prosseguimento, foi aplicada a FDC para os Arroios Taquara (ponto 1), Conde (pontos 2, 5 e 6), Capão da Roça (ponto 3) e Martins (ponto 4), onde resultaram 5 combinações lineares denominadas Funções Canônicas – FC (Tabela 13). Geralmente, o número máximo de FC é igual a $N - 1$, onde N é o número de grupos previamente estabelecidos, no caso os pontos.

Tabela 13: Funções Canônicas obtidas para os 6 pontos estudados.

Funções Canônicas	Variância %	Correlação Canônica	Significância
FC1	56,4	0,967	0,000
FC2	25,5	0,932	0,000
FC3	14,4	0,888	0,001
FC4	2,6	0,636	0,353
FC5	1,0	0,451	0,617

A partir das cinco FC obtidas, verifica-se que a primeira função canônica (FC1: 56,4%) e a segunda (FC2: 25,5%) apresentaram a maior correlação canônica significativa e, juntas, explicaram 81,9% das diferenças entre os 6 pontos amostrados. Estes resultados, sugerem que há diversidades entre as amostras dos sedimentos na bacia do Arroio do Conde.

Os valores numéricos de FC1 e FC2 podem ser usados para colocar os pontos em ordem seqüencial de “limpeza”/poluição. Isto é, a escala de valores de FC1 receberá mais peso do que os valores de FC2, pois FC1 explica 56,4% das diferenças (poluição) entre os pontos, comparado com 25,5% em FC2.

A Tabela 14 mostra a matriz de correlação entre as variáveis discriminantes e as funções discriminantes canônicas padronizadas, que auxilia na interpretação do comportamento diferenciado entre os pontos.

Tabela 14: Matriz de correlação entre as variáveis discriminantes e as Funções Discriminantes Canônicas padronizadas.

Variáveis	FC 1	FC 2
Ni	0,421*	-0,228
Co	0,373*	-0,344
Zn	0,283*	-0,155
C _{total}	0,219	0,628*
S _{total}	0,007	0,428*
Cr	0,074	0,209
Cd	0,088	-0,187
Mn	0,340	-0,529
Fe	0,060	-0,126
Pb	-0,027	-0,103
Cu	0,302	0,013

* Correlação entre a variável e a Função Discriminante

As variáveis com altos valores em FC1 (Ni, Co e Zn) e FC2 (C_{total}, S_{total}) foram as que apresentaram maior variabilidade entre os 6 pontos analisados. Os resultados verificados em FC1 já haviam sido previstos, considerando que a matriz de correlação de *Pearson* (Tabela 12) apresentou correlação com alta significância entre as variáveis Ni/Co e Zn/Ni.

Os elementos Mn e Cu embora apresentem em FC1 os valores 0,340 e 0,302, respectivamente, não integram o conjunto de variáveis que apresentaram maior variabilidade entre os 6 pontos em virtude destes elementos terem apresentado altos valores em FC3 e FC4. Neste estudo as Funções Canônicas FC3 e FC4 não foram consideradas, pois conforme mencionado no item 3.7.2, estas funções explicam sucessivamente menores diferenças entre os pontos.

Os valores de FC1 e FC2 encontram-se plotados na Figura 6, a partir da qual pode-se visualizar mais facilmente quais os pontos apresentaram sedimentos com maior diferença ou similitude entre si.

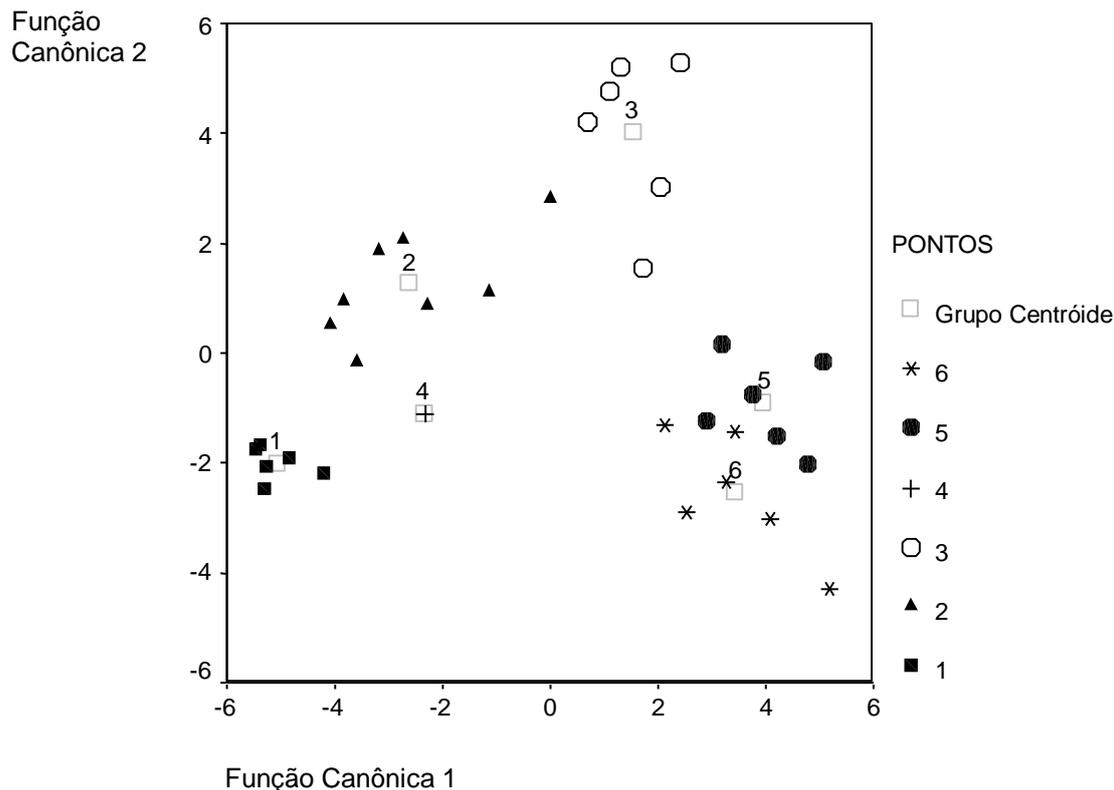


Figura 6: Funções Discriminantes Canônicas obtidas para os 6 pontos estudados na bacia hidrográfica do Arroio do Conde.

Os pontos 5 e 6 encontram-se posicionados em FC1, com valores altos e positivos. Isso pode ser justificado pela predominância dos elementos Ni, Co e Zn nesses pontos. Os valores altos e positivos apresentados em FC2 para o ponto 3, são caracterizados pelos teores de C_{total} e S_{total} elevados. O ponto 2 aparece relativamente distanciado dos demais, caracterizado pelo teor de Carbono significativo. O ponto 1 encontra-se em uma posição onde os valores são baixos e negativos, tanto para FC1 quanto para FC2, o que é atribuído ao fato desse ponto não receber interferência das atividades antrópicas decorrentes da mineração de carvão. A avaliação quanto a posição do ponto 4 fica comprometida, tendo em vista esse ponto ter sido avaliado com um número de dados muito inferior aos utilizados para os pontos 2, 3, 5 e 6, tornando-o pouco sensível à uma análise estatística.

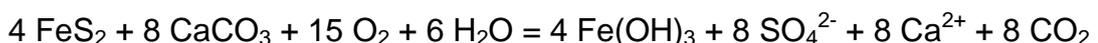
4.2. Águas Superficiais

4.2.1. Parâmetros Físico-químicos

As Figuras 7 a 17 mostram as médias dos resultados referente aos parâmetros físicos-químicos determinados em águas superficiais nos seis pontos estudados na bacia do Arroio do Conde, durante o período de setembro à dezembro de 1997 e nos meses de fevereiro, abril e junho de 1998. Como nos sedimentos, a média dos parâmetros incluíram, também, os resultados obtidos por Teixeira e Sanchez (1998) durante o período de maio/94 à novembro/95, para todos os pontos, exceto o ponto 4.

Na Figura 7, observa-se que o pH apresentou pouca variação entre os pontos estudados, onde os Arroios do Conde (ponto 2) e Martins (ponto 4) mostraram uma tendência do pH à ser levemente ácido. Esse fato pode ser atribuído a influência dos depósitos de rejeitos de carvão sobre estes locais, pois de acordo com a caracterização apresentada no Capítulo 2, sub item 2.8.1, a média do pH das amostras coletadas nos depósitos situados nas proximidades dos pontos 2 e 4 foi, respectivamente, 5,2 e 4,2.

O ponto 3 (Arroio Capão da Roça), embora receba freqüentemente o efluente do lavador de carvão da Companhia Rio-grandense de Mineração – CRM, e esteja localizado próximo a depósitos de rejeitos de carvão, o valor médio do pH neste curso d'água manteve-se próximo ao neutro. Isso deve-se, em parte, a neutralização de drenagem ácida, proveniente da oxidação da pirita, por carbonatos presentes em carvão, conforme equação química abaixo (Williams, 1982) e/ou de outra, o rejeito pode não ter sofrido ainda o processo de oxidação, pelo fato de ser mais recente.



Cabe ressaltar, que os aspectos físicos dos resíduos influenciam na geração, na migração e no consumo de ácidos. As características físicas dos rejeitos da mina e dos fatores hidrológicos no local, determinam a intensidade da geração ácida.

Advecção e difusão do oxigênio são produzidas pelos rejeitos constituídos de maior granulometria resultando em alta geração ácida. Já o material constituído por partículas mais finas, como é o caso do efluente lançado pela CRM, embora possa promover reações devido a maior área superficial, a disponibilidade de oxigênio pode ser limitada nas camadas mais abaixo da superfície, diminuindo, assim a geração ácida.

Os resultados obtidos para o potencial redox (Eh) denotam condições oxidantes para a maioria dos pontos estudados, sendo que para o ponto 2 essa condição foi mais evidente. Provavelmente, o ambiente mais oxidado (Eh alto) verificado para esse ponto seja reflexo do menor número de elétrons disponíveis. O ponto 3, no entanto, apresentou característica menos oxidante, tendo como consequência um aumento da concentração do íon ferroso. Isto pode ser atribuído à presença de matéria orgânica e sulfetos do carvão, que propiciam a formação de ambiente mais redutor.

Os pontos 2, 3 e 4 mostraram concentrações elevadas de sulfato, provavelmente, decorrentes da contaminação por pirita existente nos rejeitos de carvão localizados nas proximidades desses pontos. A presença dos rejeitos, acarretou ainda, variações significativas dos parâmetros condutividade e sólidos totais dissolvidos nos cursos d'água desses pontos.

As médias das concentrações da demanda química de oxigênio (DQO) mostradas na Figura 13, não incluem o Arroio Martins (ponto 4) pelo fato deste parâmetro não ter sido determinado nas amostras de água deste arroio. A concentração média mais elevada da DQO no Arroio Capão da Roça (ponto 3) pode ser atribuída à concentração significativa da matéria orgânica constituinte do carvão observada nesse arroio, bem como pelos metais que podem ser mantidos em solução devido a formação de complexos com a matéria orgânica e com ânions, sulfatos e cloretos (Salomons, 1995).

A concentração elevada das partículas em suspensão (PS) no arroio Capão da Roça (ponto 3) está vinculada ao fato desse arroio, conforme já citado anteriormente, receber com freqüência efluente contendo finos de carvão, proveniente do lavador da CRM e de rejeitos de carvão carreados pelo vento e/ou pela chuva. Em termos ambientais, os efluentes oriundos do processo de beneficiamento de carvão fino são mais relevantes, pois apresentam partículas finas e ultrafinas em suspensão, as quais podem elevar o teor de sólidos em suspensão, com conseqüente aumento da turbidez. Nas condições naturais dos corpos hídricos a turbidez varia entre 3 U.N.T. (valor mínimo) até 500 U.N.T. (valor máximo), e conforme pode ser observado na Figura 16 a média deste parâmetro para o ponto 3 foi 12,4 vezes superior ao valor máximo.

As concentrações médias do oxigênio dissolvido (OD) não apresentaram variações significativas entre os seis pontos estudados. Todos os pontos tiveram concentrações médias superiores ao valor mínimo de 5 mgO₂/L, exigido pelo CONAMA (1992). Entretanto, o ponto 1 (considerado *background* da área de estudo) por estar localizado a montante das influências antrópicas oriundas das atividades de mineração do carvão e das zonas urbanas, apresentou concentração média de OD um pouco mais elevada em relação aos demais pontos.

• PH

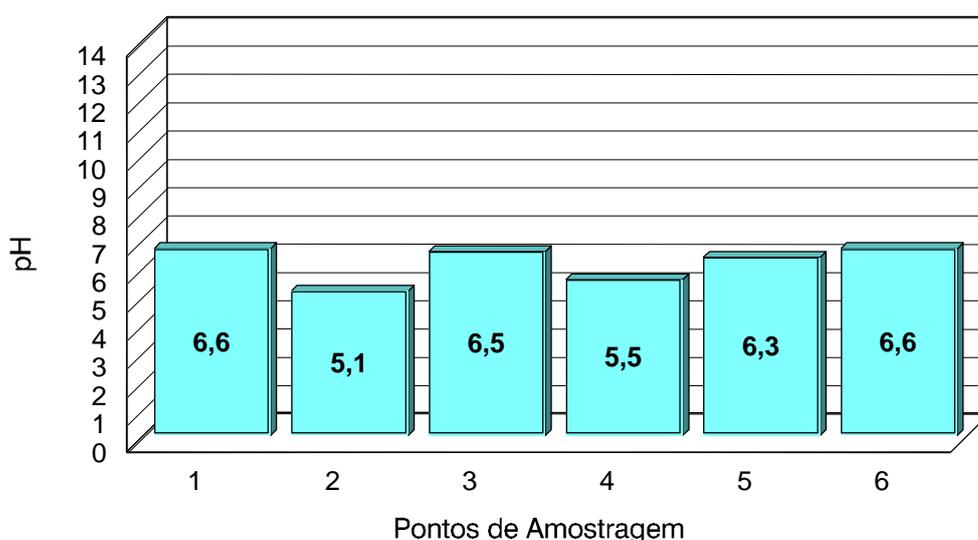


Figura 7 - Variação média do pH determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

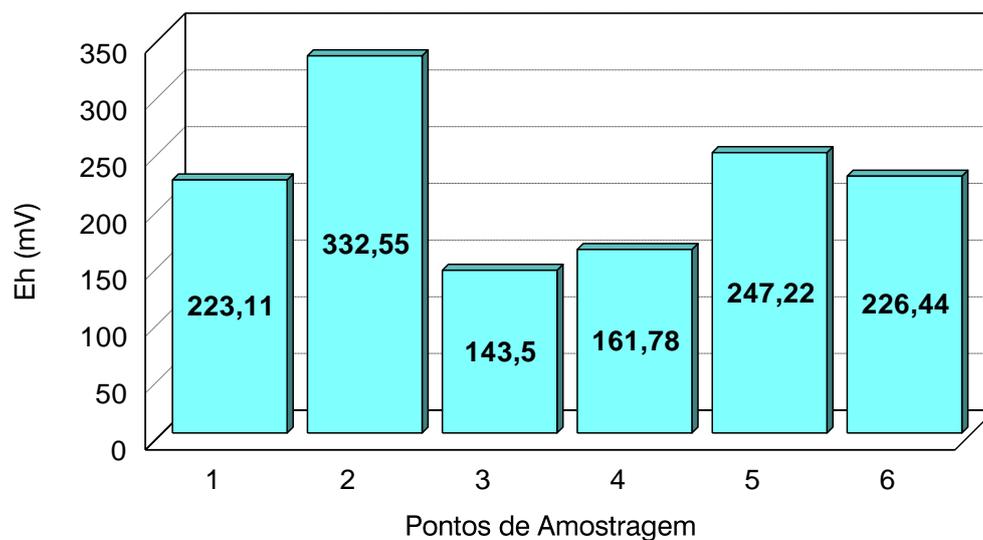
• Potencial Redox

Figura 8 - Variação média do potencial redox determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

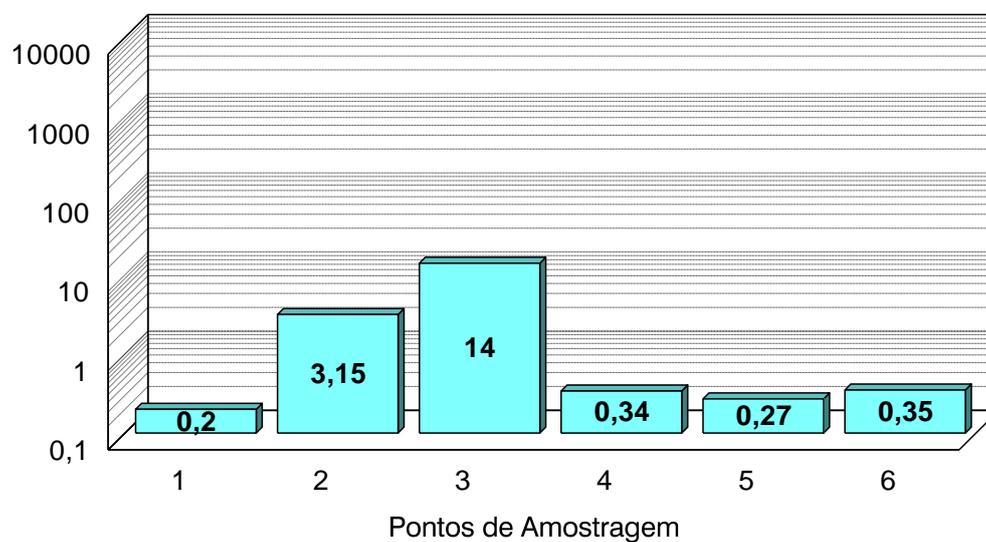
• Íon Ferroso

Figura 9 - Variação média do íon ferroso determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

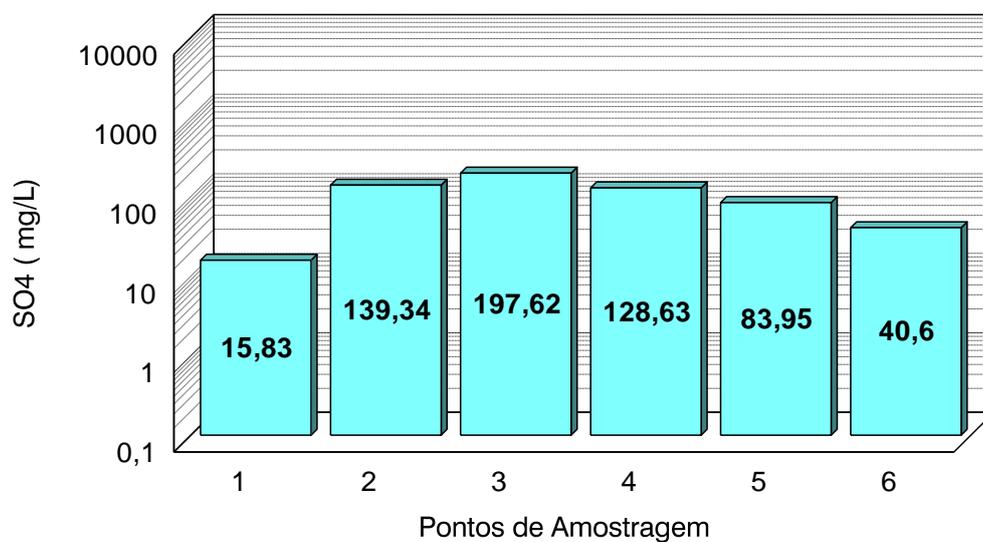
• Sulfato

Figura 10 - Variação média do sulfato determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

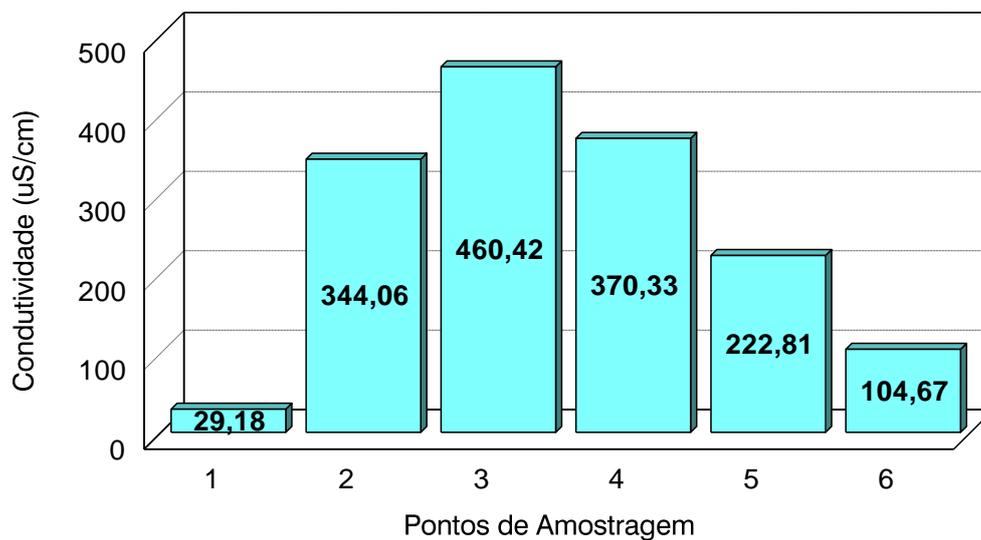
• Condutividade

Figura 11 - Variação média da condutividade determinada nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

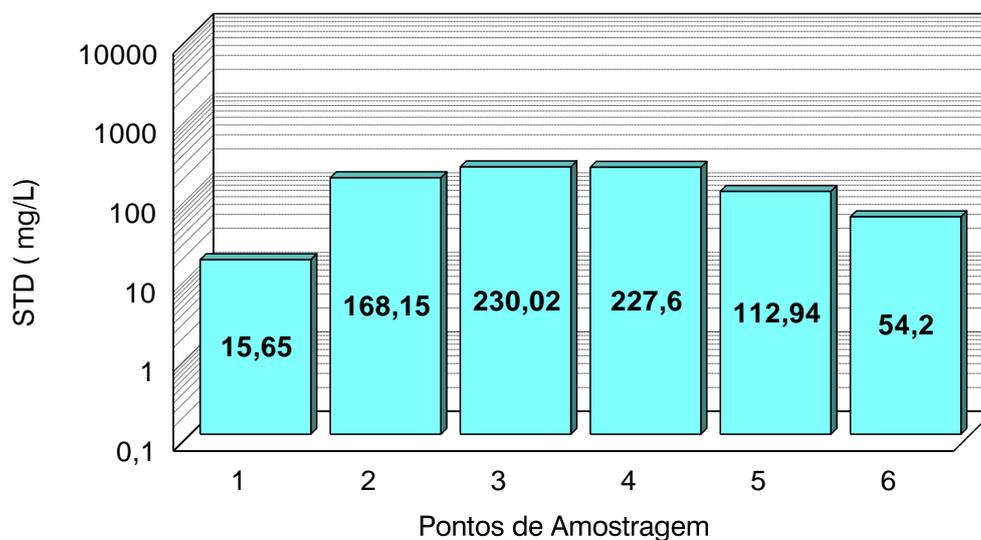
• Sólidos Totais Dissolvidos

Figura 12 - Variação média dos sólidos totais dissolvidos determinados nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

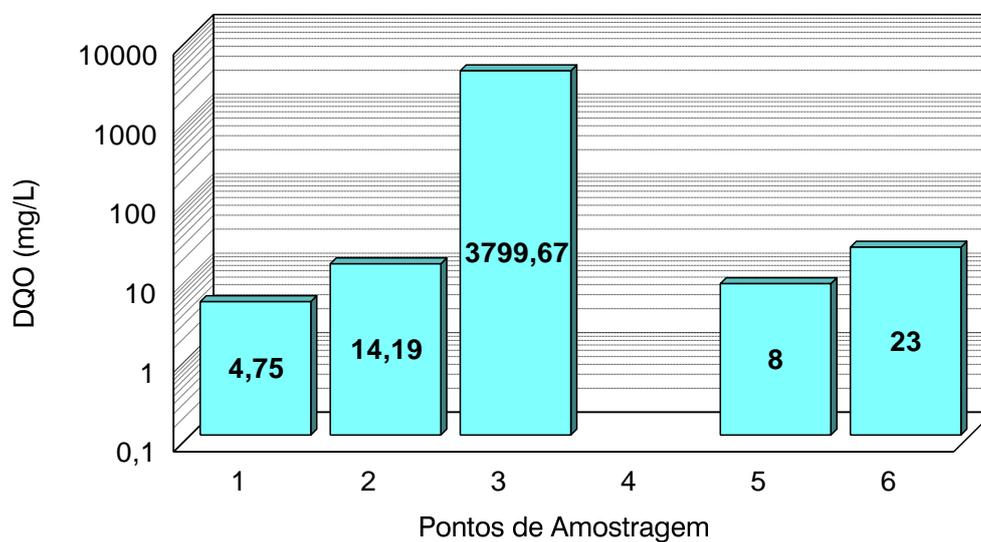
• Demanda Química de Oxigênio

Figura 13 - Variação média da demanda química de oxigênio determinada em 5 dos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

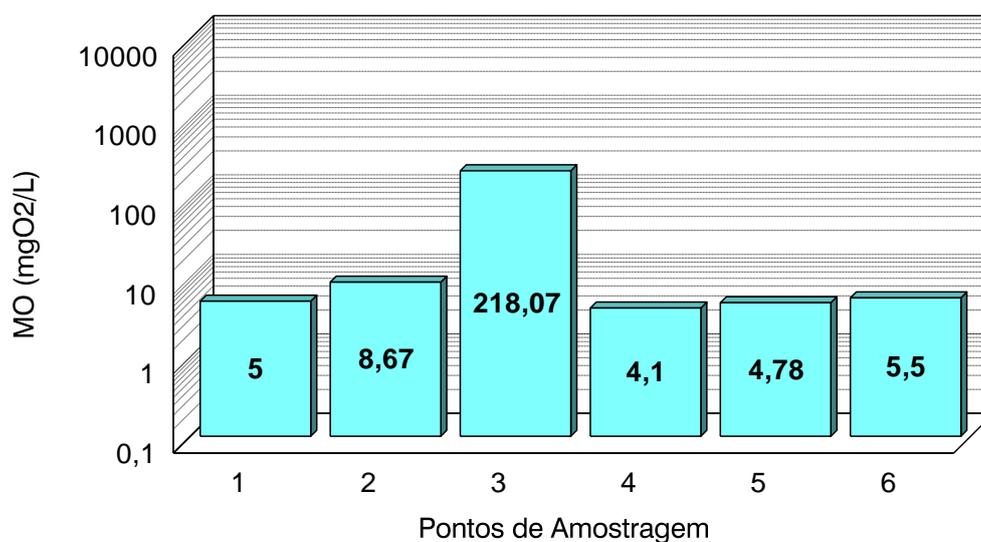
• Matéria Orgânica

Figura 14 - Variação média da matéria orgânica determinada nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

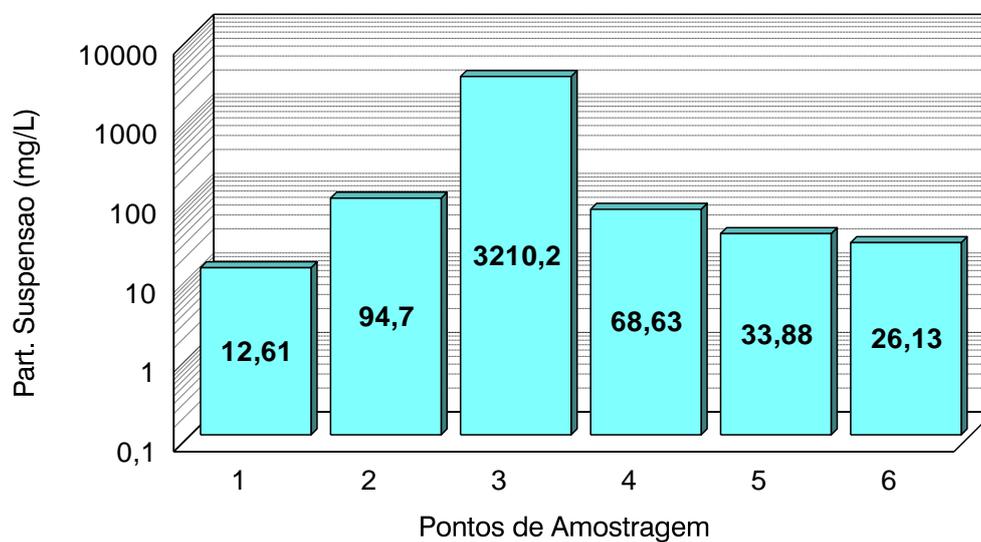
• Partículas em Suspensão

Figura 15 - Variação média das partículas em suspensão determinadas nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

• Turbidez

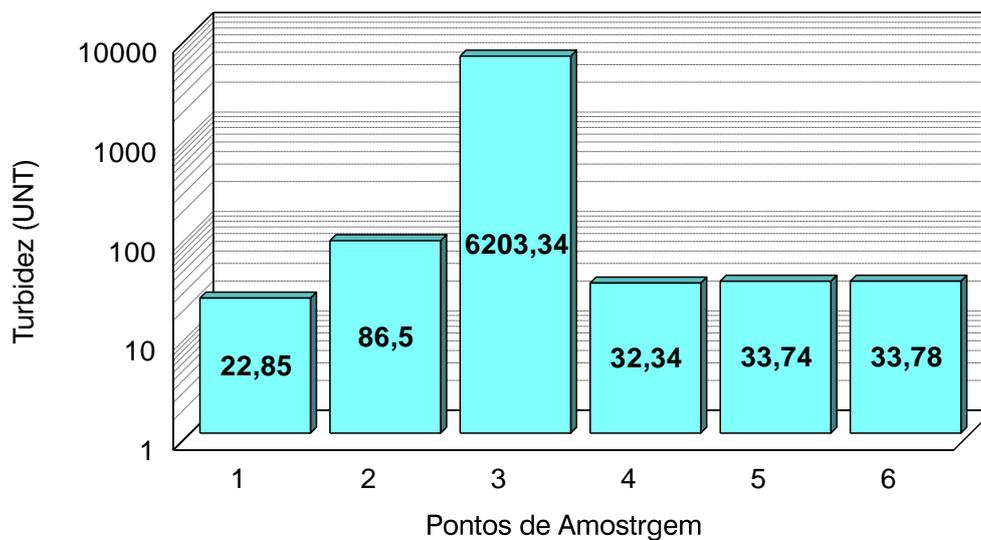


Figura 16 - Variação média da turbidez determinada nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

• Oxigênio Dissolvido

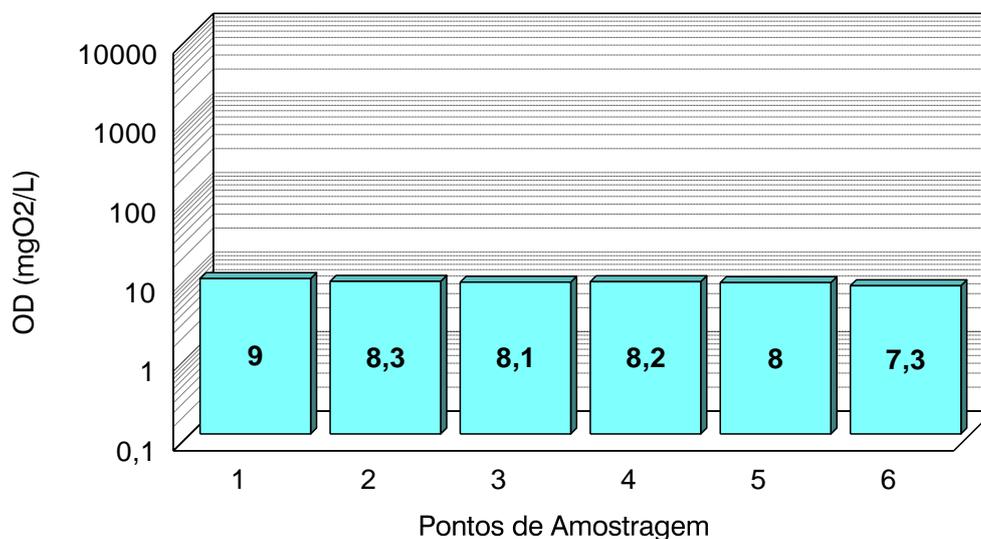


Figura 17 - Variação média do oxigênio dissolvido determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

4.2.2. Determinação de Metais Totais em Águas Superficiais

As concentrações médias de metais pesados (Fe, Cu, Mn, Ni, Pb, Cu e Co) são mostradas nas Figuras 18 à 25 para todos os 6 pontos estudados, e são referentes ao período de amostragem realizado neste estudo (setembro à dezembro

de 1997 e fevereiro, abril e junho de 1998), e ao realizado por Teixeira e Sanchez (1998), correspondente a maio/94 à novembro/95 . Assim como para os parâmetros físico-químicos, a média dos resultados apresentados para ponto 4 não abrangem dados secundários.

O comportamento verificado para as concentrações médias dos elementos Pb, Cu e Cr é similar para os seis pontos estudados. Nas Figuras 18 e 19, observa-se que, com exceção do ponto 3 (Arroio Capão da Roça), as concentrações de Pb e Cu ficaram abaixo do padrão permitido pelo CONAMA (1992). As altas concentrações observadas para ambos elementos nesse ponto, pode ser relacionado a existência de quantidades significativas de rejeitos de carvão no Arroio Capão da Roça, onde a associação de Pb e Cu à sulfetos contribuem para a contaminação do curso d'água (Raask, 1985; Pires e Teixeira, 1992; Teixeira, et al., 1994). Segundo Raask (1985), o Pb tem sido identificado em diversos carvões, associados a sulfetos, normalmente na forma de galena.

A concentração do Cr mais significativa no ponto 3 (Figura 20), pode ser atribuída a sua associação à matéria orgânica do carvão (Raask, 1985). Cabe ressaltar, que neste ponto, conforme mencionado anteriormente, a concentração da matéria orgânica foi elevada.

Os elementos Ni e Co apresentaram concentrações médias mais elevadas para os Arroios do Conde (ponto 2) e Capão da Roça (ponto 3). No entanto, a concentração de Ni para esses dois Arroios foi superior ao limite estabelecido pelo CONAMA (1992). Os resultados apresentados sugerem a associação de Ni e Co a sulfetos, que podem ser mobilizados em meio aquoso.

O Fe total apresentou concentrações acima do padrão CONAMA (1992) para todos os locais estudados, sendo que para o ponto 2 e ponto 3 os valores obtidos foram mais significativos. Esse fato é decorrente da presença de sulfeto de ferro nos depósitos de rejeitos de carvão, existentes em maior quantidade nestes dois locais.

A associação do Mn à carbonatos em carvões, pode ter contribuído para que os pontos 5 e 6 apresentassem valores elevados deste elemento, tendo em vista a fácil mobilidade apresentada no meio aquático, podendo atingir locais mais distantes das principais fontes antropogênicas (pontos 2 e 3).

• Chumbo

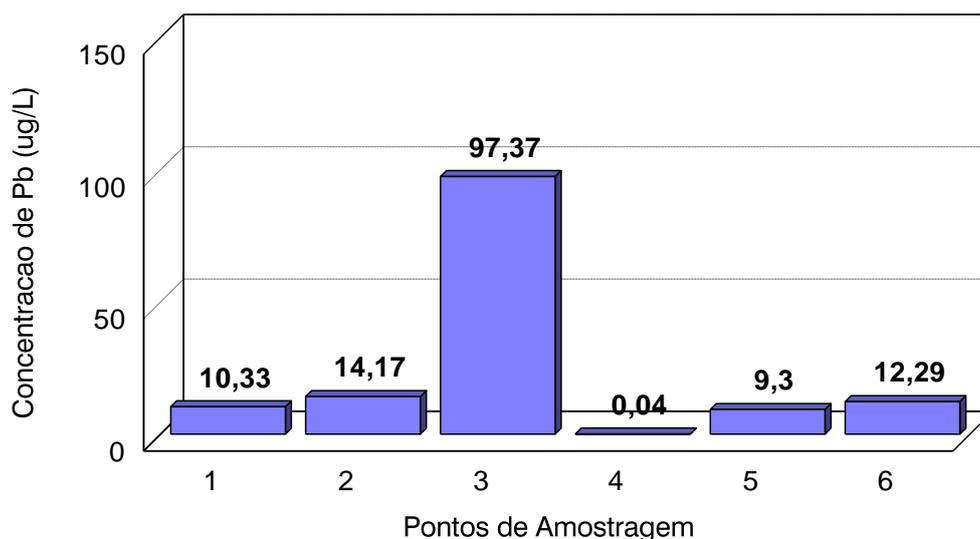


Figura 18 - Variação média de Pb total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Pb: 30 µg/L

Limite de detecção: EAA – 0,010 µg/L

• Cobre

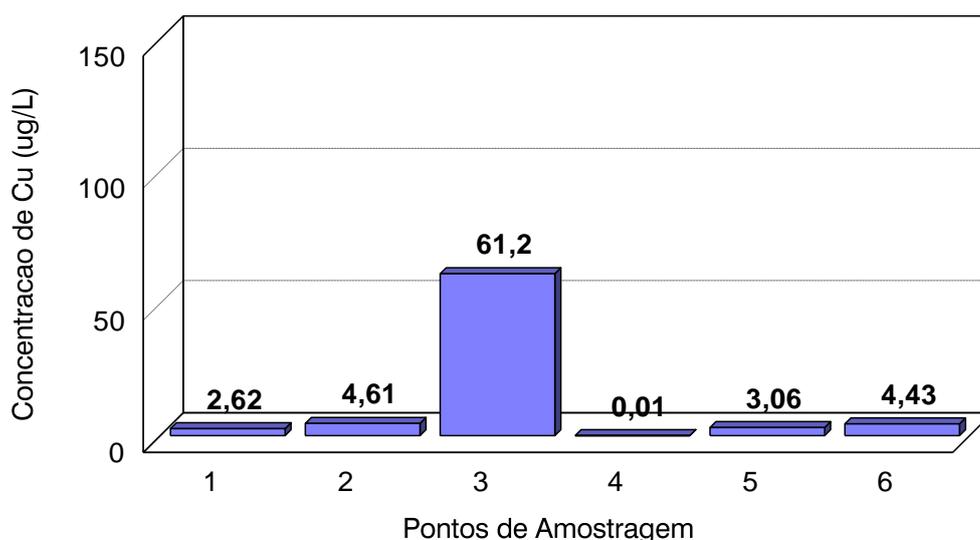


Figura 19 - Variação média de Cu total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Cu: 20 µg/L

Limite de detecção: EAA – 0,003 µg/L

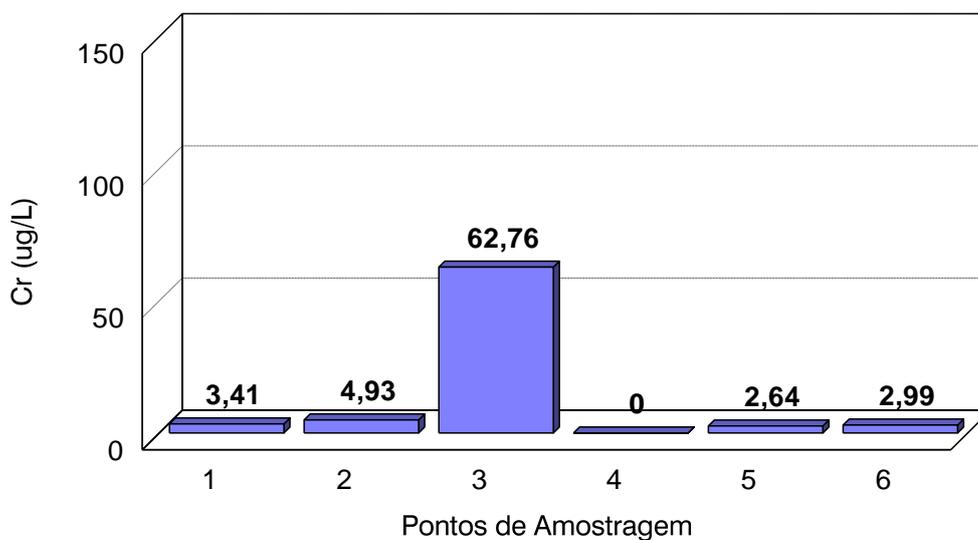
• Cromo

Figura 20 - Variação média de Cr total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Cr: 55 µg/L

Limite de detecção: EAA – 0,004 µg/L

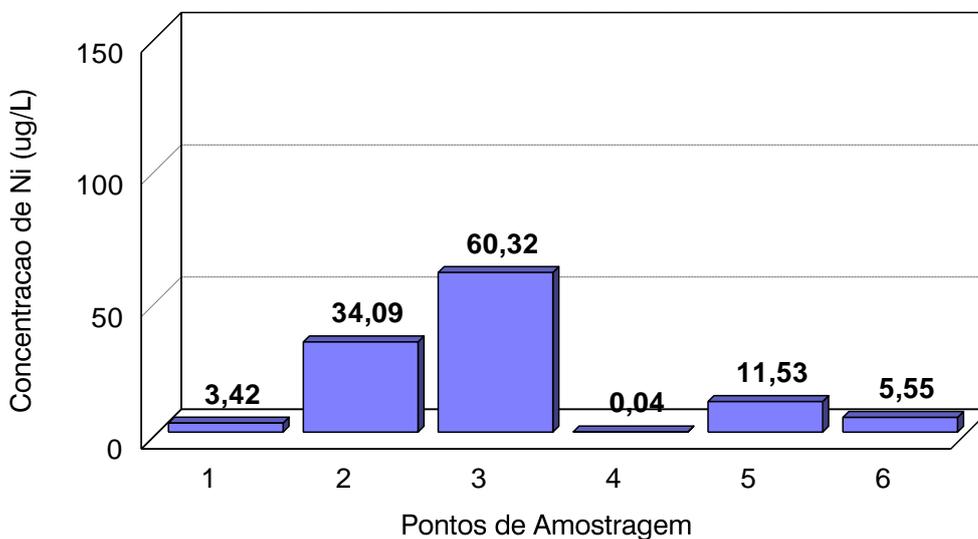
• Níquel

Figura 21 - Variação média de Ni total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Ni: 25 µg/L

Limite de detecção: EAA – 0,010 µg/L

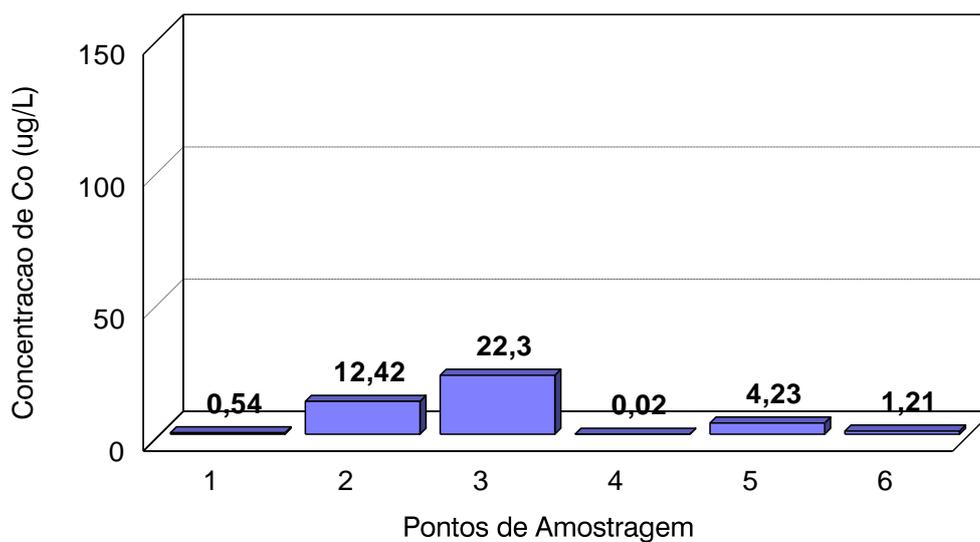
• Cobalto

Figura 22 - Variação média de Co total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Co: 200 µg/L

Limite de detecção: EAA – 0,011 µg/L

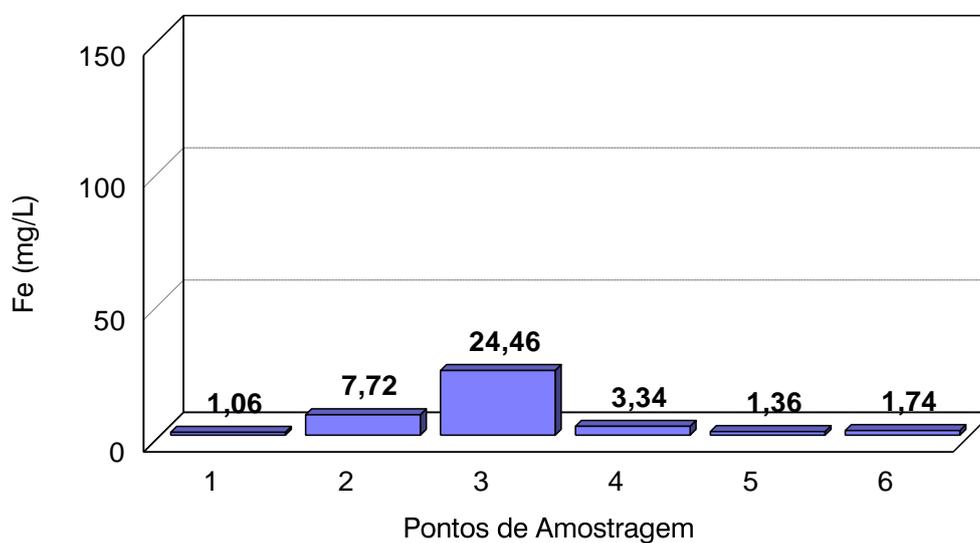
• Ferro

Figura 23 - Variação média do Fe total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Fe: 0,30 mg/L

Limite de detecção: EAA – 0,051 mg/L

• Manganês

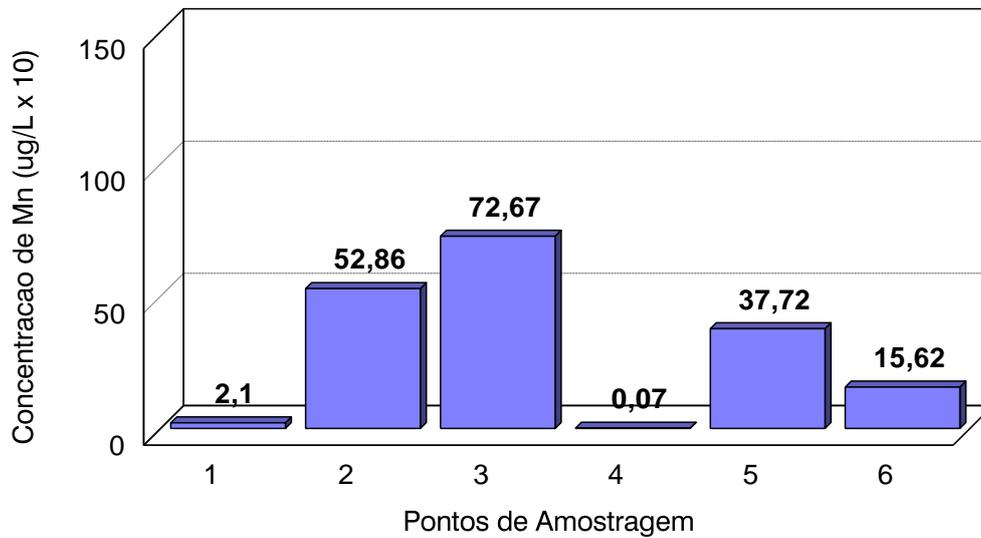


Figura 24 - Variação média de Mn total determinado nos 6 pontos estudados na bacia do Arroio do Conde.

Valor estabelecido pela Legislação Brasileira (CONAMA) Mn: 100 µg/L

Limite de detecção: EAA – 0,004 µg/L

4.2.3 Tratamento Estatístico

A técnica de Análise Fatorial, baseada no método de Componentes Principais, foi utilizada para obter um Índice de Poluição – IP, para cada ponto de amostragem de águas superficiais, durante o período analisado nesse trabalho (setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98), além do período de maio/94 à novembro/95 utilizado por Teixeira e Sanchez (1998). Essa análise foi executada utilizando-se o sub-programa *Factor Analysis* do programa de computador *STATISTICA FOR WINDOWS 4.3^T*.

A Tabela 15 apresenta os dados de média e desvio padrão obtidos a partir da análise descritiva básica, aplicada às variáveis determinadas nas águas superficiais da bacia do Arroio do Conde. Embora, determinadas variáveis tenham apresentado desvio padrão maior que a média, estas foram mantidas no cálculo do IP pelo fato de serem fortes indicadoras da poluição oriunda do carvão. A variabilidade dos resultados verificada durante os períodos e meses analisados pode estar relacionada a diversos fatores tais como: condições hidrológicas, carga de poluentes recebida pelos mananciais hídricos, entre outros.

Para ser aplicada a Análise Fatorial, é necessário que haja um número mínimo de amostras ou dados para cada variável. Sendo assim, foram excluídas as variáveis que apresentaram menos de dez amostras em todos ou em algum dos pontos estudados. O ponto 4 foi totalmente excluído, tendo em vista todas as variáveis apresentarem um número inferior a dez amostras. Entretanto, a partir de uma análise preliminar dos resultados mostrados na Tabela 15, verificou-se que o Arroio Martins (ponto 4), embora, tenha apresentado baixas concentrações para todos os metais analisados, pode, ainda, estar sofrendo a influência antrópica dos depósitos de rejeitos e cinzas de carvão. Isto porque, em comparação com o ponto 1, considerado *background*, o Arroio Martins revelou valores mais significativos para os parâmetros sulfato, condutividade, sólidos totais dissolvidos, partículas em suspensão e turbidez.

Tabela 15: Média e desvio padrão das variáveis determinadas nas águas superficiais da bacia do Arroio do Conde.

Variáveis	Pontos					
	1	2	3	4	5	6
	(n°Am) Méd / Des Pad	(n°Am) Méd / Des Pad	(n°Am) Méd / Des Pad	(n°Am) Méd / Des Pad	(n°Am) Méd / Des Pad	(n°Am) Méd / Des Pad
MO (mg/L)	(6) 4,97 / 2,40	(6) 8,67 / 9,53	(6) 218,07 / 226,02	(4) 4,10 / 2,38	(6) 4,78 / 2,38	(4) 5,51 / 0,99
PS (mg/L)	(4) 12,61 / 14,17	(4) 94,70 / 105,52	(4) 3210,20 / 5307,41	(4) 68,63 / 67,58	(4) 33,88 / 5,11	(4) 26,13 / 13,55
Ion Fe ²⁺ (mg/L)	(17) 0,2 / 0,15	(17) 3,14 / 3,33	(17) 14,00 / 17,98	(04) 0,34 / 0,18	(08) 0,27 / 0,18	(4) 0,34 / 0,23
DQO (mg/L)	(04) 4,75 / 3,20	(10) 14,20 / 10,40	(09) 3799,67 / 5812,81	-	(04) 8,00 / 6,88	(04) 23,00 / 14,79
Sulfato (mg/L)	(08) 15,83 / 15,56	(23) 139,34 / 78,88	(22) 197,62 / 209,73	(04) 128,63 / 101,92	(23) 83,95 / 51,23	(21) 40,60 / 15,12
Vazão (m ³ /s)	(23) 0,34 / 0,32	(24) 0,65 / 0,89	(16) 0,26 / 0,25	(06) 1,2 / 1,0	(13) 2,50 / 3,02	(06) 8,64 / 6,85
pH	(25) 6,6 / 0,5	(26) 5,1 / 0,7	(26) 6,5 / 0,5	(07) 5,5 / 0,9	(26) 6,3 / 0,7	(26) 6,6 / 0,5
Eh (mV)	(16) 223,11 / 107,02	(17) 351,52 / 79,27	(17) 153,62 / 100,96	(04) 161,78 / 90,00	(16) 247,22 / 75,75	(16) 226,44 / 62,91
Cond. (uS/cm)	(24) 29,18 / 4,93	(25) 344,06 / 170,64	(25) 460,42 / 409,51	(06) 370,33 / 177,91	(25) 222,81 / 92,14	(25) 104,67 / 35,31
STD (mg/L)	(25) 15,65 / 4,62	(26) 168,15 / 79,21	(26) 230,02 / 201,33	(07) 227,60 / 212,70	(26) 112,94 / 46,65	(26) 54,20 / 20,12
Turbidez (UNT)	(25) 22,85 / 15,51	(25) 86,50 / 150,91	(25) 6203,34 / 15909,1	(07) 32,34 / 23,20	(26) 33,74 / 29,03	(25) 33,78 / 13,86
OD (mgO ₂ /L)	(25) 9,03 / 1,02	(26) 8,29 / 1,22	(26) 8,05 / 1,22	(07) 8,23 / 0,94	(26) 7,95 / 1,40	(26) 7,28 / 1,14
Cu (µg/L)	(24) 2,62 / 2,14	(25) 4,61 / 3,94	(24) 61,20 / 80,10	(06) 0,01 / 0,02	(25) 3,06 / 1,88	(26) 4,43 / 5,50
Pb (µg/L)	(25) 10,33 / 5,67	(26) 14,17 / 10,30	(24) 97,37 / 145,22	(07) 0,04 / 0,04	(25) 9,30 / 5,18	(26) 12,30 / 11,75
Ni (µg/L)	(25) 3,42 / 5,18	(26) 34,09 / 22,57	(25) 60,32 / 58,45	(06) 0,04 / 0,02	(25) 11,53 / 5,58	(26) 5,55 / 5,30
Mn (µg/L)	(24) 20,59 / 8,08	(26) 528,56 / 269,30	(26) 726,66 / 693,94	(07) 0,70 / 0,60	(25) 377,15 / 172,17	(25) 156,22 / 85,00
Cr (µg/L)	(25) 3,41 / 2,85	(25) 4,93 / 5,29	(25) 62,76 / 85,57	(02) 0,01 / 0,01	(24) 2,64 / 2,21	(26) 3,00 / 2,13
Fe (mg/L)	(24) 1,06 / 0,45	(26) 7,72 / 4,14	(25) 24,46 / 29,47	(07) 3,34 / 4,04	(25) 1,36 / 0,71	(25) 1,74 / 0,67
Co (µg/L)	(19) 0,54 / 0,67	(26) 12,42 / 7,31	(26) 22,30 / 24,70	(04) 0,02 / 0,01	(25) 4,23 / 3,33	(24) 1,21 / 1,02

(n° de Am): número de amostras; MO: Matéria Orgânica; PS: Partículas em Suspensão; Ion Fe²⁺: Ion Ferroso; DQO: Demanda Química de Oxigênio; Eh: Potencial Redox; Cond.: Condutividade; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; OD: Oxigênio Dissolvido

Posteriormente a análise descritiva, foi determinada a matriz de correlação de *Pearson* referente aos dados brutos das variáveis que não foram excluídas. Os dados da matriz de correlação 14 x 14 são apresentados na Tabela 16, onde as correlações significativas ao nível de 5% $\alpha \leq 0,05$, estão assinaladas com um asterisco (*).

Os resultados mostram que pH, Eh e OD não apresentaram correlação com as demais variáveis. Diante disso, essas variáveis não foram selecionadas para a aplicação da Análise Fatorial.

Tabela 16: Matriz de correlação de *Pearson* para as 14 variáveis determinadas nas águas superficiais, nos períodos de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Variáveis	Sulfato	pH	Eh	Cond.	OD	Turb.	STD	Co	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Fe
Sulfato	1													
pH	-0,07	1												
Eh	-0,29	-0,32	1											
Cond.	0,88*	-0,10	-0,27	1										
OD	-0,21	-0,06	0,19	-0,28	1									
Turb.	0,37	0,11	-0,12	0,38	-0,08	1								
STD	0,87*	-0,09	-0,29	0,98*	-0,28	0,39	1							
Co	0,74*	-0,07	-0,14	0,70*	-0,11	0,54	0,70*	1						
Cu	0,50	0,11	-0,18	0,43	-0,08	0,30	0,43	0,74*	1					
Pb	0,48	0,07	-0,09	0,32	-0,02	0,74*	0,32	0,78*	0,94*	1				
Ni	0,64	-0,13	-0,09	0,63	-0,12	0,31	0,63	0,90*	0,78*	0,76*	1			
Mn	0,86*	-0,13	-0,17	0,89*	-0,27	0,36	0,89*	0,84*	0,55	0,50	0,81*	1		
Cr	0,56	0,11	-0,19	0,43	-0,06	0,70*	0,43	0,79*	0,84*	0,95*	0,70*	0,54	1	
Fe	0,72*	0,03	-0,18	0,64	-0,10	0,74*	0,65	0,83*	0,76*	0,83*	0,70*	0,70*	0,92*	1

*Correlação com significância a 5%

A partir da matriz de correlação de *Pearson*, foi obtido um novo conjunto de variáveis sintéticas (Fatores Comuns) baseado nas interrelações dos dados originais das seguintes variáveis: sulfato, condutividade, turbidez, sólidos totais dissolvidos, Co, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr e Fe. Este conjunto resultou em dois Fatores associados às raízes características $> 1,0$, que sintetizaram 83% da variância total para os dois eixos principais (Tabela 17). Pelo fato do Fator 1 explicar 68% da variância total em relação às variáveis originais, considerou-se somente este Fator para compor o IP.

A configuração exata da estrutura fatorial não é única, considerando que uma solução fatorial pode ser transformada em outra, por meio de rotações, sem violar os pressupostos básicos ou as propriedades matemáticas (Kim, 1975). O objetivo da rotação dos Fatores consiste em obter uma matriz de cargas mais facilmente interpretável diante à natureza das variáveis observadas (Fachel, 1976). Independentemente de ter ou não rotação, na técnica de Análise Fatorial, o primeiro Fator tende a ser um Fator geral cujas cargas apresentadas são altas e positivas para todas as variáveis. Os Fatores subseqüentes tendem a ter, em certos casos,

algumas cargas positivas e outras negativas (Kim, 1975). No presente estudo os resultados foram melhor interpretados sem a utilização da rotação.

Tabela 17: Cargas Fatoriais obtidas em águas superficiais na bacia do Arroio do Conde para o período de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Variáveis	Fator 1	Fator 2
Sulfato	0,817797	0,369113
Condutividade	0,797703	0,566688
Turbidez	0,575785	-0,126440
Sólidos totais dissolvidos	0,796796	0,561561
Co	0,933320	-0,067434
Cu	0,807302	-0,448752
Pb	0,760635	-0,547228
Ni	0,874522	-0,085173
Mn	0,876656	0,373933
Cr	0,850475	-0,449190
Fe	0,918619	-0,172432
Variância Total	0,679401	0,152062

O Fator 1 pode ser interpretado como altamente ponderado pelas variáveis que apresentaram pesos maiores que 0,76. Logo, este Fator é o que melhor representa a poluição hídrica. A partir da matriz de cargas fatoriais, foram estimados os coeficientes dos escores fatoriais que determinaram o IP para os pontos 1, 2, 3, 5 e 6, pelo método de Bartlett (1962):

$$\text{Índice de Poluição} = 0,109428 Z_1 + 0,106739 Z_2 + \dots + 0,122918 Z_{11}$$

onde Z são as variáveis e os subíndices (1, 2,11) referem-se às variáveis na mesma ordem em que aparecem na Tabela 18.

Tabela 18: Coeficientes dos escores fatoriais em águas superficiais na bacia do Arroio do Conde para o período de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Variáveis	Fator 1
1. Sulfato	0,109428
2. Condutividade	0,106739
3. Turbidez	0,077045
4. Sólidos totais dissolvidos	0,106618
5. Co	0,124885
6. Cu	0,108023
7. Pb	0,101779
8. Ni	0,117018
9. Mn	0,11730
10. Cr	0,113800
11. Fe	0,122918

Após a obtenção dos coeficientes dos escores fatoriais, foi calculado os escores fatoriais (Tabela 19), ou seja, o Índice de Poluição propriamente dito, para os pontos 1, 2, 3, 5 e 6, durante os meses analisados. Neste estudo, as variáveis que aumentaram com a poluição foram as que apresentaram sinal positivo no Fator 1, isto é, quanto mais positivo for este Fator, pior as condições do ponto estudado e vice-versa.

O resultado revela que a criticidade apresentada pelo ponto 3 pode ser atribuída à existência local de vários depósitos de rejeitos de carvão e do efluente proveniente das bacias de decantação da CRM, conforme mencionado anteriormente.

Tabela 19: Escores Fatoriais - F1 obtidos para os pontos 1, 2, 3, 5 e 6.

Meses	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 5	Ponto 6
05/94	-	0,2192	0,1635	-0,3605	-0,3952
06/94	-0,5263	0,0335	0,1754	-0,3549	-0,5301
07/94	-0,4378	-0,1434	-0,2663	-0,4489	-0,4945
08/94	-0,4418	-0,2652	-0,0468	-0,4709	-0,5826
09/94	-0,4840	-0,1047	0,0841	-0,2064	-0,4960
10/94	-0,5495	1,0118	0,4619	-0,1223	-0,4530
11/94	-0,5058	0,1872	0,2574	-0,3519	-0,4558
12/94	-0,5268	0,9298	0,3739	-0,2022	-0,3517
01/95	-0,5614	0,6432	3,7595	-0,2477	-0,5526
02/95	-0,4994	0,9633	4,8711	-0,3416	-0,4888
03/95	-0,5928	0,4138	1,4168	-0,0369	-0,3409
04/95	-0,5810	0,4429	1,8854	-0,1243	-0,4382
05/95	-0,6778	0,2625	4,3375	-0,0830	-0,4222
06/95	-0,5803	0,0416	5,2694	0,0557	-0,5563
07/95	-0,6274	-0,1136	-0,0833	-0,2290	-0,4538
08/95	-0,5654	-0,1064	0,4417	-0,4109	-0,4537
09/95	-0,6535	-0,1236	0,7099	-0,3411	-0,4660
10/95	-0,5956	-0,0956	1,4674	-0,3089	-0,4828
11/95	-0,6040	0,3384	3,5531	0,2512	-0,4926
09/97	-0,6669	0,0726	1,2886	-0,1089	-0,4940
10/97	-0,6412	-0,0919	-0,3914	-0,3712	-0,5857
11/97	-0,6564	-0,1258	-0,4671	-0,4079	-0,6113
12/97	-0,5806	-0,0040	0,3486	-0,0664	-0,5308
02/98	-0,5886	-0,1671	-0,1536	-0,3283	-0,4109
04/98	-0,5835	-0,0348	-0,1736	-0,3499	-0,4465
06/98	-0,5033	-0,1647	-0,3032	-0,3918	-0,4220
Média	-0,5692	0,1546	1,1146	-0,2446	-0,4772

Os Escores Fatoriais evidenciam a separação dos pontos em relação às variáveis que os caracterizaram, permitindo desta forma associá-los as possíveis fontes de poluição. A Figura 25 mostra uma síntese do comportamento das variáveis que foram selecionadas para a aplicação da Análise Fatorial, e representa a dispersão espacial e temporal dos pontos em função do Índice de Poluição (Fator 1) das águas superficiais.

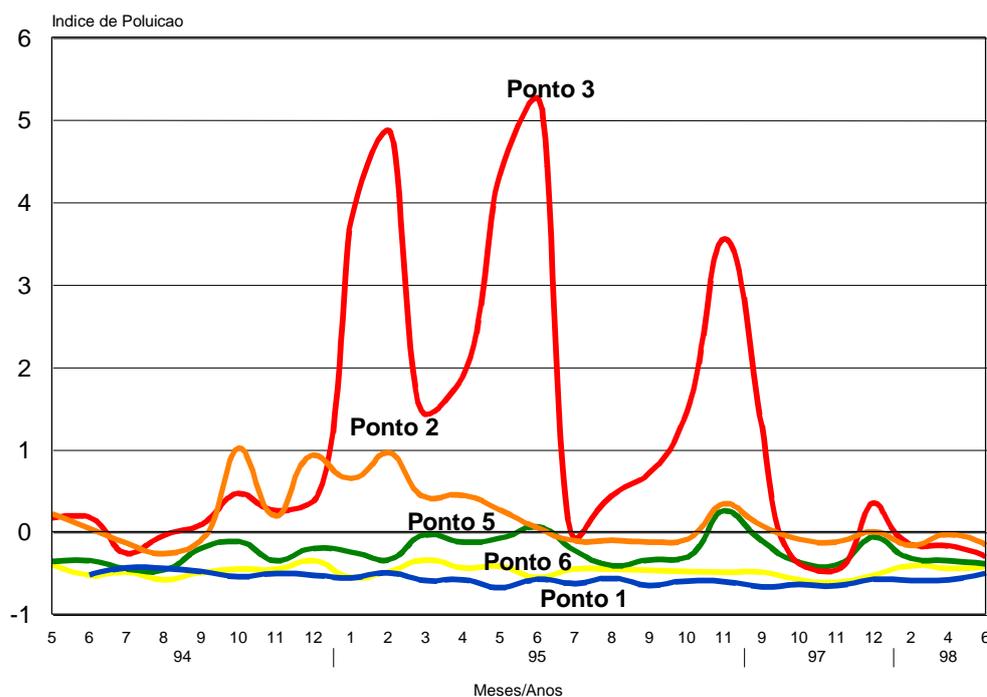


Figura 25: Índice de Poluição da bacia do Arroio do Conde determinado durante os períodos de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Como era esperado, os Índices obtidos para os pontos 2 e 3 apresentaram-se mais impactados, o que pode ser atribuído à influência das atividades do processamento do carvão em ambos os pontos.

Durante o período de janeiro à junho/95 e nos meses de outubro e novembro/95 e setembro/97, verificou-se que o Arroio Capão da Roça (ponto 3) apresentou valores que ultrapassaram significativamente a média (1,11) obtida neste Arroio. Este fato pode ser atribuído ao aporte direto dos efluentes das bacias de decantação da Companhia Rio-grandense de Mineração - CRM.

Os pontos 5 e 6 apresentaram uma melhoria da qualidade das águas cujo valor médio apresentado para o IP foi de $-0,24$ e $-0,48$, respectivamente. Isto pode ser atribuído ao fato de não existir fontes antropogênicas entre os pontos, bem como a maior distância em relação aos pontos que recebem maior carga antrópica.

Comparando os resultados dos IP obtidos nesse estudo com os reportados por Andrezza (1997) por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA), para a bacia do Arroio do Conde, verificou-se que houve certa concordância em relação a melhor ou

pior condição das características naturais das águas superficiais dessa bacia hidrográfica. Embora, os locais estudados, assim como os parâmetros determinados não tenham sido exatamente os mesmos, pode-se observar, de forma geral, que as águas superficiais denotam pior qualidade em locais mais próximos às fontes de mineração, beneficiamento e de determinados depósitos de rejeitos de carvão. A medida que os cursos d'água se distanciam dessas fontes antrópicas, ocorre uma melhoria na qualidade das águas.

4.2.4. Fluxo de Transferência de Metais ao Longo da Bacia do Arroio do Conde

O fluxo de transferência foi realizado para obter uma abordagem da dinâmica da carga dos metais Co, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr e Fe em águas superficiais, referente a cada ponto de amostragem, durante os períodos de maio/94 à novembro/95 e setembro à dezembro/97, bem como nos meses de fevereiro, abril e junho/98. A Tabela 20 apresenta as concentrações médias e os fluxos de metais determinados em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde no período de maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Tabela 20: Concentrações médias e fluxos médios de metais determinados em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde – período: maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Concentrações Médias	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Cu (µg/L)	2,62	4,61	61,20	0,01	3,06	4,43
Pb (µg/L)	10,33	14,17	97,37	0,04	9,30	12,30
Ni (µg/L)	3,42	34,09	60,32	0,04	11,53	5,55
Mn (µg/L)	20,59	528,56	726,66	0,70	377,15	156,22
Cr (µg/L)	3,41	4,93	62,76	0,01	2,64	3,00
Fe (mg/L)	1,06	7,72	24,46	3,34	1,36	1,74
Co (µg/L)	0,54	12,42	22,30	0,02	4,23	1,21
Vazões Médias (m³/s)	0,34	0,65	0,26	1,2	2,50	8,64
Fluxos Médios (t/ano)						
Cu	0,03	0,10	0,50	$3,78 \cdot 10^{-4}$	0,24	1,21
Pb	0,11	0,29	0,80	$1,51 \cdot 10^{-3}$	0,73	3,35
Ni	0,04	0,70	0,50	$1,51 \cdot 10^{-3}$	0,91	1,51
Mn	0,22	10,83	5,96	0,03	29,73	42,57
Cr	0,04	0,10	0,51	$3,78 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,82
Fe	11,37	158,25	200,56	126,40	107,22	474,1
Co	0,01	0,25	0,18	$7,57 \cdot 10^{-4}$	0,33	0,33

A partir dos resultados obtidos verificou-se que no ponto 3 (Arroio Capão da Roça), embora receba maior influência das atividades de mineração de carvão, o fluxo de metais foi significativamente menor do que para o ponto 6 (foz do Arroio do Conde). Entretanto, estes resultados estão refletindo o peso das vazões no cálculo dos fluxos (Laybauer, 1995; Hatje, 1996). Sendo assim, visando minimizar os efeitos da vazão, foram calculados os fluxos médios específicos para cada ponto de amostragem (Tabela 21).

Tabela 21: Fluxos médios e fluxos médios específicos de metais determinados em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde – período: maio/94 à novembro/95, setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98.

Fluxos Médios (t/ano)	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Cu	0,03	0,10	0,50	$3,78.10^{-4}$	0,24	1,21
Pb	0,11	0,29	0,80	$1,51.10^{-3}$	0,73	3,35
Ni	0,04	0,70	0,50	$1,51.10^{-3}$	0,91	1,51
Mn	0,22	10,83	5,96	0,03	29,73	42,57
Cr	0,04	0,10	0,51	$3,78.10^{-4}$	0,21	0,82
Fe	11,37	158,25	200,56	126,40	107,22	474,1
Co	0,01	0,25	0,18	$7,57.10^{-4}$	0,33	0,33
Área (km²)	18,6	35,0	9,7	49,8	190,0	361,8
Fluxos Médios Específicos [t/km².ano]						
Cu	$1,61.10^{-3}$	$2,86.10^{-3}$	0,051	$7,59.10^{-6}$	$1,26.10^{-3}$	$3,34.10^{-3}$
Pb	$5,91.10^{-3}$	$8,29.10^{-3}$	0,082	$3,03.10^{-5}$	$3,84.10^{-3}$	$9,26.10^{-3}$
Ni	$2,15.10^{-3}$	0,02	0,051	$3,03.10^{-5}$	$4,80.10^{-3}$	$4,17.10^{-3}$
Mn	0,012	0,31	0,61	$6,02.10^{-4}$	0,16	0,12
Cr	$2,15.10^{-3}$	$2,86.10^{-3}$	0,053	$7,59.10^{-6}$	$1,11.10^{-3}$	$2,27.10^{-3}$
Fe	0,61	4,52	20,68	2,54	0,56	1,31
Co	$5,38.10^{-4}$	$7,14.10^{-3}$	0,02	$1,52.10^{-5}$	$1,74.10^{-3}$	$9,12.10^{-4}$

De acordo com os resultados quantitativos obtidos para os elementos metálicos, é possível verificar que o ponto 3 apresentou fluxos médios específicos mais elevados para todos os elementos analisados. Entretanto, a carga proveniente desse ponto não contribuiu para o incremento dos elementos no Arroio do Conde (ponto 6, afluente do rio Jacuí), provavelmente em função dos seguintes fatores: i. determinados metais ficam retidos no sedimento, como é o caso do Ni e Co, não sendo liberados para a coluna d'água através das alterações físicas e químicas (ver sub-item 4.1.3); ii. retenção dos metais podem ter ocorrido pela vegetação local; iii. baixa mobilidade de determinados elementos, como Cr e Fe; iv. distância entre os pontos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

A técnica de Análise Fatorial utilizada na elaboração do Índice de Poluição – IP, como ferramenta de integração dos resultados referentes aos parâmetros que caracterizaram a influência antrópica proveniente das atividades de mineração de carvão, permitiu identificar o Arroio do Conde (ponto 2) e o Arroio Capão da Roça (ponto 3) como sendo os locais mais atingidos por essas atividades. O valor médio do conteúdo total para os elementos metálicos analisados, foi mais significativo para o ponto 3. Isto foi constatado pelo fluxo de transferência de metais, pelo fato de ter sido mais elevado para todos os elementos.

Mediante a extração total aplicada aos sedimentos de corrente, foi constatado um aumento gradual de montante para jusante para os elementos Cu, Ni e Zn. Concentrações elevadas de Mn, Cd e Co foram verificadas nos pontos 5 e 6 e de Fe e Cr para os pontos 2 e 3. Esses resultados apresentaram certa concordância com aqueles obtidos no cálculo do Fator de Enriquecimento, onde os sedimentos dos pontos 5 e 6 revelaram enriquecimento moderado para os elementos Co, Cu, Zn, Cd, Ni e Fe. O Mn apresentou enriquecimento moderado e considerável nos pontos 5 e 6, respectivamente. No Arroio do Conde (ponto 5) foi registrado enriquecimento moderado para o Cr.

O índice de geoacumulação – Igeo, revelou que não há acumulação de metais nos pontos que sofrem maior influência antrópica proveniente do carvão (pontos 2 e 3). O valor médio do Igeo obtido para os metais Cu, Co, Ni, Fe, Mn e Zn variou apenas de pouco poluído a moderado nos locais a jusante das fontes antropogênicas (pontos 5 e 6).

A partir da análise estatística (Funções Discriminantes Canônicas) aplicada aos dados de sedimentos de corrente, foi possível verificar que os elementos metálicos Ni, Co e Zn, representados pela primeira Função Canônica (FC1), foram mais evidenciados nos locais a jusante das fontes de contaminação por carvão. As variáveis Carbono_{total} e Enxofre_{total}, representadas pela segunda Função Canônica

(FC2), caracterizaram o local mais próximo da influência antrópica oriunda das atividades de mineração de carvão (ponto 3).

De forma geral, a partir dos dados disponíveis, conclui-se que as atividades de mineração assim como os depósitos de rejeitos e cinzas de carvão, não estão causando uma poluição generalizada na bacia do Arroio do Conde, observou-se apenas uma influência antrópica local.

5.2. Recomendações

As recomendações a seguir visam otimizar o estudo realizado na bacia do Arroio do Conde:

- 1- Acrescentar a determinação de metais dissolvidos na caracterização de águas superficiais, com o objetivo de avaliar a disponibilidade dos metais no meio hídrico.
- 2- Determinar em águas superficiais a presença de elementos maiores, tendo em vista os valores de sólidos totais dissolvidos e condutividade serem definidos por esses elementos.
- 3- Realizar a medição de vazão em áreas em que este parâmetro não foi estimado.
- 4- Aplicar o método de extração parcial aos sedimentos de corrente, para a obtenção da fração metálica disponível.
- 5- Realizar o estudo biológico, visando o conhecimento do nível de agentes contaminantes provenientes das atividades de mineração de carvão incorporado ao sistema trófico.

- 6- Incluir parâmetros indicativos da presença de constituintes dos defensivos agrícolas em águas superficiais e sedimentos de corrente, tendo em vista a agricultura, além da mineração de carvão, ser uma das principais atividades existentes na bacia do Arroio do Conde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores: ABNT-NBR 9898. 1987. 34p.
- ANDREAZZA, A.M.P. Contribuição à gestão ambiental da bacia do arroio do Conde/RS, com ênfase na qualidade das águas superficiais. Porto Alegre, 1997. 184p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Curso de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the examination of water and wastewater. A.D. Eaton, L.S. Clesceri and A.E. Greenberg (Editors), 1992. 18th edition.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard test methods for instrumental determination of carbon, hydrogen and nitrogen in laboratory samples of coal and coke: D-5373-93. ASTM, West Conshohocken, 05.05., 1996. p.453 – 456.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard test methods for sulfur in the analysis sample coal and coke, using high temperature tubular furnace combustion methods: D-4239-94. ASTM, West Conshohocken, 05.05., 1996. p.360 – 368.
- BARTTLET, M.S. Factor Analysis in Psychology as a Statistician Sees it. New York: John Wiley & Sons, 1962. In: Haase, J. e Possoli, S. Estudo da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade da água: comparação entre dois regimes hidrológicos diferentes, RS. Acta Limnológica Brasiliensia, 1993, v. 6, p. 245 – 255., e Vecchio, G.R. et al. Estudo de um índice de qualidade da água na região do Baixo Jacuí, RS. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, III e SIMPÓSIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DO MERCOSUL, 9, I Gramado. Resumos. ABES/ANDIS, 1996. 13 p.

- BINOTTO, R.B. Avaliação do grau de contaminação das águas subterrâneas em áreas de influência de resíduos do processamento do carvão. Porto Alegre, 1997. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS.
- BOWEN, H.J.M. Environmental chemistry of the elements. NY: Academic Press, 1979. 333 p.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resoluções CONAMA 1984-1991. Brasília, 1992. 4ª ed.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. Projeto borda leste da bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. Relatório final, 1986. v. 1.
- ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Interciência/FINEP, Rio de Janeiro, 1988. 575 p.
- FACHEL, J.M.G. Análise Fatorial. São Paulo, 1976. 84p. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo.
- FERRARO, L.W.; HASENACK, H. Avaliação das variáveis climáticas de superfície do Baixo Jacuí, RS. Progress Report – 06/1995. Projeto PADCT/CIAMB – Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS/CENECO, 1995. 23 p.
- FIEDLER, H.; SOLARI, J. Caracterização do impacto ambiental da mina de Candiota sobre as águas superficiais da região. In: XIII Encontro NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 13, São Paulo, 1988. p. 483 – 498.

- FÖRSTNER, U. Cumulative phases for heavy metals in limnic systems. *Hydrobiologia*, 91, 1982. p.299 – 313.
- FÖRSTNER, U. Contaminated sediments: lecture notes in earth sciences. Edited by Somdev Bhattacharji, 1989. 157 p.
- FÖRSTNER, U.; SALOMONS, W. Trace metal analysis on polluted sediments, part I: assessment of sources and intensities. *Environmental Technology Letters*, 1, 1980. p.494 – 505.
- FÖRSTNER, U.; SCHOER, J. Some typical examples of the importance of the role of sediments in the propagation and accumulation of pollutants. In. *SEDIMENTS AND POLLUTION IN WATERWAYS*. General considerations. IAEA-TECDO – 302, 1984. 158 p.
- FÖRSTNER, U.; WITTMAN G. Metal pollution in the aquatic environment: New York, Springer – Verlag, 1981. 486 p.
- GROOT, A.J.; ZSCHUPPE, K.H.; SALOMONS, W. Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments. *Hydrobiologia* 92, 1982. p.689 – 695.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. *Multivariate data analysis*. 5th edition. Upper Saddle River, New Jersey, 1998. 730p.
- HAKANSON, L. An. Ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 4. 1980. p. 975 – 1001.
- HATJE, V. Contaminação por metais pesados no rio dos Sinos – RS: uma nova abordagem dinâmica a partir de balanços de massa. Rio de Janeiro, 1996. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense.

- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, v. 33. Folha SH – 22 – Porto Alegre e parte das folhas SH – 21 Uruguaiana e SI – 22 Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p., 6 mapas.
- KIM, J.O. Factor Analysis. In: Nie, N.H. et al., SPSS: statistical package for the social sciences. New York: Mc Gra Hill, 1975. p.467 – 514.
- LAYBAUER, L. Análise da transferência de metais pesados em águas e sedimentos fluviais na região das Minas do Camaquã, RS. Porto Alegre, 1995. 164p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS.
- LORING, D.H.; ASMUND, G. Geochemical factors controlling accumulation of major and trace elements in Greenland coastal and fjord sediments. Springer – Verlag. Environmental Geology, v.28, n.1, July 1996. p. 2 – 11.
- MACHADO, J.L.F.; PERUFFO, N.; LUNA, J.E.S. Projeto Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Subterrâneos Decorrente da Extração do Carvão Mineral. Relatório final, CPRM, 1984. v. 1. 301p.
- MOORE, J.N.; BROOK,E.; JOHNS, C. Grain size partitioning of metals in contaminated coarse-grained river Floodplain sediment: Clark Fork River, Montana, USA, Envir. Geol. Water Sci. v. 14, n.2, 1989. p.107 – 115.
- PIRES, M.; TEIXEIRA, E.C. Distribuição geoquímica dos elementos traço no carvão de Leão, RS. Geochim. Brasil., 5, 1991. p. 45-52.
- PIRES, M.; TEIXEIRA, E.C. Geochemical distribution of trace elements in Leão coal, Brazil. Fuel, n. 71, 1992. p.1093 – 1096.

- PROHIC, E.; JURACIC, M. Heavy metals in sediments – Problems concerning determination of the anthropogenic influence. Study in the Krka river estuary, Eastern Adriatic Coast, Yugoslavia. *Environ. Geol. Water Sci.*, v.13, n.2, 1989. p. 145-151.
- RAASK, E. The mode of occurrence and concentration of trace elements in coal. *Prog. Energy Combust. Sci.* n. 5, 1985. p.1 – 29.
- SALOMONS, W. Non – linear and delayed responses of toxic chemicals in the environment. In: F. Arent; G.J. Annokkee; R. Bosman and W.J. Van den Brink (editors). *Contaminated Soil 93*. Kluwer Publishers, 1993. p.225 – 238.
- SALOMONS, W. *Envir. Impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention*. *J. Geochim. Exploration*. n.52, 1995. p.5 – 23.
- SANCHEZ, J.C.D.; FORMOSO, M.L.L. *Utilização do carvão e meio ambiente*. Porto Alegre; CIENTEC, 1991. 34 p. (Boletim Técnico, 20)
- SANCHEZ, J. D. C. Estudos da concentração e da mobilidade dos elementos metálicos nas cinzas da usina termoelétrica de Candiota. *Geochim. Brasil.*, v.8, n.1, 1994. p. 41 – 50.
- SCHNEIDER, R.L. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: XXVIII CONG. BRAS. GEOL. Porto Alegre, 1974. p.41-67.
- SCHNEIDER, P.; KÄMPF, N.; GIASSON, E. Solos da bacia carbonífera do baixo Jacuí/RS. Subprojeto 2.1.1. PADCT/CIAMB – CNPq 0233.92. Porto Alegre, 1996. 51 p. 1 mapa. (Não publicado).
- SCHUBERT, J.P. Groundwater contamination problems resulting from coal refuse disposal. In, *Proceedings of the First International Mine Drainage Symposium*. Ed. Miller Freeman Publ., São Francisco, EUA, 1979. p. 757 – 780.

- SIGG, L. Metal Transfer Mechanism in Lakes: The Role of Settling Particles. In: STUMM, W. Chemical Processes in Lakes. New York: Wiley – Interscience, 1985. p. 283 – 318.
- TEIXEIRA, E.C. Geochemical distribution of metallic in the mineral matter of Brazilian coals. Environ. Technol. 15, 1994. p.989 – 996.
- TEIXEIRA, E.C.; SAMAMA, J.; BRUN, A. Study of different leaching methods of metallic elements from coal fly ash. Environmental Technology, v.13, n.12, 1992a. p.1187 – 1192.
- TEIXEIRA, E.C.; SANCHEZ, J.C.D. Avaliação da poluição hídrica e atmosférica em áreas de mineração e utilização de carvão do baixo Jacuí, RS. Relatório final, FEPAM. Conv. n. 65.93.0322.00. Porto Alegre, 1998. 180 p.
- TRAVASSOS, M. P. Gestão em poluição ambiental: caso da poluição por metais pesados na bacia do rio Caí – RS. Niterói, 1994. 191p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós – Graduação em Geoquímica da Universidade Federal Fluminense.
- VECCHIO, G.R. Estudo de um índice de qualidade da água na região do baixo Jacuí – RS. 3º SIMPÓSIO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1996, Gramado, RS. 1º SIMPÓSIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DO MERCOSUL, 1996, Gramado, RS. 1ª MOSTRA SUL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1996, Gramado, RS. ANDIS/SABES, 1996. Seção vi – 030. p. 01-13.
- WILLIAMS, E.G. Factors controlling the generation of acid mine drainage. Report to the United States Bureau of Mines, 1982.

ANEXOS

Concentração de sulfato (mg/L) determinada em amostras de águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante os períodos de maio/94 à novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e setembro à dezembro/97 (dados primários).

Pontos	Maio 1994	Junho 1994	Julho 1994	Agosto 1994	Set. 1994	Out. 1994	Nov. 1994	Dez. 1994	Jan. 1995	Fev. 1995	Mar. 1995	Abril 1995	Maio 1995	Junho 1995	Julho 1995	Agosto 1995	Set. 1995	Out. 1995	Nov. 1995
Ponto 1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-	7,4	7,0	7,0	**	9,2	7,4	6,6
Ponto 2	113,0	94,0	53,0	13,8	83,0	248,0	114,0	232,0	280,0	316,0	168,0	210,0	168,0	154,0	46,0	92,0	78,0	93,0	196,0
Ponto 3	127,0	88,0	35,5	55,0	60,1	118,0	94,0	140,0	412,0	600,0	228,0	270,0	700,0	192,0	46,0	64,5	49,0	66,0	690,0
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 5	9,0	50,8	38,0	40,0	85,1	122,0	11,4	90,0	81,0	63,0	109,0	108,0	110,0	171,0	81,0	56,0	59,0	70,0	226,0
Ponto 6	44,0	26,0	20,4	21,4	42,2	**	52,0	55,5	25,0	46,0	57,0	51,0	67,0	42,0	54,0	7,0	46,0	44,5	32,6

Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997
Ponto 1	**	**	41,5	40,5
Ponto 2	129,0	59,5	99,0	165,5
Ponto 3	106,0	**	50,5	156,0
Ponto 4	67,0	41,5	137,0	269,0
Ponto 5	57,0	57,5	69,0	167,0
Ponto 6	31,0	**	31,0	57,0

** Abaixo do limite de detecção - Não analisado

pH obtido em amostras de águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante os períodos de maio/94 à novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998), setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98 (dados primários).

Pontos	Maio 1994	Junho 1994	Julho 1994	Agosto 1994	Set. 1994	Out. 1994	Nov. 1994	Dez. 1994	Jan. 1995	Fev. 1995	Mar. 1995	Abril 1995	Maio 1995	Junho 1995	Julho 1995	Agosto 1995	Set. 1995	Out. 1995	Nov. 1995
Ponto 1	-	7,0	6,9	6,9	6,6	7,1	6,9	6,9	6,9	7,2	7,4	6,2	6,2	6,4	7,0	7,4	5,9	6,1	6,2
Ponto 2	5,2	4,3	4,9	6,2	3,9	4,2	6,3	6,2	6,1	5,7	5,7	4,3	5,4	5,2	5,2	6,4	4,6	4,9	4,6
Ponto 3	6,6	6,1	6,0	6,6	6,6	7,1	6,8	7,1	6,9	7,0	7,1	6,0	6,1	6,6	6,2	7,1	6,3	6,8	5,7
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 5	6,4	6,1	6,1	6,8	6,4	6,6	6,9	7,2	6,9	7,3	7,1	5,9	6,2	6,1	5,6	5,9	5,2	6,0	7,1
Ponto 6	6,6	6,4	6,7	6,8	6,3	7,1	6,8	7,1	6,9	6,9	7,3	6,1	6,8	6,4	7,0	7,1	5,6	6,2	7,2

Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997	Jan. 1998	Fev. 1998	Mar. 1998	Abr. 1998	Jun. 1998
Ponto 1	6,2	5,4	6,1	6,6	6,5	7,0	5,7	7,0	5,7
Ponto 2	4,3	4,4	4,6	4,3	5,5	4,5	5,2	4,5	5,2
Ponto 3	6,4	5,6	6,2	7,0	6,0	7,4	6,2	6,0	6,2
Ponto 4	6,2	4,4	4,7	5,6	6,5	4,8	6,4	6,5	6,4
Ponto 5	5,9	4,6	5,6	5,8	6,5	7,0	5,9	6,5	5,9
Ponto 6	5,7	6,0	6,0	6,2	6,5	6,9	7,2	6,5	7,2

Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997	Jan. 1998	Fev. 1998	Mar. 1998	Abr. 1998	Jun. 1998
Ponto 1	6,2	5,4	6,1	6,6	6,5	7,0	5,7	7,0	5,7
Ponto 2	4,3	4,4	4,6	4,3	5,5	4,5	5,2	4,5	5,2
Ponto 3	6,4	5,6	6,2	7,0	6,0	7,4	6,2	6,0	6,2
Ponto 4	6,2	4,4	4,7	5,6	6,5	4,8	6,4	6,5	6,4
Ponto 5	5,9	4,6	5,6	5,8	6,5	7,0	5,9	6,5	5,9
Ponto 6	5,7	6,0	6,0	6,2	6,5	6,9	7,2	6,5	7,2

- Não analisado

Turbidez (UNT) obtida em amostras de águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante os períodos de maio/94 à novembro o/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98 (dados primários).

Pontos	Maio 1994		Junho 1994		Julho 1994		Agosto 1994		Set. 1994		Out. 1994		Nov. 1994		Dez. 1994		Jan. 1995		Fev. 1995		Mar. 1995		Abril 1995		Maio 1995		Junho 1995		Julho 1995		Agosto 1995		Set. 1995		Out. 1995		Nov. 1995											
	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994								
Ponto 1	-	20,0	43,1	22,5	30,6	13,8	17,0	12,2	10,3	11,4	14,3	11,7	19,0	14,3	82,2	20,7	38,7	19,9	13,5																													
Ponto 2	24,0	36,0	133,0	90,4	75,4	77,7	61,9	16,2	17,6	10,4	44,3	31,8	52,4	27,2	756,0	44,3	138,0	36,3	30,1																													
Ponto 3	23,0	84,0	133,0	430,0	183,0	183,0	837,0	33,5	77770,0	21300,0	4530,0	769,0	3600,0	18900,0	451,0	3570,0	5760,0	8680,0	317,0																													
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																													
Ponto 5	18,0	15,0	47,6	31,3	49,1	13,4	41,2	17,7	14,5	14,6	10,8	21,5	16,3	5,7	110,0	29,2	131,0	12,7																														
Ponto 6	18,0	35,0	42,9	55,7	20,1	41,3	38,6	36,4	27,9	23,2	16,7	16,9	38,2	17,2	32,6	58,1	67,1	31,9																														
Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997	Fev. 1998	Abr. 1998	Jun. 1998																																									
Ponto 1	18,7	43,3	21,5	13,5	26,1	15,0	18,0																																									
Ponto 2	28,9	50,1	43,8	18,8	286,0	32,0	-																																									
Ponto 3	3760,0	2370,0	42,0	454,7	876,0	27,4	-																																									
Ponto 4	10,9	73,7	37,6	8,3	47,9	30,0	18,0																																									
Ponto 5	17,9	53,6	37,8	43,7	37,1	38,0	17,0																																									
Ponto 6	-	28,0	51,7	39,9	27,0	18,8	23,0																																									

- Não analisado

Concentração de oxigênio dissolvido (mgO₂/L) determinada em amostras de águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante aos períodos de maio/94 à novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998), setembro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98 (dados primários).

Pontos	Maio 1994		Junho 1994		Julho 1994		Agosto 1994		Set. 1994		Out. 1994		Nov. 1994		Dez. 1994		Jan. 1995		Fev. 1995		Mar. 1995		Abril 1995		Maio 1995		Junho 1995		Julho 1995		Agosto 1995		Set. 1995		Out. 1995		Nov. 1995													
	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994										
Ponto 1	-	8,7	9,8	10,4	9,8	10,8	9,2	7,4	7,4	8,6	9,2	8,5	8,5	10,4	9,6	9,5	9,1	7,6																																
Ponto 2	8,1	8,3	9,4	9,6	9,2	6,5	8,6	7,0	6,8	8,0	7,2	8,0	8,2	10,4	9,0	10,4	8,3	7,6																																
Ponto 3	7,8	6,7	9,8	10,0	8,8	6,7	8,2	7,5	7,3	7,4	6,6	7,0	8,2	8,4	9,2	10,0	9,5	6,6																																
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																															
Ponto 5	7,4	6,9	9,8	10,2	8,4	7,3	7,2	7,5	4,2	6,2	7,6	8,5	8,8	10,4	9,0	9,7	9,4	7,3																																
Ponto 6	6,2	6,0	8,4	7,8	8,4	7,2	6,2	8,5	6,2	7,4	7,5	7,8	7,6	10,4	8,5	7,0	8,0	7,9																																
Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997	Fev. 1998	Abr. 1998	Jun. 1998																																											
Ponto 1	9,8	9,3	9,4	8,2	8,0	9,1	10,4																																											
Ponto 2	8,6	8,5	9,7	6,2	6,6	8,1	10,2																																											
Ponto 3	8,0	7,7	7,8	7,9	6,5	8,7	10,6																																											
Ponto 4	10,0	8,3	8,6	7,1	7,4	8,0	8,2																																											
Ponto 5	8,9	8,0	7,7	6,5	6,6	8,5	6,7																																											
Ponto 6	7,1	7,2	5,8	5,7	5,3	7,8	6,1																																											

- Não analisado

Vazão (m³/s) determinada em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante os períodos de maio/94 à novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998), outubro à dezembro/97 e nos meses de fevereiro, abril e junho/98 (dados primários).

Pontos	Maio 1994	Junho 1994	Julho 1994	Agosto 1994	Set. 1994	Out. 1994	Nov. 1994	Dez. 1994	Jan. 1995	Fev. 1995	Mar. 1995	Abril 1995	Maio 1995	Junho 1995	Julho 1995	Agosto 1995	Set. 1995	Out. 1995	Nov. 1995
Ponto 1	-	0,4	1,2	0,5	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,4	0,6	0,3	0,1
Ponto 2	0,2	0,4	1,2	0,8	0,7	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	4,1	0,5	1,5	0,4	0,1
Ponto 3	0,1	0,2	0,7	0,2	0,2	-	0,1	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,6	0,1	0,02
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 5	1,8	-	-	-	2,4	0,6	-	0,6	-	-	-	1,0	0,6	0,3	-	-	-	-	0,3
Ponto 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pontos	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997	Fev. 1998	Abr. 1998	Jun. 1998
Ponto 1	*0,9	*0,6	*0,1	*0,7	*0,2	*0,2
Ponto 2	*1,8	*1,1	*0,1	*1,4	*0,4	*0,3
Ponto 3	0,7	0,2	0,02	0,6	0,1	0,2
Ponto 4	2,7	1,4	0,2	1,9	0,5	0,6
Ponto 5	*9,5	*5,7	*0,8	*7,6	*1,9	*1,9
Ponto 6	*18,1	*10,9	*1,5	*14,5	*3,6	*3,3

*Valores estimados a partir das vazões obtidas no ponto 4. - Não determinado

Potencial Redox (mV) determinado em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante os períodos de novembro/94 à novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e setembro à dezembro/97 (dados primários).

Pontos	Nov. 1994	Dez. 1994	Jan. 1995	Fev. 1995	Mar. 1995	Abril 1995	Maio 1995	Junho 1995	Julho 1995	Agosto 1995	Set. 1995	Out. 1995	Nov. 1995
Ponto 1	301,3	142,5	276,0	135,0	123,0	147,0	137,0	368,0	479,0	260,0	218,0	151,0	96,0
Ponto 2	469,0	391,3	413,0	426,5	338,0	297,0	184,0	521,0	341,0	335,0	275,0	280,0	295,0
Ponto 3	275,0	-47,0	139,7	136,0	-2,0	-37,0	103,0	386,0	184,0	191,0	140,0	164,0	15,0
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 5	363,0	295,5	334,0	273,0	113,0	166,0	182,0	260,0	299,0	330,0	236,0	184,0	118,0
Ponto 6	311,0	237,0	179,0	196,0	229,0	150,0	251,0	225,0	259,0	146,0	270,0	250,0	166,0

- Não analisado

Concentração de ion ferroso (mg/L) determinado em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante os períodos de novembro/94 à novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e setembro à dezembro/97 (dados primários).

Pontos	Nov. 1994	Dez. 1994	Jan. 1995	Fev. 1995	Mar. 1995	Abril 1995	Mai 1995	Junho 1995	Julho 1995	Agosto 1995	Set. 1995	Out. 1995	Nov. 1995
Ponto 1	0,12	0,16	0,19	0,15	0,09	0,26	0,17	0,08	0,28	0,17	0,20	0,15	0,22
Ponto 2	0,78	0,19	0,24	3,35	0,96	10,48	9,50	0,00	0,88	5,28	2,38	3,90	8,09
Ponto 3	0,36	0,68	25,30	69,38	14,34	9,65	27,30	33,13	0,36	6,48	5,56	10,28	26,46
Ponto 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,22	0,38	0,23	0,10
Ponto 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997
Ponto 1	0,02	0,04	0,38	0,67
Ponto 2	3,04	0,51	1,59	2,31
Ponto 3	1,31	3,78	0,45	3,09
Ponto 4	0,18	0,45	0,20	0,54
Ponto 5	**	0,44	0,13	0,59
Ponto 6	0,06	0,44	0,59	0,29

** Abaixo do limite de detecção - Não analisado

Concentração da DQO (mg/L) determinada em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde durante os meses de fevereiro à abril/95, junho à agosto/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e setembro à dezembro/97 (dados primários).

Pontos	Fev. 1995	Mar. 1995	Abril 1995	Junho 1995	Julho 1995	Agosto 1995
Ponto 1	2,0	2,0	8,0	7,0	**	**
Ponto 2	10,0	6,0	4,0	10,0	38,2	10,7
Ponto 3	10600,0	-	4850,0	16200,0	263,0	954,0
Ponto 4	-	-	-	-	-	-
Ponto 5	18,0	7,0	4,0	3,0	**	**
Ponto 6	13,0	45,0	17,0	17,0	**	**

Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997
Ponto 1	-	-	-	-
Ponto 2	15,0	26,0	14,0	8,0
Ponto 3	226,0	932,0	13,0	159,0
Ponto 4	-	-	-	-
Ponto 5	-	-	-	-
Ponto 6	-	-	-	-

** Abaixo do limite de detecção - Não analisado

Concentração da matéria orgânica (mgO_2/L) determinada em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde nos meses de julho e agosto/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e no período de setembro à dezembro/97 (dados primários).

Pontos	Julho 1995	Agosto 1995	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997
Ponto 1	7,6	2,8	2,1	7,6	5,9	3,8
Ponto 2	27,6	3,5	2,4	8,1	6,9	3,5
Ponto 3	46,2	402,0	563,2	238,7	5,1	53,3
Ponto 4	-	-	1,5	6,9	5,1	2,9
Ponto 5	2,7	3,8	1,7	7,4	6,4	6,7
Ponto 6	-	-	4,1	5,7	6,1	6,2

- Não analisado

Concentração de partículas em suspensão (mgO_2/L) determinada em águas superficiais da bacia do Arroio do Conde, durante o período de setembro à dezembro/97 (dados primários).

Pontos	Set. 1997	Out. 1997	Nov. 1997	Dez. 1997
Ponto 1	10,0	7,0	33,0	0,5
Ponto 2	74,5	247,0	51,8	5,5
Ponto 3	11100,0	1580,0	18,3	142,5
Ponto 4	40,0	166,0	57,0	11,5
Ponto 5	33,0	38,0	27,0	37,5
Ponto 6	45,0	24,0	22,8	12,8

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em maio/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	-	-	-	-	-	-
2	16,50	4,25	10,20	51,00	536,50	4,00	3,42
3	3,50	2,50	9,70	45,75	574,00	12,25	4,49
4	-	-	-	-	-	-	-
5	3,00	6,75	12,00	16,25	334,00	1,50	0,47
6	2,75	4,75	13,00	14,50	339,00	3,00	0,86

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em junho/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	2,25	2,50	10,20	12,00	18,00	3,75	0,40
2	12,25	2,50	9,70	52,50	465,00	2,50	3,60
3	16,50	11,50	18,00	55,50	456,00	14,75	8,18
4	-	-	-	-	-	-	-
5	5,50	2,50	10,50	19,50	193,00	-	0,78
6	2,50	5,00	11,50	14,50	55,50	3,00	1,13

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em julho/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	4,50	11,00	19,50	16,50	4,00	0,62
2	11,50	5,50	9,70	47,75	255,00	-	3,33
3	6,00	8,50	17,00	46,00	190,00	15,00	3,15
4	-	-	-	-	-	-	-
5	3,50	5,00	8,50	21,00	110,00	5,50	0,76
6	-	3,75	8,25	16,25	32,00	4,25	0,94

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em agosto/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	-	6,20	14,50	14,00	1,75	0,35
2	4,50	-	5,00	37,50	169,50	2,50	3,85
3	12,00	-	-	-	487,50	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2,50	2,50	7,00	18,00	100,00	1,50	0,37
6	-	2,50	8,75	11,00	44,50	4,00	1,08

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em setembro/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	2,50	7,00	7,00	43,00	2,00	0,80
2	9,25	4,50	8,50	35,25	289,50	7,50	4,76
3	11,00	-	8,20	53,75	388,50	15,25	7,26
4	-	-	-	-	-	-	-
5	5,00	4,50	9,00	18,25	381,50	4,50	1,68
6	2,00	2,50	5,50	7,00	163,50	2,50	0,82

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em outubro/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	1,50	4,50	8,25	6,50	18,25	1,00	0,96
2	19,00	7,00	7,00	121,00	1180,25	8,00	7,53
3	9,50	23,00	9,50	54,50	453,25	16,00	6,58
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2,00	4,00	13,50	11,00	543,00	4,00	0,69
6	1,50	7,00	10,25	15,50	43,25	3,00	2,51

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em novembro/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	1,50	5,50	15,70	7,50	10,00	11,25	1,16
2	17,50	6,50	15,00	32,00	560,50	6,75	8,96
3	22,75	17,20	19,70	30,00	427,50	29,50	12,51
4	-	-	-	-	-	-	-
5	7,75	5,50	18,70	10,00	280,00	5,00	2,41
6	3,50	6,75	11,20	10,00	135,00	4,00	2,25

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em dezembro/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	1,50	3,25	12,00	6,00	20,00	7,50	1,07
2	34,50	15,00	9,75	71,00	1050,00	5,00	10,27
3	15,70	6,50	7,50	40,20	800,00	4,50	5,50
4	-	-	-	-	-	-	-
5	3,50	4,25	15,00	9,50	555,00	4,00	1,33
6	1,50	3,50	63,50	6,00	225,00	5,75	2,77

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em janeiro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,75	3,04	9,35	1,41	28,28	0,65	1,14
2	18,00	5,28	11,72	38,50	821,85	3,15	7,47
3	60,00	15,20	-	46,00	1140,00	251,00	97,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2,52	2,72	5,75	4,05	623,40	0,84	1,58
6	1,28	2,68	7,92	3,14	120,65	1,40	2,09

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em fevereiro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	4,32	10,00	0,42	17,75	1,70	0,68
2	23,60	4,46	11,20	50,00	1072,00	3,16	6,06
3	50,00	169,00	195,00	121,00	2408,00	155,00	99,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2,43	3,04	3,66	4,74	464,76	1,16	1,03
6	0,42	2,94	7,05	3,22	217,00	2,37	1,27

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em março/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,12	1,74	4,05	0,42	20,30	0,74	1,29
2	15,00	3,10	8,36	25,00	700,00	1,18	10,84
3	15,45	118,00	108,00	37,70	500,00	55,50	15,77
4	-	-	-	-	-	-	-
5	9,45	1,34	5,46	12,00	492,00	0,95	0,99
6	1,76	28,40	9,00	3,72	332,00	1,68	1,26

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em abril/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,30	1,01	5,70	0,63	11,60	5,85	0,93
2	16,00	3,64	12,60	29,50	758,00	6,52	12,90
3	17,40	147,50	108,00	53,00	896,00	109,50	37,02
4	-	-	-	-	-	-	-
5	7,14	3,34	8,42	9,40	539,00	5,88	1,28
6	1,20	3,96	6,72	2,12	154,10	5,30	1,05

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em maio/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,33	2,20	5,58	0,75	7,91	4,80	1,08
2	14,50	3,17	11,00	21,35	631,00	5,00	11,50
3	60,80	223,00	484,00	140,00	1161,00	266,00	77,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	11,00	2,33	5,32	16,55	506,00	3,58	0,86
6	1,48	3,60	10,32	4,82	143,00	4,90	1,50

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em junho/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,27	2,00	2,20	1,50	-	5,44	0,91
2	8,48	4,18	4,33	16,50	392,00	5,25	9,00
3	95,50	295,00	562,00	270,00	2020,00	264,50	74,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	7,52	1,80	6,30	12,35	581,00	4,15	0,41
6	0,57	2,42	2,20	4,02	42,60	6,32	0,95

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em julho/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,64	3,84	21,00	1,72	27,00	8,20	2,60
2	9,60	16,40	4,55	15,30	202,00	22,50	23,00
3	7,60	13,20	73,11	15,00	326,00	24,00	12,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	7,68	3,40	12,60	10,40	356,00	5,32	1,38
6	2,34	3,60	7,40	6,38	154,00	5,82	1,30

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em agosto/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,41	2,54	19,45	1,26	15,00	3,40	0,87
2	10,30	4,11	9,82	19,20	387,00	4,38	7,00
3	14,77	35,18	92,02	37,10	431,25	65,22	14,59
4	-	-	-	-	-	-	-
5	5,19	3,74	5,55	9,70	184,00	3,30	1,44
6	-	3,11	3,25	0,44	-	2,02	-

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em setembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,70	3,50	11,82	1,90	24,00	4,57	1,56
2	10,60	6,00	13,92	20,50	306,00	9,65	8,42
3	18,90	60,04	116,40	65,51	471,00	90,20	19,05
4	-	-	-	-	-	-	-
5	5,40	4,80	4,58	9,20	313,00	6,90	3,46
6	2,02	8,20	5,32	6,00	186,00	6,02	2,08

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em outubro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	1,24	10,10	0,80	37,50	3,43	1,22
2	11,62	2,11	11,90	17,00	370,50	1,27	6,50
3	30,00	116,50	156,40	89,81	674,05	121,30	27,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	6,15	6,00	14,92	7,78	283,00	2,97	1,56
6	1,87	4,08	11,65	3,76	153,40	3,41	2,50

- Não analisado

Dados brutos referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em novembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	-	0,68	7,71	1,59	12,50	2,09	0,96
2	14,25	1,54	13,11	29,42	641,00	3,01	9,21
3	67,50	23,08	32,35	156,00	2904,00	7,48	28,00
4	-	-	-	-	-	-	-
5	8,38	2,10	7,84	16,45	743,00	2,32	0,79
6	1,36	3,34	13,78	1,83	189,00	3,88	2,80

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em setembro/97.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	0,00	6,00	0,01	18,00	5,00	1,23
2	10,50	0,00	24,00	27,00	510,00	5,00	6,14
3	32,00	121,00	208,00	62,00	553,00	39,00	26,12
4	-	0,00	0,13	0,01	0,53	-	1,56
5	-	-	-	-	-	-	-
6	0,01	0,00	22,00	0,00	264,00	0,00	2,11

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em outubro/97.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	6,00	24,00	0,01	22,50	0,00	1,52
2	14,00	6,00	32,00	23,00	373,00	0,00	5,19
3	0,01	32,00	0,01	18,00	206,00	0,00	3,59
4	-	0,00	0,02	0,05	0,51	-	2,45
5	0,01	3,00	0,01	11,00	319,00	0,00	1,90
6	0,01	0,00	12,00	0,01	78,00	0,00	2,61

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em novembro/97.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	0,00	12,00	0,01	21,00	0,00	1,42
2	12,00	5,00	18,00	23,00	373,00	0,00	5,19
3	0,01	0,00	0,01	18,00	206,00	0,00	3,60
4	0,01	0,00	0,02	0,05	0,51	-	2,45
5	0,01	0,00	0,01	11,00	319,00	0,00	1,90
6	0,01	3,00	12,00	0,01	78,00	0,00	2,61

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em dezembro/97.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	8,00	14,00	0,01	22,00	0,00	-
2	0,01	5,00	18,00	23,00	620,00	0,00	4,54
3	0,01	12,00	34,00	24,00	437,00	0,00	11,00
4	0,02	0,01	0,02	0,03	0,44	-	1,13
5	0,01	0,00	16,00	17,00	526,00	0,00	2,21
6	0,01	0,00	16,00	0,01	195,00	0,00	2,21

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em fevereiro/98.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	0,00	10,00	0,01	22,00	4,00	1,13
2	0,01	0,00	17,00	24,00	342,00	17,00	11,20
3	13,00	14,00	44,00	17,00	179,00	13,00	6,93
4	0,01	0,04	0,02	0,03	0,49	0,01	2,27
5	0,01	4,00	10,00	13,00	319,00	0,09	1,76
6	0,01	10,00	19,00	10,00	196,00	5,00	1,74

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em abril/98.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	0,00	0,01	0,01	28,00	4,00	0,73
2	10,00	0,00	17,00	22,00	350,00	0,00	5,05
3	0,01	5,00	19,00	12,00	290,00	0,00	6,84
4	0,04	0,01	0,02	0,06	2,04	0,00	12,42
5	0,01	0,00	13,00	0,01	181,00	0,00	1,88
6	0,01	0,00	0,01	0,01	231,00	0,00	1,53

Dados brutos (primários) referentes aos metais totais em águas superficiais obtidos em junho/98.

Pontos de amostragem	Co µg/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Cr µg/L	Fe mg/L
1	0,01	0,00	15,00	0,01	19,00	0,00	0,83
2	0,01	0,00	55,00	14,00	387,00	0,00	5,66
3	0,01	0,00	15,00	0,01	314,00	0,00	5,32
4	-	-	0,02	-	0,36	-	1,13
5	0,01	0,00	19,00	0,01	183,00	0,00	1,02
6	0,01	0,00	22,00	0,01	134,00	0,00	1,50

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em outubro/92 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,64	28,10	30,00	32,50	37,20	298,00	58,10	27100,00	83,3
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	29,70	19,60	29,70	44,80	219,00	57,50	20358,00	76,52
6	-	27,50	29,50	42,10	27,70	1353,00	35,30	41904,00	82,13

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em abril/93 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,73	39,00	24,00	32,43	16,10	52,50	54,70	35000,00	54,52
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	31,50	32,40	31,0	25,7	641,00	45,70	23270,00	83,80
6	-	23,10	32,60	41,1	23,4	898,00	69,00	24013,00	83,90

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em agosto/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,32	16,20	14,50	28,80	7,14	186,00	32,90	28148,00	50,2
2	0,53	24,40	19,80	15,70	21,30	47,50	48,00	29760,00	55,34
3	0,23	46,30	20,30	25,80	26,30	139,00	46,60	25633,00	51,7
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,75	69,00	42,90	31,40	33,70	579,00	56,00	40878,00	60,4
6	0,85	62,50	30,40	35,40	46,20	990,00	59,20	42819,00	86,9

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em novembro/94 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,93	18,28	10,10	35,00	6,71	166,00	30,87	34011,00	71,63
2	1,10	25,54	17,20	42,60	16,10	53,69	44,38	34883,00	75,20
3	0,47	17,48	22,00	33,20	18,28	91,56	46,97	18366,00	77,90
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,78	63,71	28,90	38,40	35,17	770,00	33,47	39020,00	81,80
6	0,70	49,63	24,60	34,30	28,36	240,00	32,25	25598,00	79,40

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em fevereiro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,32	18,30	6,90	31,20	7,60	313,00	24,90	17178,00	55,90
2	0,53	11,90	16,80	23,80	13,30	64,40	39,20	31865,00	51,20
3	0,05	10,30	24,00	23,20	12,20	71,60	36,60	15700,00	58,70
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,45	51,10	27,20	32,80	32,00	682,00	34,20	33601,00	149,00
6	0,42	47,20	38,00	32,90	33,20	990,00	40,00	41904,00	144,00

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em maio/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,18	14,42	9,36	41,40	6,89	251,40	21,84	16954,00	47,65
2	0,38	14,30	17,25	26,90	14,37	52,10	40,74	28795,00	42,32
3	0,16	12,03	22,67	26,30	16,54	45,22	40,49	16100,00	112,40
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,76	43,51	26,85	36,10	29,56	501,40	34,51	27354,00	137,90
6	1,20	58,10	30,00	39,50	42,50	1331,00	30,94	49362,00	150,00

- Não analisado

Dados brutos referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em setembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998).

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,32	14,40	10,60	27,60	7,38	155,30	25,70	18450,00	52,30
2	0,52	14,60	16,30	16,90	14,4	63,80	43,00	39819,00	41,20
3	0,30	13,90	23,70	36,10	14,00	83,00	45,20	9027,00	73,90
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,74	41,50	27,90	36,20	35,80	279,00	40,00	23559,00	131,00
6	1,01	47,30	34,20	35,00	34,70	1198,00	48,30	42196,00	150,50

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em janeiro/97.

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	-	13,04	12,17	43,98	10,36	231,14	25,75	1984,00	63,19
2	0,14	13,21	18,61	31,92	15,04	54,23	44,50	4201,00	42,51
3	0,00	11,21	17,69	36,62	13,03	47,36	41,08	1459,00	48,86
4	0,31	32,99	28,06	46,0	25,77	210,00	33,50	3394,00	115,48
5	0,44	34,99	28,37	32,57	36,72	178,19	32,10	2316,00	154,21
6	0,43	64,55	37,16	46,17	44,51	2061,70	39,88	4528,00	205,19

- Não analisado

Dados brutos (primários) referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em outubro/97.

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,19	15,01	22,07	82,06	17,96	198,00	35,14	1965,00	67,98
2	0,14	13,71	16,61	33,34	14,86	70,61	43,12	4630,00	46,09
3	0,31	12,83	48,22	50,22	22,21	131,73	42,17	1312,00	140,13
4	0,47	17,89	24,77	51,3	23,31	208,62	33,80	3007,00	82,68
5	0,35	37,81	40,14	35,64	39,94	331,3	33,91	2778,00	153,00
6	0,39	41,71	27,34	25,95	29,34	998,27	29,63	3177,00	155,64

Dados brutos (primários) referentes a extração total de metais em sedimentos de corrente obtidos em dezembro/97.

Pontos de amostragem	Cd µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Ni µg/g	Mn µg/g	Cr µg/g	Fe µg/g	Zn µg/g
1	0,27	11,82	11,92	43,51	18,00	176,28	42,18	1940,00	57,86
2	0,33	11,75	15,54	26,90	11,93	47,63	38,60	4117,00	36,18
3	0,15	11,25	14,50	30,19	12,06	94,72	43,52	1631,00	57,59
4	0,20	22,15	22,94	39,66	21,26	146,36	34,61	2532,00	97,01
5	0,10	34,36	24,41	25,01	34,95	160,57	32,09	2343,00	134,58
6	1,36	89,89	40,80	36,96	45,45	2017,6	32,50	5087,00	287,45

Teor de carbono em amostras de sedimentos de corrente coletadas nos 6 pontos para os meses de outubro/92, abril/93, agosto/94, novembro/94, fevereiro/95, maio/95, setembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e outubro/97(dados primários).

Pontos de amostragem	Teor de Carbono %							
	Out/92	Abr/93	Ago/94	Nov/94	Fev/95	Mai/95	Set/95	Out/97
1	-	-	1,30	1,79	2,47	1,82	1,74	2,47
2	3,32	4,55	2,60	2,22	2,24	2,08	3,05	2,39
3	-	-	5,70	13,50	13,90	17,70	15,80	10,41
4	-	-	-	-	-	-	-	3,30
5	2,26	1,19	1,92	3,75	4,15	4,26	5,60	6,44
6	3,17	1,72	3,15	3,02	4,15	4,75	3,80	3,77

- Não analisado

Teor de enxofre em amostras de sedimentos de corrente coletadas nos 6 pontos para os meses de outubro/92, abril/93, agosto/94, novembro/94, fevereiro/95, maio/95, setembro/95 (Teixeira e Sanchez, 1998) e outubro/97(dados primários).

Pontos de amostragem	Teor de Enxofre %							
	Out/92	Abr/93	Ago/94	Nov/94	Fev/95	Mai/95	Set/95	Out/97
1	-	-	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
2	0,21	0,43	0,24	0,21	0,75	0,44	0,57	0,23
3	-	-	0,17	0,34	0,51	0,35	0,39	0,41
4	-	-	-	-	-	-	-	0,14
5	0,14	0,05	0,03	0,18	0,22	0,21	0,23	0,18
6	0,11	0,05	0,14	0,07	0,14	0,15	0,12	0,12

- Não analisado

Impressão:

