

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ICEB – INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
NÚCLEO PRÓ-ÁGUA**

**INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL DA REPRESA DO
CUSTÓDIO, PARQUE ESTADUAL DO
ITACOLOMI, OURO PRETO, MINAS GERAIS.**

VALTER PEREIRA

**PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

ORIENTADOR: PROF.DR. HUBERT MATHIAS PETER ROESER.

**Ouro Preto
Dezembro/2004**

**INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL DA REPRESA DO CUSTÓDIO,
PARQUE ITACOLOMI, OURO PRETO, MINAS GERAIS.**

Por

VALTER PEREIRA

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO NÚCLEO PRÓ-ÁGUA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, COMO
REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

**OURO PRETO
DEZEMBRO/2004**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TÍTULO: INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL DA REPRESA DO CUSTÓDIO,
PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI, OURO PRETO, MINAS GERAIS.

AUTOR: VALTER PEREIRA

ORIENTADOR: PROF.DR. HUBERT MATHIAS PETER ROESER.

APROVADA EM:

PRESIDENTE:

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR.HUBERT MATHIAS PETER ROESER

DEGEO
/UFOP

PROF.

ICG/UFMG

PROF. DR. JORGE CARVALHO DE LENA

DEQUI /
UFOP

Agradecimentos

A DEUS pela saúde, força e proteção.

Ao Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser pela orientação, confiança e pela ajuda para à conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Jorge Carvalho de Lena pela imensa dedicação e boa vontade na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Hermínio Nalini Jr. pelas instruções.

A Universidade Federal de Ouro Preto pela concessão da bolsa de mestrado e pelo ensino gratuito e de qualidade.

Ao Departamento de Geologia pelo apoio a realização deste trabalho.

Aos Professores do corpo docente do programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental.

A Janice, Cristina e Adriana pela colaboração.

Ao Prof. Lecino Caldeira pela amizade verdadeira, imenso apoio e incentivo.

Aos professores do Departamento de Metalurgia do CTU-UFJF pela compreensão.

Ao Reinaldo pela amizade e ajuda.

Aos meus pais, Neli e Agnaldo, por terem me educado e criado.

Aos meus irmãos, em especial a minha querida irmã Maria, que sempre abriu mão de suas realizações em prol da minha formação.

Aos meus sobrinhos (Raquel, Sara, Tiago, André, Rodrigo, Poliana e Yaponara) e cunhados.

A Dona Lia pelo carinho de sempre, e a sua família.

A república Aquarius e aos aquarianos pelo apoio e pelos momentos vividos.

Em especial a Alessandra pelo amor, carinho, ajuda e compreensão para o desenvolvimento desse trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito OBRIGADO.

Resumo

A Represa do Custódio está localizada no Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, Minas Gerais. Por estar inserida numa área de proteção ambiental e, portanto, livre da ação antropogênica, esta represa é considerada uma zona “limpa” ou seja, isenta de alterações, preservando suas características naturais. Assim, supõe-se que a concentração de certos metais e minerais, tanto em água quanto em sedimento, sofra ação apenas da decomposição litológica local, podendo a represa ser considerada como um padrão “branco” de referência para outras represas da região. Para comprovar a isenção de poluentes realizou-se pesquisa de metais em água e em sedimento (sódio, cálcio, potássio, magnésio, manganês, ferro, cromo, cobalto, níquel, cobre, cádmio, arsênio, alumínio, chumbo e zinco) e análises físico-químicas (sólidos totais dissolvidos temperatura, turbidez, alcalinidade, condutividade, Eh, OD, pH, sulfatos, e cloretos) em água. As amostras de água foram coletadas em diferentes profundidades e pontos ao longo da represa. A coleta de sedimentos foi realizada nos mesmos pontos de amostragem para água. Com o intuito de verificar a variação sazonal desses elementos na represa, coletaram-se amostras nos períodos de seca e de chuva. Para a pesquisa de metais em água e sedimento utilizou-se ICP, Absorção Atômica e Polarógrafo. Alguns parâmetros físico-químicos na água foram analisados *in loco* (OD, temperatura, Eh, condutividade, pH) e os demais em laboratório.

Os resultados obtidos mostram que para a maioria dos elementos não existe poluição. Isso justifica a consideração inicial, que a represa pode ser considerada limpa. Porém, em alguns casos, especialmente para os elementos Mn, Al, Cd, Cu e Fe foram detectados algumas poucas anomalias, que necessitam estudos futuros mais detalhados. Os teores elevados de Fe combinam com a litologia regional particular, sendo a área estudada parte do assim chamado Quadrilátero Ferreiro.

Abstract

The reservoir of Custodio is located in Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, Minas Gerais. As it is placed in a environmental protected area, free of humans actions, that reservoir is considered a “clean” place, without disturbances, preserving its natural characteristics. Therefore it can be said that the metals present in water and in sediment are from lithological source. Hence the reservoir may be considered a blank reference to other reservoirs in the region. To prove the absence of pollution, a research on metals in water and sediment (sodium, calcium, potassium, magnesium, manganese, iron, chrome, cobalt, nickel, copper, cadmium, arsenic, aluminium, lead and zinc) was carried out and physical chemical analyses (totally dissolved solids, temperature, turbidity, alkalinity, conductivity, Eh, Dissolved Oxygen, pH, sulfates and chlorides) in water. The water samples were collected in different depths and places around the reservoir. The sediment sampling was carried out in the same stations where water was also collected. With the purpose to check seasonal variation of the concentrations of those elements, the samples were collected during dry and rainy seasons. Metals were analyzed by ICP-OES, Flame Atomic Absorption and Polarography. Some physical chemical parameters were measured in loco (OD, temperature, Eh, conductivity, pH) and the remaining ones in the laboratory.

The obtained results show, that for most of the elements pollution doesn't exist. That justifies the initial consideration, that the dam can be considered “clean”. However in some cases, especially for the element Mn, Al, Cu and Fe some few anomalies were detected. That requires more detailed studies in the future. The high contents of Fe combine with the particular regional lithology, being the studied area a part of the so called “Iron Quadrangle”.

Índice

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xiv
Lista de fotos	xvi
Capítulo 1	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Histórico Local	2
1.4. Localização e Vias de Acesso.....	5
1.5. Clima e Vegetação	8
1.6. Geologia Regional	8
1.6.1. Geotectônica do Quadrilátero Ferrífero	9
1.6.2. Estratigrafia.....	9
1.6.2.1. Complexos Metamórficos	11
1.6.2.2. Supergrupo Rio das Velhas	11
1.6.2.2. Supergrupo Minas	12
1.6.2.2 Grupo Sabará.....	13
1.6.2.2. Grupo Itacolomi	14
1.6.2.6. Litologia Regional Barragem de Custódio.....	14

Capítulo 2	16
2.1. Metais.....	16
2.1.1. Metais em Ambientes Aquáticos	17
2.1.2. Metais em Sedimentos	17
2.1.2.1. Metais Pesados	18
2.1.3. Fontes Naturais	19
2.1.4. Fontes Artificiais.....	20
2.1.5. Propriedades Gerais dos Metais.....	20
2.1.5.1. Metais Pesados	20
2.1.5.1.1. Cádmio	20
2.1.5.1.2. Cobre	21
2.1.5.1.3. Chumbo	22
2.1.5.1.4. Zinco.....	23
2.1.5.1.5. Arsênio	24
2.1.5.1.6. Cromo	24
2.1.5.1.7. Níquel	25
2.1.5.1.8. Cobalto	26
2.1.5.1.9. Estrôncio.....	27
2.1.5.1.10. Molibdênio	27
2.1.5.1.11. Bário	28
2.1.5.1.12. Vanádio	29
2.1.5.1.13. Ítrio	30
2.1.5.1.14. Ferro	30
2.1.5.1.15. Manganês.....	31
2.1.5.2. Metais Maiores	32
2.1.5.2.1. Cálcio.....	32
2.1.5.2.2. Sódio.....	33
2.1.5.2.3. Magnésio	34
2.1.5.2.4. Potássio.....	35
2.1.5.2.5. Alumínio.....	35
2.2. Parâmetros Físico-Químicos.....	36
2.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	36
2.2.2. Alcalinidade	38
2.2.3. Temperatura	39
2.2.4. Cloreto	39
2.2.5. Eh.....	40
2.2.6. Oxigênio dissolvido	41
2.2.7. Turbidez	42

2.2.8. Sólidos totais dissolvidos (STD).....	43
2.2.9. Condutividade.....	43
Capítulo 3	44
3.1 Metodologia da coleta.....	44
3.1.1 Amostras	44
3.1.2. Higienização do material de coleta.....	46
3.2. Amostras de Água.....	46
3.2.1 Tratamento e preservação das amostras.....	48
3.2.2 Análise das amostras.....	49
3.3. Amostras de Sedimento	50
3.3.1 Sedimento de Fundo	50
3.3.2 Coleta de Amostras	50
3.3.3 Análise de Amostras	51
3.3.3.1. Abertura das Amostras	52
3.4. Análise Estatística.....	53
Capítulo 4	54
4.1. Caracterização física e química da represa do custódio	56
4.1.1 Temperatura da água.....	59
4.1.2. Turbidez	60
4.1.3 .p H.....	62
4.1.4 .Eh.....	63
4.1.6. Condutividade.....	66
4.1.7. Alcalinidade	68
4.1.8. Oxigênio dissolvido (OD).....	69
4.1.9. Cloretos.....	70
4.2 METAIS.....	76
4.2.2. Cálcio	78
4.2.3. Potássio	79
4.2.4. Magnésio.....	81
4.2.5. Alumínio	83
4.2.6. Manganês	85
4.2.7. Ferro.....	87
4.2.8. Cromo, Cobalto, Cobre, Cádmio, Chumbo e Arsênio	90
4.2.9. Níquel e Zinco	90

4.3. Difractometria e análise de metais em sedimento	922
4.3.1. Ferro e Alumínio.....	944
4.3.2. Análise de outros metais	96
Capítulo 5	1044
Capítulo 6	105

Lista de Figuras

Figura 1.2.1: Mapa de localização da represa do Custódio.	7
Figura 1.6.2.: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Alkmim & Marshak 1998).	10
Figura 3.1.1.: Localização dos pontos amostrados na Represa do Custódio.....	45
Figura 3.2.2: Procedimentos relativos à coleta, preparo e análise das amostras de água.	49
Figura 3.3.3.1: Passos seguidos para o preparo e análise do sedimento.	53
Figura 4.1.1 A: Valores de temperatura observados no período de chuva.....	59
Figura 4.1.1 B: Valores de temperatura observados no período de seca.....	59
Figura 4.1.2 A: Valores de turbidez observados no período de chuva.....	60
Figura 4.1.2 B: Valores de turbidez observados no período de seca.....	61
Figura 4.1.3 A: Valores de pH observados no período de chuva.	62
Figura 4.1.3 B: Valores de pH observados no período de seca.	62
Figura 4.1.4 A : Valores de Eh observados no período de chuva.	64
Figura 4.1.4 B: Valores de Eh observados no período de seca.	64
Figura 4.1.5 A: Valores de STD observados no período de chuva.	65
Figura 4.1.5 B: Valores de STD observados no período de seca.	66
Figura 4.1.6 A: Valores de condutividade observados no período de chuva.	66
Figura 4.1.6 B: Valores de condutividade observados no período de seca.	67
Figura 4.1.7 A: Valores de alcalinidade observados no período de chuva.....	68
Figura 4.1.7 B: Valores de alcalinidade observados no período de seca.	68
Figura 4.1.8 A: Valores de OD observados no período de chuva.	69
Figura 4.1.8 B: Valores de OD observados no período de seca.	70
Figura 4.1.9 A: Valores de cloretos observados no período de chuva	71
Figura 4.1.9 B: Valores de cloretos observados no período de seca.	71
Figura 4.2.1 A: Valores de sódio no período de chuva.	76
Figura 4.2.1 B: Valores de sódio no período de seca.	76
Figura 4.2.1.C: Concentração de sódio nos períodos de chuva e de seca.	77

Figura 4.2.2 A: Valores de cálcio no período de chuva.	78
Figura 4.2.2 B: Valores de cálcio no período de seca.	78
Figura 4.2.2 C: Concentração de cálcio nos períodos de chuva e de seca.	79
Figura 4.2.3 A: Valores de potássio no período de chuva.....	80
Figura 4.2.3 B: Valores de potássio no período de seca.....	80
Figura 4.2.3 C: Concentração de potássio nos períodos de chuva e de seca.....	81
Figura 4.2.4 A: Valores de magnésio no período de chuva.....	81
Figura 4.2.4 B: Valores de magnésio no período de seca.	82
Figura 4.2.4 C: Concentração de magnésio nos períodos de chuva e de seca.	83
Figura 4.2.5 A: Valores de alumínio no período de chuva.....	83
Figura 4.2.5 B: Valores de alumínio no período de seca.....	84
Figura 4.2.5 C: Concentração de alumínio nos períodos de chuva e de seca.....	85
Figura 4.2.6 A: Valores de manganês no período de chuva.	86
Figura 4.2.6 B: Valores de manganês no período de seca.....	86
Figura 4.2.6 C: Concentração de manganês nos períodos de chuva e de seca.....	87
Figura 4.2.7 A: Valores de ferro no período de chuva.	88
Figura 4.2.7 B: Valores de ferro no período de seca.	88
Figura 4.2.7 C: Concentração de ferro nos períodos de chuva e de seca.	89
Figura 4.3 A: Difratoograma de raio –X representativo das amostras coletadas no ponto CST1, período de seca.	922
Figura 4.3 B: Difratoograma de raio –X representativo das amostras coletadas no ponto CST2, período de seca.	933
Figura 4.3 C: Difratoograma de raio-X representativo das amostras coletadas no ponto CST3 , período de chuva.....	933
Figura 4.3 D: Difratoograma de raio –X representativo das amostras coletadas no ponto CST5, período de chuva.....	944
Figura 4.3.1 A: Metais em sedimento período de chuva.....	944
Figura 4.3.1 B: Metais em sedimento período de seca.....	955
Figura 4.3.2 A: Metais em sedimento período de chuva.....	966
Figura 4.3.2 B: Metais em sedimento período de seca.....	977
Figura 4.3.2.C: Metais em sedimento no período de chuva.....	977
Figura 4.3.2.D: Metais em sedimento no período de seca.....	98

Figura 4.3.2 E: Metais em sedimento no período de chuva	98
Figura 4.3.2 F: Metais em sedimento no período de seca	99
Figura 4.3.2 G: Metais em sedimento no período de chuva.....	99
Figura 4.3.2 H: Metais em sedimento no período de seca	100

Lista de Tabelas

Tabela 3.1.1. Variações da profundidade entre os períodos de chuva e seca.....	44
Tabela 4.1. A: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, período de chuva 2002.....	55
Tabela 4.1. A: Continuação dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, período de chuva 2002.....	56
Tabela 4.1.B: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, período de seca 2002.....	57
Tabela 4.1.B: Continuação dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, amostra de água, período de seca 2002.....	58
Tabela 4.2 A: Resultados das análises de metais nas amostras de água, período de chuva 2002.....	72
Tabela 4.2 A: Continuação dos Resultados das análises de metais nas amostras de água, período de chuva 2002.....	73
Tabela 4.2 B: Resultados das análises de metais nas amostras de água, período de seca 2002.....	74
Tabela 4.2 B: Continuação dos resultados das análises de metais nas amostras de água, período de seca 2002.....	75
Tabela 4.3 A: Resultados das análises de metais em sedimento, período de chuva 2002.....	91
Tabela 4.3B: Resultados das análises de metais em sedimento, período de seca 2002.....	91
Tabela Anova 4.3.1.A : Dados estatísticos sobre a concentração de ferro nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	955
Tabela Anova 4.3.1.B: Dados estatísticos sobre a concentração de alumínio nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca	955
Tabela Anova 4.3.2 A : Dados estatísticos sobre a concentração de manganês nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	1000
Tabela Anova 4.3.2 B : Dados estatísticos sobre a concentração de níquel nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	1000

Tabela Anova 4.3.2 C : Dados estatísticos sobre a concentração de cromo nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca	1011
Tabela Anova 4.3.2 D : Dados estatísticos sobre a concentração de cobre nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	1011
Tabela Anova 4.3.2 E : Dados estatísticos sobre a concentração de zinco nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	1011
Tabela Anova 4.3.2 F : Dados estatísticos sobre a concentração de cádmio nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	1022
Tabela Anova 4.3.2 G : Dados estatísticos sobre a concentração de chumbo nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.	1022

Lista de fotos

Foto 1.3.1: Vista parcial da represa (período de chuva em 2002).....	4
Foto 1.3.2: Vista parcial da represa (período de seca em 2002).	4
Foto 3.2.1: Coleta de amostras de água, utilizando a garrafa de Van Dorr e frascos plásticos.....	48
Foto 3.3.2: Coleta de amostras de sedimento utilizando Pegador de Ekman	51

Capítulo 1

Considerações Gerais

1.1. Introdução

A introdução de substâncias tóxicas no ambiente decorrentes de variadas atividades antropogênicas, como a agricultura, as atividades industriais e a mineração, tem provocado efeitos danosos aos diversos ecossistemas naturais e à própria vida humana (Jardim, 1983; Tavares e Carvalho, 1992). Estes poluentes geralmente contaminam cursos d'água, solos, ar e, por conseqüência, alteram a cadeia alimentar nos seus mais diversos níveis. Em particular, os metais tóxicos nesses sistemas constituem um risco potencial para os animais, as plantas, os seres humanos e a vida aquática (Gambrell, 1994; Clarkson, 1995; Dobrovolski, 1997).

A água é essencial para a manutenção da vida. Uma pessoa adulta necessita consumir cerca de 1,5 L/dia para a realização de suas atividades bioquímicas e biológicas. Podemos sobreviver 50 dias sem comer, mas, em média, morreremos após quatro dias sem água (Azevedo, 1999). Porém, o homem também depende da água para a realização e a manutenção de diversas atividades: para limpeza, em processos industriais, na agricultura, para cozinhar alimentos, como meio de transporte e para cuidar de animais. Perante essas constatações fica evidente a importância da presença da água em todos os compartimentos do ecossistema, assim como da sua distribuição entre todos os componentes dos mesmos, sendo a poluição das águas talvez, a forma mais preocupante de poluição ambiental.

Existe ainda um ponto crucial quando nos referimos à água: a necessidade de que ela esteja apropriada para o fim a qual se destina, sendo que quase invariavelmente isto significa a isenção de poluentes. Porém, várias formas de poluição podem afetar as reservas d'água, mas a poluição química é considerada, por muitos, o tipo mais

preocupante de contaminação, já que os efeitos nocivos podem ser sutis e levar muito tempo para serem sentidos (Águila *et al*, 2000).

Atualmente, o grande desafio enfrentado pelo homem é fornecer água de qualidade, seja ela para o consumo, para recreação ou para outro uso já que, apesar de todo o avanço tecnológico e científico alcançado pelo mesmo, não impediu que esse recurso imprescindível à vida fosse deteriorado.

1.2. Objetivos

O principal objetivo do trabalho é realizar um estudo dos metais em água e sedimento e os parâmetros físico-químicos, numa represa isenta de poluição antropogênica.

Para tal faz-se necessário um estudo mais aprofundado de um lago que possa ser considerado como “não contaminado”, isto é, um lago no qual podem ser excluídas quaisquer influências de atividades de mineração e, que sob condições ambientais pode ser considerado “limpo” servindo com um padrão branco (de referência) para as pesquisas.

A Lagoa do Custódio (Represa do Custódio) no córrego dos Prazeres, afluente do rio Mainart no Parque Estadual do Itacolomi atende a estas referências.

1.3. Histórico Local

A Barragem do Custódio, de propriedade da ALCAN Alumínio do Brasil Ltda, está localizada Município de Ouro Preto, no córrego dos Prazeres, com sua Casa de Força localizada próxima à foz deste córrego, no rio Mainart.

A capacidade de acumulação dessa represa em volume máximo é de 3.300.000 m³ de água. Esse volume é controlado durante o ano inteiro com o objetivo de garantir a vazão no Ribeirão dos Prazeres, para geração de energia na Usina Hidrelétrica dos Prazeres.

O período de enchimento do reservatório ocorre entre dezembro a abril, período úmido, e o processo de esvaziamento ocorre no período seco de maio a novembro. Durante o período seco realiza-se a regularização da vazão com o objetivo de obter geração plena no horário de ponta e a máxima geração possível no horário fora de ponta, respeitando o limite da curva padrão. O volume mínimo de 250.000 m³ é controlado através de acompanhamento constante do nível do reservatório para garantir a preservação da fauna aquática.

O aproveitamento do Potencial da Capacidade Hidrelétrica (PCH) dos Prazeres foi concebido, aproveitando de forma estratégica, as características topográficas locais e a regularização do córrego dos Prazeres proporcionada pela Represa do Custódio. O PCH é formado por uma barragem de alvenaria de pedra e argamassa de cerca de 20 metros de altura, posicionada à cabeceira do córrego dos Prazeres, com N.A. máximo normal na El. 1.240,05 m (datum arbitrário do Sistema Mainart/Prazeres, cerca de 80 m acima do DATUM IBGE), para o qual sua capacidade é de 3,30 x 10⁶ m³.

A área de drenagem do córrego dos Prazeres é de 13,25 km², acrescida das áreas dos córregos Pequiá e Brenha (3,50 km²), que descem paralelos ao Prazeres, e cujas águas são transpostas para o reservatório por um sistema de duas pequenas barragens, um canal e um túnel. A área de drenagem total para a Barragem do Custódio foi estimada em 16,75 km².

Dois descarregadores de fundo na Represa do Custódio, controlados por válvulas, possibilitam a extravasão de até 2 m³/s de água para um canal de pequena extensão, controlado por um vertedouro triangular de medição. Nesse ponto, as águas são restituídas ao leito natural do córrego dos Prazeres, que segue por cerca de 2 km até uma pequena barragem, denominada dos Prazeres. Nesse trecho, o córrego dos Prazeres recebe a vazão remanescente do córrego Brenha, com 6,50 km² de área de drenagem, além da vazão relativa à área incremental do trecho, de 2,94 km².

As Figuras 1.3.1 e 1.3.2 permitem a visualização do volume de água, de parte da Represa do Custódio, nos períodos de chuva e de seca respectivamente.



Foto 1.3.1: Vista parcial da represa (período de chuva em 2002).



Foto 1.3.2.: Vista parcial da represa (período de seca em 2002).

1.4. Localização e Vias de Acesso

O Parque Estadual do Itacolomi, onde se encontra a Represa do Custódio, tem uma área de aproximadamente 7.000 ha e está localizado nos municípios de Ouro Preto e Mariana, no Estado de Minas Gerais, entre os meridianos $43^{\circ} 32' 30''$ e $43^{\circ} 22' 30''$ de longitude oeste e os paralelos $20^{\circ} 22' 30''$ e $20^{\circ} 28' 15''$ de latitude sul, abrangendo toda a Serra do Itacolomi, uma das componentes da Cadeia do Espinhaço ou Serra Geral.

O Parque Estadual do Itacolomi teve seu limite definido em junho de 1967 de acordo com a lei N^o 4495. Nessa ocasião foi delimitado um polígono que, partindo da confluência do córrego dos Prazeres com o rio Acima segue pela margem esquerda deste, até barra do Ribeirão Belchior. Em seguida segue pela margem direita deste último, até a escarpa quartzítica, que corre ao sul do distrito de Passagem de Mariana, município de Mariana, e do rio do Carmo, estando a uma distância entre 1000 a 1500 metros deste. Na direção oeste, segue pela linha de cumeada da referida escarpa, que contém os pontos de triangulação de cotas 1213 e 1179 metros, até o ponto na altura do paralelo $20^{\circ} 25' 00''$ de latitude sul, que dista cerca de 400 metros, na direção ENE, do ponto de triangulação da cota 1322 metros, sendo que esse ponto encerra a faixa de domínio da linha de transmissão da Usina do Salto para a Fabrica da Saramenha, município de Ouro Preto, da “Alumínio Minas Gerais S.A.”. Saindo deste ponto com rumo ao sul, segue pelo lado oriental da referida faixa de domínio, até um ponto distante de 200 metros na direção do ENE do ponto de triangulação de cota 1367 metros, deste local, com rumo aproximadamente 45° SE, segue por uma linha até encontra o córrego dos Prazeres, pela margem esquerda deste continua até a sua foz no rio Acima, fechando o polígono (Castañeda, 1993).

O acesso a partir de Belo Horizonte, num percurso total de 120 km, é feito pela rodovia BR-040 até o trevo com a MG-356. Ao longo desta, segue-se rumo a Ouro Preto, contornando-a pelo anel rodoviário (MG-262) até o bairro de Saramenha. Neste local, deriva-se à direita no trevo para Ouro Branco, seguindo-se por essa estrada por cerca de 16 km, até cruzar a ponte sobre o rio Mainart. Toma-se o acesso à esquerda imediatamente após a ponte, percorrendo-se 14 km em estrada de terra até a Casa de

Força denominada Funil-Prazeres, assim denominada por abrigar máquinas das usinas de Funil e de Prazeres, ambas da ALCAN. O acesso até a Represa do Custódio é feito por trilha de serviço de aproximadamente 10 km, do qual deriva-se para atingir o final do Canal de Adução e a câmara de carga da usina de Prazeres.

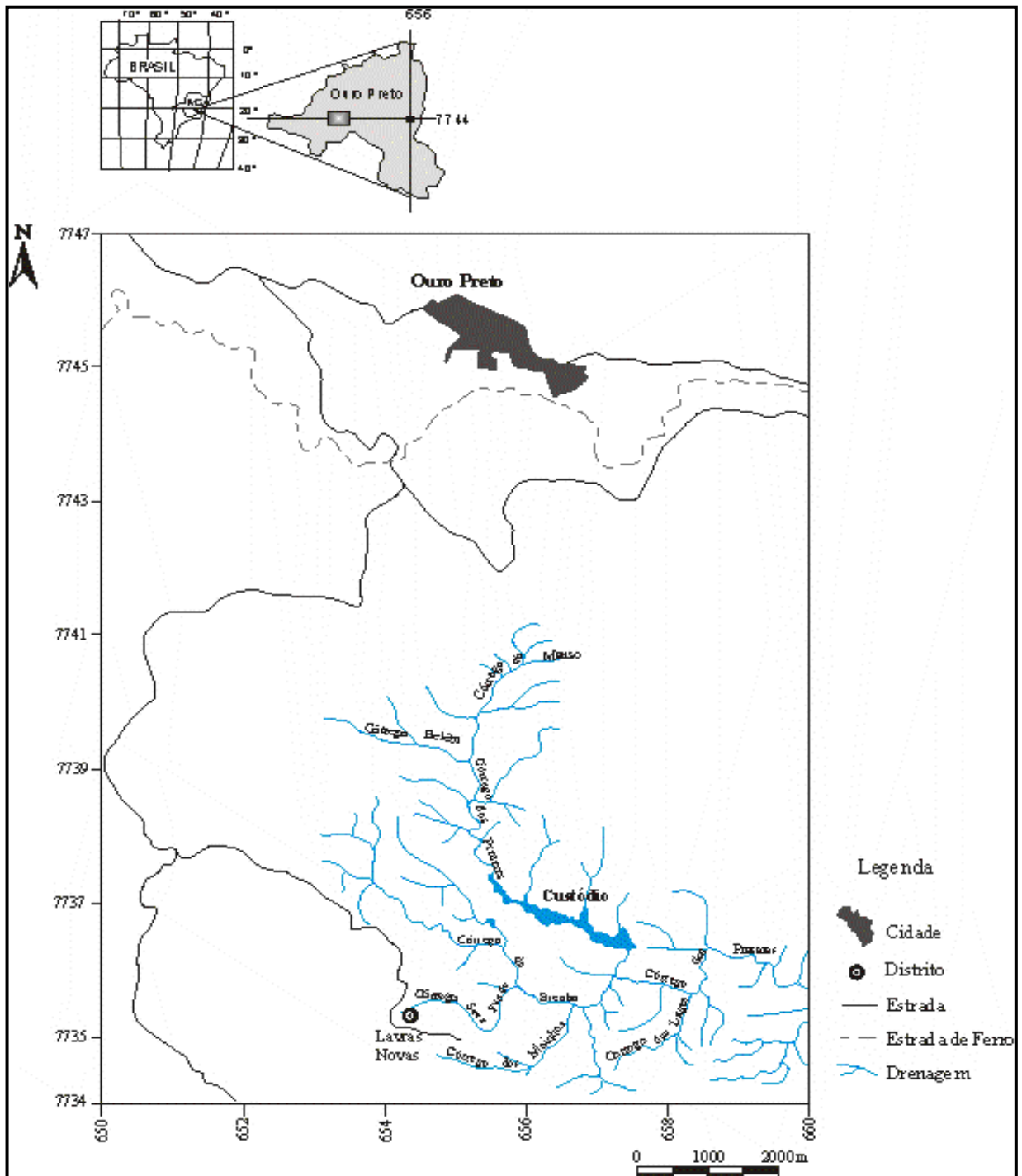


Figura 1.2.1: Mapa de localização da Represa do Custódio.

1.5. Clima e Vegetação

No Parque Estadual do Itacolomi, onde está localizada a Represa do Custódio, os tipos climáticos característicos são o tropical de altitude, com verão quente e chuvas de verão e, o tropical de altitude com verão fresco e chuvas de verão.

As estações são bem definidas. Entre os meses de outubro e março a pluviosidade é alta e no período de abril e setembro ocorre a estiagem (Wallace, 1958). A pluviosidade média anual de 1.100 - 1.500mm. A temperatura da região varia, em média, de 18 a 25 °C no verão e de 12 a 18 °C no inverno.

Na região do Parque, por cima do pacote rochoso, tem-se uma vegetação bastante diversificada. Nos vales, nas drenagens e nas encostas mais baixas a vegetação é mais espessa do que no restante da área, variando de uma mata rala, constituída predominantemente de arbustos até uma mata de galeria de maior porte. Na superfície cimeira encontra-se os platôs constituídos por uma vegetação rasteira, predominantemente gramínea.

1.6. Geologia Regional

A grande importância de se conhecer a geologia de uma determinada região está no fato de que algumas das características das águas e dos sedimentos, como a concentração de metais pesados, por exemplo, serem reflexos da formação rochosa.

O Parque Estadual do Itacolomi localizado na porção ocidental da sub-bacia do rio do Carmo, pertencente à bacia hidrográfica do rio Doce não é uma área geologicamente isolada. Por estar inserido na área denominada classicamente de Quadrilátero Ferrífero (na porção sudeste deste) apresenta uma região geologicamente importante do período Pré-Cambriano Brasileiro devido às suas intensas riquezas minerais, principalmente ouro, manganês, gemas, ferro e pedras ornamentais.

Em sua posição geotectônica, o Quadrilátero Ferrífero está situado na borda meridional do Cráton São Francisco e à leste da Província Geotectônica da Mantiqueira apresentando um embasamento que se consolidou no final do Ciclo Transamazônico, ou

seja, no final do Proterozóico Inferior (1800Ma – 1900Ma) e, sofreu um tectonismo do Ciclo Brasileiro, que é o último ciclo orogênico e que ocorreu no Proterozóico Superior (450Ma – 680Ma) (Almeida, 1976).

1.6.1. Geotectônica do Quadrilátero Ferrífero

A definição dada ao Quadrilátero Ferrífero é de uma região limitada pelas linhas que ligam os municípios de Belo Horizonte, Congonhas do Campo, Rio Piracicaba, Mariana e Itabira, com uma área de aproximadamente 7000 km² (Ladeira & Viveiros, 1984).

Essa província geotectônica está localizada na porção meridional do Cráton São Francisco, e corresponde a uma plataforma cujo embasamento se formou em eventos Pré-Brasileiros (Marshak & Alkmim, 1989). Trata-se de uma parte da crosta estabilizada no Ciclo Brasileiro e enquadra dentro de um bloco crustal extenso, chamado de Cráton do Paramirim.

1.6.2. Estratigrafia

Muitas foram as divisões estratigráficas propostas para as rochas Pré-Cambrianas do Quadrilátero Ferrífero. A região do Quadrilátero Ferrífero está tectonicamente situada na parte sudeste do Cráton de São Francisco, sendo considerada uma importante província arqueana e proterozóica.

A região é circundada pelos complexos metamórficos, tais como o do Bonfim (a oeste) e Caeté (a norte). Estes complexos constituem em partes o embasamento cristalino do Supergrupo Rios das Velhas e representam a base para a deposição das rochas das demais unidades supracrustais que compõem o Quadrilátero Ferrífero.

Ocorrendo sozinho dentro da porção centro-sul desta área, encontra-se o Complexo Metamórfico do Baçõ, formado por rochas graníticas-gnáissicas, migmatitos, além de pegmatitos e rochas intrusivas, especialmente na maioria

constituídos poranfíbolitos. Os complexos citados foram datados como sendo de idade arqueada inferior (Alkmim & Marshak, 1998).

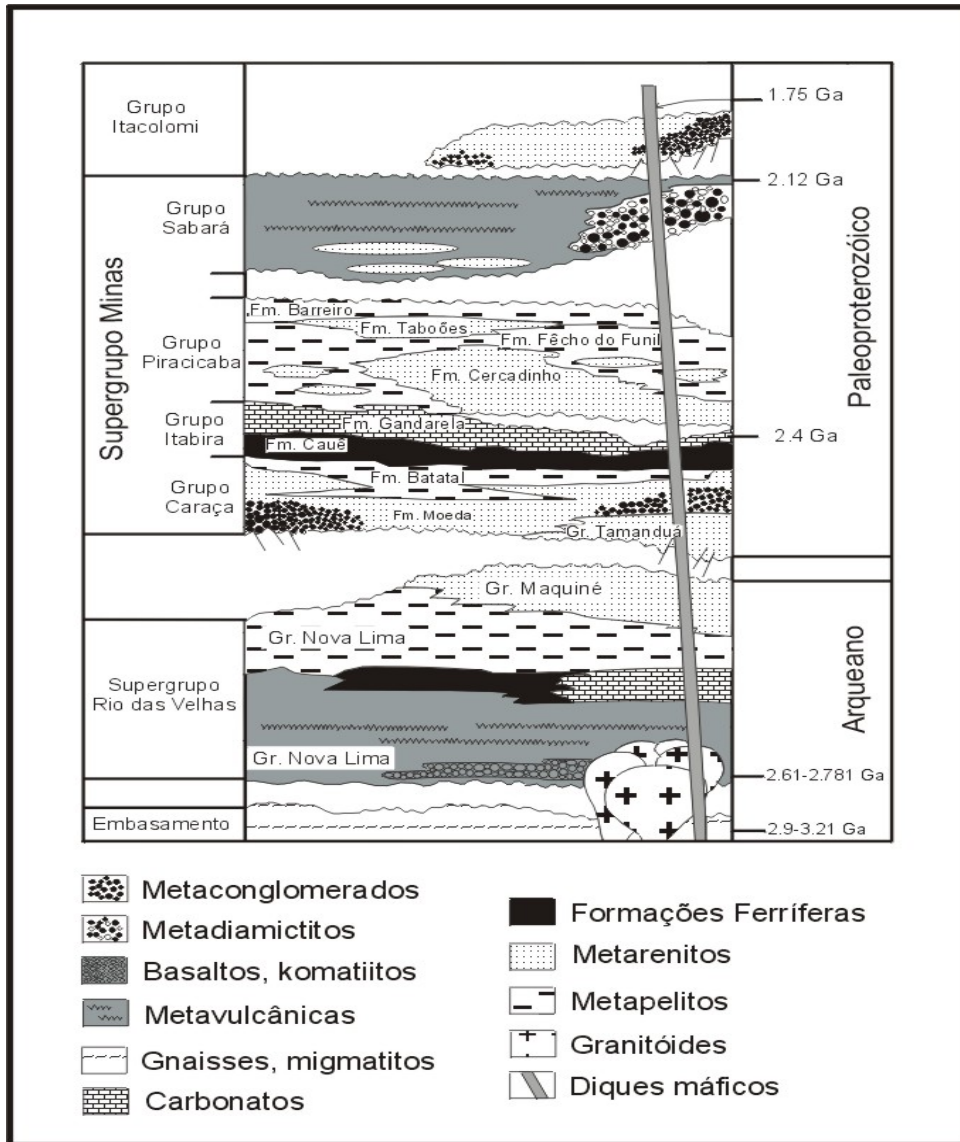


Figura 1.6.2.: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Alkmim & Marshak, 1998).

Após diversos trabalhos, os litotipos da região foram organizados estratigraficamente, sendo os mais clássicos realizados por Dorr (1969) e Alkmim & Marshak (1998). Atualmente está dividido em dois grandes supergrupos denominados, respectivamente, Rios das Velhas e Minas, sendo que, alguns trabalhos ainda apresentam o Supergrupo Espinhaço, localizado ao norte do Quadrilátero Ferrífero.

1.6.2.1. Complexos Metamórficos

São encontrados, no Quadrilátero Ferrífero, vários complexos metamórficos que estão localizados nas áreas bordejantes e na porção centro sul.

As rochas que os compõem são, predominantemente, representadas por gnaisses de composição tonalítica à granítica, localmente migmatizados (Cordani *et. al.*, 1980). Subordinadamente são representados por granodioritos, anfibolitos, granitos e rochas máficas intrusivas (Carneiro, 1992).

A origem desses complexos foi interpretada por Dorr (1969) como sendo intrusiva, porém outros autores (Cordani *et.al.*, 1980; Teixeira, 1982; Araújo & Barison, 1990.) interpretaram essas rochas como produto do trabalho tectono-metamórfico de um embasamento antigo.

1.6.2.2. Supergrupo Rio das Velhas

Segundo Teixeira (1985) esta unidade é composta por rochas metavulcânicas e metassedimentares de idade Arqueana.

O Supergrupo Rio das Velhas é dividido em dois grupos segundo Dorr *et al* (1957): Grupo Nova Lima, na base, e Grupo Maquine, no topo. Almeida (1976) define este Supergrupo como uma seqüência vulcano-sedimentar que se desenvolve no limite entre costas continental/oceânica - greenstone belt. Ladeira (1980) subdividiu o Grupo Nova Lima em três unidades: unidade metavulcânica, unidade de rochas sedimentares químicas metamórficas e unidade de rochas sedimentares clásticas metamórficas. Na coluna estratigráfica de Mariana, DNPM/CPRM (1993), o Grupo Nova Lima não aparece subdividido nas três unidades anteriores, mas é subdividido no Grupo Quebra Osso, na base, e uma unidade vulcano-sedimentar no topo.

O Grupo Nova Lima corresponde a unidade metassedimentar, de espessura média aproximada em torno de 400 metros (Dorr, 1969). Compreendem uma variedade de xistos, filitos e ainda formação ferrífera do tipo algoma, quartzito, rochas de fácies carbonática, grauvaça, quartzo-dolomito, sericita-quartzo-xisto e conglomerados (Riccomini 1989).

Em geral as rochas metassedimentares do Grupo Nova Lima apresentam teores altos dos óxidos SiO_2 , AlO_3 e Fe_2O_3 , teor significativo de HgO e teores altos dos elementos traços Cr, Ba, V, Zr, Cu, Ni, Zn, Co segundo análises químicas das rochas feitas por Shaw (1972).

Gair (1962) dividiu o Grupo Maquiné em duas formações. A basal é composta filitos, filitos quartzosos, grauvacas, sericita-quartzito e metaconglomerado, sendo designado de Formação Palmital e possui espessura variando de 600 a 1400 metros. A de topo é chamada de Formação Casa Forte, sendo formada por quartzitos sericíticos, xistosos e cloríticos; possuindo uma espessura de aproximadamente 600 metros, sendo que essas formações correspondem respectivamente a um ambiente de sedimentação do tipo planície de maré e um sistema fluvial com rios entrelaçados (Pedreira & Silva 1996).

1.6.2.2. Supergrupo Minas

Esta unidade, inicialmente definida como “Série Minas” por Derby (1906), é mais conhecida e estudada do Quadrilátero Ferrífero.

O supergrupo citado consiste de rochas xistosas, quartzitos ferruginosos e calcários sobreposta ao embasamento cristalino. Trata-se de uma cobertura sedimentar plataformal de idade paleoproterozóica, sendo dividido em três grupos: Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr *et al*, 1957; Ladeira & Viveiros, 1984; Noce, 1995).

O Grupo Caraça é constituído por sedimentos clássicos de granulométrica fina e seixos e matações, subdividindo-o em duas formações. A Formação Batatal apresenta um contato transicional com formação inferior, constituída em sua maioria por filitos com lentes de metachert, mica xisto e filito grafitoso (Dorr, 1969).

A Formação Moeda constitui-se predominantemente de conglomerado, ortoquartzito interdigitado com lentes extensas de quartzito filítico de granulometria fina.

O Grupo Itabira é constituído por sedimentos químicos e bioquímicos, que está subdividido em duas formações (Dorr, 1969). A Formação Cauê é caracterizada pela ocorrência de formação ferrífera bandada tipo Lago Superior, típica do proterozóico

inferior, tendo ainda itabiritos anfíbolíticos, dolomíticos, horizontes manganésíferos e filitos (Carneiro *et al*, 1995). A Formação Gandarela é composta por rochas carbonáticas dolomíticas, itabiritos, filitos e localmente por filitos dolomíticos.

O Grupo Piracicaba é constituído de cinco unidades clásticas e está dividido nas Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Barreiro, Taboões e Sabará.

A Formação Cercadinho (basal) é definida por Pomerene (1958) como sendo constituída por quartzitos ferruginosos, quartzitos brancos com cianita, filitos prateados e xistos.

A Formação Fecho do Funil teve sua deposição devido ao aprofundamento da bacia, sendo seu contato com a formação inferior gradacional. Esta formação é constituída por filitos dolomíticos escuros, filito, filito quartzoso e xistos segundo Simons (1958).

A Formação Taboões é constituída, basicamente, pelos quartzitos maciços claros de granulometria fina (Pomerene, 1958).

A Formação Barreiro é composta por filito carbonoso, filito e intercalações de um xisto vermelho podendo modificar-se para filito sericítico cinza (Barbosa, 1968).

1.6.2.2 Grupo Sabará

A Formação Sabará é a do topo da seqüência.

Caracterizada anteriormente como pertencente ao Grupo Piracicaba, foi elevada à categoria de grupo a partir das propostas elaboradas por Barbosa (1968), Ladeira (1980) e Noce (1995). Eles fizeram a justificativa de acordo com o posicionamento estratigráfico, em função da presença de litotipos distintos e de sua grande espessura, baseando-se na datação de zircões detríticos (Machado & Carneiro, 1992).

Segundo Gair (1958), a rocha predominante é um clorita-xisto, com intercalações de quartzito e grauvaça com uma matriz composta por sericita, clorita, epidoto, rutilo e turmalina, e alguns grãos maiores de quartzo e fragmentos líticos formados por sericita e clorita. Próximo às encostas da serra do Itacolomi, ocorre um clorita-xisto com intercalações de quartzito ferruginos e gnaiss.

1.6.2.2. Grupo Itacolomi

Esta unidade é definida como série Itacolomi. As rochas constituídas deste grupo têm sua distribuição restrita às porções sudeste e sul e sul do Quadrilátero Ferrífero.

O grupo é constituído, predominantemente, por quartzito sericítico a clorítico na base, quartzo-xistos, quartzitos, quartzitos microconglomeráticas, horizontes de metaconglomerado e algumas intercalações de xistos básicos de filiação vulcânica (Barbosa, 1968).

Dorr (1969) dividiu o Grupo Itacolomi em duas fácies: a primeira de caráter quartzítico, composta principalmente de quartzitos, quartzitos conglomeráticos e quartzitos ferruginosos e a segunda constituída por filitos, filitos quartzíticos, metaconglomerados, quartzitos ferruginosos.

A formação desta unidade ocorreu em uma fase extensional durante o colapso orogênico Transamazônico, associando-se à formação de uma bacia do meio-graben, parcialmente flexurada. A sua área é fonte rica em quartzo, xistos, filitos, formação ferríferas, e rochas granito ou gnáissicas (Alkmim & Marshak, 1998)

1.6.2.6. Litologia Regional da Represa do Custódio

A Represa do Custódio situa-se geologicamente numa falha entre o Supergrupo *Minas* e unidades mais jovens posicionando-se litologicamente entre a série *Itacolomi* no Sul, e o grupo *Piracicaba* (grupo superior do supergrupo *Minas*) no Norte. Assim a composição dos sedimentos é caracterizada exclusivamente pelas rochas dessas duas unidades. Na serie *Itacolomi* dominam segundo Dorr (1969) quartzitos, filitos e conglomerados que podem conter fragmentos de seixos de itabiritos e filitos. O mineral dominante de todas estas rochas è o quartzo, sendo subordinadamente descritos feldspatos, micas e cloritas. Os minerais acessórios dentro da série Itacolomi foram identificados por Glöckner (1981) como hematita, magnetita, cianita, granada, biotita, zircão, turmalina, rutilo e monazita. Do grupo Piracicaba, que faz a litologia no Norte da represa foram mapeados também pelo referido autor as formações *Sabará*, *Barreiro*, *Cercadinho* e *Fecho do Funil*. Faltam os quartzitos *Taboões*. Essas unidades são

compostas principalmente de xistos com staurolita e granada, filitos, quartzitos ferruginosos e parcialmente de dolomitos. Os minerais predominantes são quartzo e micas. Minerais subordinados são clorita e hematita, parcialmente talco.

Assim sendo, a composição mineralógica dos sedimentos da barragem e em consequência a sua composição química e aquela das águas, é dominada pelas minerais principais, quer dizer quartzo e eventualmente clorita e micas, e subordinadamente hematita. Evidentemente que espera-se na composição mineralógica dos sedimentos da barragem, também os produtos do intemperismo dos minerais citados, quer dizer, minerais de argila, e, óxidos e hidróxidos, principalmente de Fe (goethita) e também de Al (gibbsita).

Os minerais acessórios certamente não influenciam a composição química das águas, pelo fato das suas concentrações baixas. Além disso, trata-se na maioria dos casos de minerais resistentes ao intemperismo (zircão, monazita, rutilo, turmalina). Somente minerais como hematita, magnetita e goethita poderiam contribuir quimicamente (Fe), mas como trata-se de minerais de Fe, e como a área estudada faz parte do Quadrilátero Ferrífero, a contribuição deles como minerais acessórios não tem muito peso.

Roeser (1977) fez várias análises destes tipos de rochas. Ele constatou, que as rochas quartzíticas, mesmo sendo rochas Pré-Cambrianas, apresentam valores muito baixos para os elementos Cu, Co, Cr e Ni, geralmente abaixo de 70 ppm. Somente para os casos de alguns xistos (anfíbólio-xistos) foram detectados teores maiores e, em casos de clorita e especialmente talco, os elementos Cr e Ni podem atingir valores de até 1500 ppm, e Co e Cu em torno de 100 ppm. Como na região em questão ocorrem quase exclusivamente rochas quartzíticas, e minerais como talco e clorita são minerais subordinados, e isso somente em algumas unidades litológicas, espera-se concentrações baixas desses metais pesados para os sedimentos e em consequência para as águas da barragem.

Parâmetros analisados e sua importância para os homens e o meio ambiente

2.1. Metais

Segundo Phipps (1981) os metais são definidos como sendo elementos que sob determinadas condições biológicas agem como cátions, comportando-se assim como ácidos de Lewis. Os íons metálicos formam complexos com uma grande quantidade de ligantes (sendo estes inorgânicos e orgânicos) tornando-se espécies biologicamente ativas.

Os metais estão entre os elementos mais abundantes na superfície da terra. Vários minerais representam a fonte de metais encontrados nos solos e em ambientes aquáticos, sendo o intemperismo mineral e os processos antropogênicos responsáveis pela distribuição dos metais nos sistemas terrestre, aquático e atmosférico (Novotny, 1995).

Os crescentes processos de urbanização e de industrialização observados nas últimas décadas, têm tornado os metais um dos mais importantes agentes nocivos ao meio ambiente. Esses elementos vêm contribuindo de forma decisiva para a degradação do ar, do solo e da água, transformando-se numa nova e perigosa classe de contaminante. Isso ocorre devido à intervenção humana na sua geração e utilização, principalmente sob a forma de subprodutos de atividades industriais, criando grandes problemas, em escala local e global (Brayner, 1998).

2.1.1. Metais em Ambientes Aquáticos

De acordo com Jackson (1991), certas quantidades de metais e de outras substâncias orgânicas chegam aos lagos diretamente pelas atividades humanas ou por processos naturais. Os rios, por exemplo, têm uma função importante no transporte de substâncias em solução ou em associação com os sólidos suspensos, funcionando como coletor de descarga de metais da bacia antes deles atingirem os lagos.

D`itri (1990) afirma que estando na água, os metais podem chegar aos sedimentos normalmente pelos seguintes caminhos: adsorção ou ligação com ligantes orgânicos ou inorgânicos; formando complexos com metais e precipitando no sedimento; ou através da reação de orgânicos com os íons metálicos, ficando em solução até que sejam adsorvidos pelo material em suspensão, que precipitará nos sedimentos de fundo da camada superficial.

2.1.2. Metais em Sedimentos

Os sedimentos de fundo desempenham papel muito importante na avaliação da poluição de mananciais. Eles refletem a qualidade atual do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes, os quais não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais (Näf, 1996). Além disso, os sedimentos podem agir como possíveis fontes de poluição, como por metais pesados, que não são permanentemente fixados por eles, podendo ser novamente disponibilizados para a coluna d'água. Esse processo pode ocorrer a partir das variações nas condições ambientais tais como: mudanças de pH e de potencial redox ou pela presença de quelantes orgânicos (Novontny, 1995).

Para obter uma correta avaliação das quantidades de metais presentes nos sedimentos de fundo de um corpo d'água deve-se distinguir os processos de origem natural (geológicos, biológicos ou hidrológicos) daqueles de ação antrópica.

Nos sedimentos de rios e lagos, os materiais inorgânicos, como óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos e fosfatos, assim como os materiais orgânicos (detritos orgânicos, colóides, bactérias e algas) podem ser um importante meio para avaliação do

nível de contaminação ambiental, pois permitem a ocorrência de trocas químicas com a coluna d'água. A troca de íons da coluna d'água com o sedimento aumenta na fração granulométrica $< 4 \mu\text{m}$, denominada fração argila, não só pela existência de uma maior área superficial, como também porque nesta fração ocorrem argilominerais de diferentes grupos, alguns com elevada capacidade de troca de cátions. Fatores como tamanho da partícula e grau de cristalinidade dos argilominerais influenciam a sorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas. A tendência observada é que, quando o grão diminui, as concentrações de nutrientes e contaminantes aumentam no sedimento de fundo.

A necessidade de se conhecer a fração quimicamente ativa tem levado vários pesquisadores a utilizarem frações finas ($< 63 \mu\text{m}$) para amostragem e análises. Essa fração corresponde ao material mais fino do sedimento de fundo, silte e argila, apresentando maior quantidade de metais que em outras frações granulométricas maiores, mostrando grande interação na superfície do mesmo (Förstner, 1989).

2.1.2.1. Metais Pesados

O termo metais pesados é aplicado para designar elementos (metais) que apresentam densidade superior a $6,0 \text{ g/cm}^3$. Outro termo normalmente utilizado é a denominação metais tóxicos, que se aplica para os elementos não essenciais, como Pb, Cd, Hg e As (Alloway, 1990).

A origem dos metais pesados não está relacionada estritamente a fontes artificiais, podendo os mesmos ocorrer naturalmente em rochas e minerais.

A importância do estudo desses elementos é que eles estão sempre relacionados a problemas de poluição ambiental e intoxicação dos seres vivos.

No ambiente, estes metais tendem a se acumular, provocando elevação constante de seus níveis. Nos seres vivos, tais elementos reagem com ligantes difusores, macromoléculas e ligantes presentes em membranas, o que, muitas vezes, confere-lhes propriedades de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar, provocando distúrbios nos processos metabólicos em diferentes espécies da biota (Tavares & Carvalho, 1992).

A influência direta da natureza da espécie metálica na toxicidade pode ser explicada pelo fato de compostos químicos diferentes de um mesmo metal atuarem de maneira diversificada nos sítios metabólicos sensíveis, apresentando, portanto, diferentes graus de toxicidade e acumulação nos tecidos. Como exemplo, pode-se citar o cromo, que apresenta baixa toxicidade na forma trivalente e alta toxicidade na forma hexavalente (Somerville *et al*, 1985).

2.1.3. Fontes Naturais

Os metais ocorrem naturalmente na natureza. Sua origem na crosta da terra está ligada aos processos na interação crosta-manto.

O grupo de elementos formado pelos metais pesados constitui menos de 1% das rochas na crosta da terra, sendo que os metais maiores (O, Si, Ca, K, Na, Mg, H, S e P) constituem 99% da crosta terrestre.

A ocorrência dos metais pesados pode ser como impurezas ou substituindo elementos constituintes da rede cristalina dos minerais primários. Minerais primários são encontrados nas rochas ígneas e a partir do magma fundido que foram cristalizados. Nas rochas sedimentares que ocupam uma grande parte da superfície da terra, os metais pesados ocorrem absorvidos pelos minerais secundários, sendo estes produtos de alterações dos minerais primários (Förtner & Muller, 1981)

Os processos de intemperismo que as rochas sofrem na crosta da terra liberam os metais pesados para os diversos ambientes da superfície da mesma. Estes metais podem ser transportados para os rios, lagos, represas e solos, a muitos quilômetros de distância da sua origem, através de carreamento de águas de chuva e do ar.

2.1.4. Fontes Artificiais

As principais fontes artificiais que contribuem com o acúmulo de metais pesados nos corpos d'água são os despejos decorrentes principalmente de processos industriais na forma de substâncias químicas orgânicas e/ou inorgânicas. Dentre os efluentes orgânicos encontram-se os de origem industrial, os domésticos e os da pecuária; os efluentes inorgânicos podem ter sua origem nas indústrias e nas minerações (Filho, 1995).

2.1.5. Propriedades Gerais dos Metais

2.1.5.1. Metais Pesados

2.1.5.1.1. Cádmio

Segundo Alloway (1993), este elemento é uma descoberta relativamente recente, e é de pouca abundância entre os metais.

O cádmio é encontrado na natureza na forma de sulfeto, óxido, carbonato e em misturas de minerais de Zn, Cu, e Pb.

A mobilidade desse elemento está relacionada com a matéria a que ele se encontra adsorvida. Por exemplo, quando ele está adsorvido pela matéria orgânica, está relativamente imóvel nos sedimentos.

Em águas naturais sua ocorrência e mobilidade podem ser influenciadas pela adsorção através da biota aquática, como as águas marinhas, que têm grande habilidade em acumular, remover e reter o cádmio.

As principais fontes de contaminação do solo pelo cádmio são a mineração e a fusão do Cádmio e Zinco; a disposição de lixo contendo o elemento (devido a incineração de containers plásticos e de baterias); poluição atmosférica de indústrias metalúrgicas; uso de lodo de esgotos em solos; e a queima de combustíveis fósseis. Mesmo antes do Cd ter uso comercial, a contaminação já ocorria provenientes de

grandes variedades de materiais que continham o Cd como impurezas, sendo os fertilizantes fosfáticos um exemplo.

O cádmio não possui função biológica e é altamente tóxico às plantas e aos animais, mas os níveis encontrados normalmente na natureza não causam toxicidade aguda. O maior risco à saúde humana vem de sua acumulação crônica nos rins, podendo acarretar a disfunção dos órgãos. As principais vias pelas quais o cádmio entra no corpo humano são os alimentos contaminados, as exposições ocupacionais aos vapores de CdO e através do fumo.

2.1.5.1.2. Cobre

Conforme Alloway (1993), o cobre é considerado um dos elementos mais essenciais e importantes para as plantas e animais.

Na natureza ele ocorre geralmente na forma Cu^{2+} , e poucos minerais contêm Cu^0 ou Cu^{1+} , formando sulfetos, sulfatos, carbonatos e outros compostos. Este metal também ocorre como corpo do minério segregado associado a outro sulfeto, com a pirita ou galena, associado ainda como malaquita e galena, sendo estes mais solúveis que os sulfetos, sendo 26º elemento em abundância na litosfera, logo atrás do Zinco.

O Cobre, assim como todos os metais, acumula-se no sedimento podendo ser remobilizado através de formadores de complexos.

As altas concentrações de cobre na superfície do solo são uma indicação da adição de fertilizantes, fungicidas ou bactericidas e outros resíduos contaminados.

A disponibilidade do elemento para as plantas se refere à prontidão com o qual o íon disponível é absorvido pelas mesmas em solos ácidos, neutros e alcalinos.

Ele pode ser altamente tóxico às plantas aquáticas e aos animais quando existir na forma iônica, porém muito menos tóxico quando presente na água, limitado à forma orgânica. Mesmo em concentrações consideradas baixas (0,02 a 0,08 ppm) na água ele pode ser letal a diferentes espécies de peixes. A concentração desse metal nas águas que receberam cargas poluidoras é de aproximadamente 5 ppm.

O cobre não é considerado um elemento tóxico de efeito acumulativo, a não ser em elevadas concentrações, que podem produzir vômitos e, uma ingestão oral prolongada, que pode ocasionar lesões no fígado.

2.1.5.1.3. Chumbo

O chumbo é um metal de ocorrência natural na crosta terrestre. Ele pode ser encontrado em todos os ambientes (água, rochas, ar, solo, sedimento) e em todos os componentes da biosfera.

A concentração desse elemento em rochas varia entre 10 e 20 ppm, sendo que o granito geralmente contém mais chumbo que o basalto.

Solos não poluídos geralmente possuem concentração entre 10 a 40 ppm de chumbo, sendo que os valores normalmente encontrados nos mesmos estão abaixo de 20 ppm (Ewers & Schlipköter, 1991). Com as deposições atmosféricas, a superfície dos solos sempre apresenta concentrações mais elevadas de chumbo do que as partes mais profundas, principalmente quando são solos localizados próximos a rodovias, fábricas, centros industriais e áreas urbanas.

Segundo Chow (1978) a quantidade de chumbo em rios e lagos normalmente varia de 0,1 a 10 mg/L. Já a variação da concentração de chumbo em fontes e lençóis aquáticos depende de condições geoquímicas peculiares. A presença de Pb na água potável pode resultar da contaminação da fonte ou do uso de material rico em chumbo no sistema de distribuição. A concentração de Pb geralmente encontrada na água potável varia entre 2 e 25 mg/L.

O chumbo e seus componentes são lançados no meio ambiente em qualquer fase: durante a mineração uso, fundição, reciclagem, processamento e disposição. Fontes estacionárias e móveis de emissão desse elemento tendem a se concentrar em áreas de elevadas densidades populacional ou próxima a fundição.

Esse metal se move através dos vários compartimentos ambientais. Ele é depositado na superfície da água, no solo e plantas e assim ele é incorporado às cadeias alimentares do homem e de animais, podendo ainda, ser inalado por humanos e plantas diretamente da atmosfera.

É difícil analisar a ingestão diária total desse elemento, pois seu consumo varia amplamente entre as populações e indivíduos. Além disso, há muitas informações em literatura que não são compatíveis com a concentração real do elemento, impossibilitando interpretações mais seguras. Segundo Fellenberg (1980), o chumbo assimilado através do trato digestivo não é o que oferece perigo maior, pois através do estômago e intestinos, ele é absorvido parcialmente. O maior perigo está no chumbo e no tetraetilchumbo contidos no ar, pois quando estes são inspirados atingem os pulmões e são absorvidos de modo mais rápido e completo do que no trato digestivo.

2.1.5.1.4. Zinco

Na crosta terrestre este elemento é normalmente encontrado como sulfeto e, muitas vezes associado a sulfetos de outros metais como o Cu, Cd, Pb e Fe, sendo que seus compostos geralmente têm a valência +2.

No sistema aquático o Zinco acumula-se no sedimento, sendo que cerca de 45 a 60% se apresenta de forma residual e, portanto, não é acessível para organismos aquáticos. Porém, esse metal pode ser remobilizado do sedimento através de formadores de complexos.

Alguns estudos feitos em ambientes aquáticos mostraram que o Zinco não é considerado altamente tóxico aos organismos. Entretanto, o lançamento de quantidades consideráveis do elemento nesses sistemas, pode exercer um efeito de ruptura nas membranas celulares externas ou em paredes celulares dos organismos, acarretando em uma mortalidade mais rápida (UNEP). No momento, muitos estudos apontam para o fato de que o Zinco não é prejudicial somente em concentrações altas, mas também em concentrações mais baixas, geralmente após exposição prolongada.

Segundo Alloway (1993), o Zn é um elemento traço essencial aos seres humanos, plantas superiores e animais. A deficiência deste elemento resulta em prejuízo para o funcionamento adequado do organismo e no desenvolvimento dos seguintes sintomas: falta de apetite, deficiência no crescimento, lesões na pele e imaturidade sexual. Porém, a complementação do elemento a níveis fisiológicos, possibilita a reversão dos mesmos.

2.1.5.1.5. Arsênio

O arsênio é um elemento largamente disseminado, tendo como fonte grande número de rochas, com concentração aproximadamente na ordem de ppm. Normalmente as concentrações desse elemento estão intimamente associadas a mineralizações de sulfetos (Förstner & Wittmann, 1983).

O arsênio está presente na natureza em diferentes estados de oxidação, formando vários compostos. Nas rochas do Quadrilátero Ferrífero, ele ocorre geralmente em minerais como o arsenopirita e pirita, que estão associados ao minério de ouro.

Ele pode ser liberado na natureza através de causas naturais, como o contato da água de nascentes e rios com rochas que apresentam elevada concentração do metal. As fontes antropogênicas de arsênio são as atividades de mineração, pesticidas, resíduos industriais a base de arsênio e metalurgia de Au, Pb, Ni e Cu (Bryan, 1992).

Em sua forma mais estável, o arsênio aproxima-se quimicamente do fósforo. Em contato com ar seco e em temperatura ordinária, não se altera; ao ar úmido, esse elemento oxida-se. Na água, ele pode aparecer nas suas formas inorgânicas e orgânicas. A forma mais nociva à saúde humana é a inorgânica, com valência +3 e +5, sendo mais tóxica a forma +3.

O arsênio está entre os metais mais nocivos à saúde assim como o mercúrio, o chumbo e o cádmio. Segundo a organização mundial de saúde em concentrações elevadas - acima de 10 microgramas por litro de água potável - pode provocar vários tipos de cânceres, como o de pele, pâncreas e pulmão, além de abalos ao sistema nervoso, malformação neurológica e abortos.

2.1.5.1.6. Cromo

A concentração deste elemento varia geralmente com a natureza da rocha ou sedimento (Richard & Bourg, 1991), sendo encontrado em maiores concentrações no mineral cromita e em menores quantidades na crocoita.

Os estados de oxidação do cromo variam de -2 a +6, mas apenas o +3 e +6 são estáveis no meio ambiente. O estado trivalente é a forma mais estável sob condições de

redução e está presente como espécies catiônicas como produto de primeira e segunda hidrólises $[\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$; $\text{Cr}(\text{OH})_3]$ na faixa de pH de 4 a 8.

Na natureza pode-se observar a adsorção de Cr^{3+} por minerais do solo. A montmorilolita, por exemplo, consegue adsorver de forma quase irreversível estes íons. A caulinita também possui comportamento semelhante.

Para a maioria das águas não poluídas, a concentração de cromo é de $50\mu\text{g/L}$. Este valor é recomendado para a água potável pela Comissão de Comunidades Europeias e WHO (1993).

O cromo é um elemento essencial para o ser humano devido ao papel biológico que ele exerce. Após rever estudos em humanos, Catleman e Ziem (1988) verificaram que a deficiência desse elemento resulta em resistência a insulina. Os sinais de deficiência em animais incluem crescimento prejudicado, concentrações de colesterol e triglicérides séricos elevados, lesões nas córneas e diminuição da fertilidade.

2.1.5.1.7. Níquel

Segundo Bowen (1979), o níquel é encontrado em depósitos naturais combinando com ferro ou cobre, como contaminante da atmosfera urbana e em alimentos vegetais e industrializados.

As fontes mais importantes de níquel são as misturas de minérios sulfurosos que apresentam esse elemento como principal constituinte.

Os Manuais para Gerenciamento de Recursos Hídricos mostram que a crosta terrestre é composta em aproximadamente 0,015% de níquel.

Esse elemento situa-se entre os metais pesados particularmente móveis. Existem indicações de complexos orgânicos do níquel que estariam possivelmente ligados a ácidos húmicos ou queladores sintéticos.

O níquel acumula-se no sedimento, em musgos e plantas aquáticas superiores. No ambiente aquático, a toxicidade pelo níquel indica tolerâncias que variam amplamente e são influenciados por vários fatores, entre eles o pH e o efeito sinérgico. Segundo CETESB (1985), a toxicidade de níquel para os peixes varia de 380 a $730\mu\text{g/L}$, sendo que, em concentrações de $0,51\mu\text{g/L}$, pode causar danos a uma série de vegetais, como

tomates e frutas cítricas. De acordo com o CONAMA (1986), o teor máximo de níquel nas águas destinadas ao abastecimento doméstico é 0,025mg/L.

A USEPA (2003), sugere que não há registro de efeitos à saúde do homem quando exposto a concentrações de níquel superior ao limite máximo aceitável, por curtos espaços de tempo. No entanto, quando a exposição ocorre por longo tempo, com concentrações acima do limite recomendado, pode ocorrer perda de peso, comprometimento do coração e fígado e irritação da pele. Já a deficiência de níquel altera o metabolismo da glicose.

2.1.5.1.8. Cobalto

Esse elemento tem um comportamento semelhante ao do níquel em muitas propriedades físicas. Embora o cobalto seja encontrado em menor abundância do que o níquel, freqüentemente ambos estão associados em uma série de minerais.

O cobalto ocorre em minerais com o tipo de estrutura da pirita, tais como: arsenopirita, bravorita e catierita, mas a sua principal fonte mineral é a cobalita.

A concentração desse elemento em rochas ígneas é encontrada com maior freqüência nos tipos máficos e ultramáficos, onde há uma grande correlação da concentração de cobalto com o número total de moles de ferro e magnésio. Nas rochas graníticas, onde a concentração de magnésio é proporcional a concentração de cálcio, a correlação do cobalto é principalmente com o magnésio.

Os sedimentos apresentam uma concentração de Cobalto média de 12 ppm. A variação dos teores nos solos é de 10 a 15 ppm. A concentração média na água é de 0,19 ppm (Wedepohl, 1978).

A exposição de pessoas e animais aos níveis de cobalto normalmente encontrados no ambiente não é prejudicial à saúde. As pessoas podem se expor a pequenas quantidades do mesmo através do ar, das águas que bebem e dos alimentos que o contém.

Segundo (Krause, 1998) a deficiência de cobalto ocorre apenas na medida em que ela está relacionada à deficiência de vitamina B12.

2.1.5.1.9. Estrôncio

Em seu estado elementar, este elemento ocorre de forma natural em todo o meio ambiente, incluindo rochas, solo e ar.

O estrôncio é encontrado associado aos feldspatos e, secundariamente, aos minerais ferro-magnesianos. Quando exposto ao ar, o estrôncio se oxida rapidamente e quando reage com a água, produz hidróxido, liberando hidrogênio. Esse elemento é menos básico que bário e mais básico do que o cálcio. Ele pode participar de estruturas de sulfetos e carbonatos, principalmente em depósitos hidrotermais.

O estrôncio tem uma grande mobilidade durante o intemperismo, especialmente durante a decomposição de feldspatos (Wedepohl, 1978).

Os compostos de estrôncio solúvel em água constituem maior ameaça para a saúde dos humanos que os compostos insolúveis. As pessoas podem estar expostas a pequenas quantidades de estrôncio através do ar, dos alimentos, da água e por contato com o solo que o contém. As concentrações de estrôncio encontradas em certos alimentos, contribuem para o acúmulo do mesmo em nosso corpo. O único composto de estrôncio que é considerado perigoso para saúde humana, em pequenas quantidades, é o cromato de estrôncio.

2.1.5.1.10. Molibdênio

O molibdênio é um elemento que está associado aos óxidos de alumínio e hidróxidos de ferro. Ele é mais abundante em rochas graníticas, mas também é encontrado nas estruturas dos silicatos. Nos óxidos de ferro-manganês, baixos teores do mesmo são encontrados. Na goetita, hematita e nos óxidos de manganês de origem carbonatadas as concentrações desse elemento são mais elevadas, observando-se maiores teores na magnetita. (Wedepohl, 1978).

Suas funções biológicas são atualmente bem conhecidas. Sabe-se que ele é absolutamente indispensável à vida dos microorganismos vegetais e animais e ao desenvolvimento normal do homem. Essa importância para os seres humanos se deve ao fato de que o mesmo faz parte de todas as enzimas que catalisam as reações de óxidos redução que ocorrem no organismo. No corpo humano, o molibdênio é encontrado, sobretudo no fígado, nos rins e nas glândulas supra-renais, lugar da atividade de numerosas enzimas ligadas a ele. O papel das elevadas concentrações desse elemento nos ossos e nos músculos estriado não é reconhecido.

Segundo (Nilsen 1994 in Krause 1998) não se conhecem casos descritos de carência de molibdênio devido à alimentação, pois ele se encontra particularmente nos legumes, na carne e no leite.

2.1.5.1.11. Bário

O bário é um elemento relativamente abundante encontrado combinado com outros elementos em terras, rochas, e minerais. Ele é encontrado principalmente nas estruturas de feldspatos e micas, muitas vezes substituindo o cálcio. O bário é encontrado de forma predominante em duas combinações naturais: na barita (sulfato de bário) e witherite (carbonato de bário).

Este elemento está presente nas águas do mar, de rio, e de poço; e é também encontrado em sedimentos e águas naturais que estão em contato com as rochas sedimentares.

A concentração de bário presente em quase todas as águas superficiais é de até 15 000 µg/L. Em escala de abundância, ele é o sétimo entre os elementos secundários e décimo sexto entre os elementos não-gasosos na crosta da terra (McCctcheon *et al*, 1992)l.

Se ingerido, dissolve-se rapidamente na presença do ácido clorídrico do estômago, sendo absorvido e depositado sobre os pulmões, músculos, ossos, e órgãos internos. Nessas circunstâncias, uma solução de sulfato (como o sulfato de sódio ou de magnésio) deverá ser usada imediatamente como antídoto, permitindo a formação e precipitação do sulfato de bário, inócuo, o que evita uma posterior absorção do sal

solúvel. A ingestão do bário mesmo em pequena quantidade causa dificuldades respiratórias, aumento da pressão arterial, alteração no ritmo cardíaco, irritação no estômago, enfraquecimento dos músculos, mudanças nos reflexos nervosos, edema cerebral e alterações prejudiciais ao fígado, rins, coração e baço, provocando ainda, sintomas agudos de envenenamento como salivação excessiva, vômitos, diarreia, falta de ar, paralisia e taquicardia. Doses de cerca de 0,8g de carbonato de bário são consideradas letais e a morte em seres humanos ocorre rapidamente por falência cardíaca ou respiratória.

2.1.5.1.12. Vanádio

O vanádio é um elemento raro e é encontrado combinado em alguns minerais. Ele é um elemento quimicamente parecido com o arsênio, sendo encontrado em depósitos sulfetados associado com Cu, Zn, Pb e Mn e também em silicatos e micas.

Experimentalmente, pôde-se demonstrar que o vanádio tem uma ação sobre a contração das fibras musculares cardíacas, sobre a função da bomba de sódio e do metabolismo dos glicídeos e dos lipídeos. O vanádio parece possuir um metabolismo ligado ao do fósforo. Ele se apresenta em numerosas reações enzimáticas, nas quais o fósforo é o encarregado (enzimas de transferência pela fosforilação). Seu papel específico parece ser o de regulador da bomba de sódio. É também um cofator para certas enzimas como a adenilciclase e as transaminases. Seu metabolismo é provavelmente ligado a certas funções endócrinas. Certos autores responsabilizam o vanádio pela gênese de algumas depressões. Com efeito, nota-se nesses pacientes taxas altas de vanádio no sangue sérico. Por outro lado sabe-se que certos remédios psicotrópicos reduzem a disponibilidade do vanádio.

WHO (1993) sugeriu que doses de 35 mg de vanádio sejam consideradas imediatamente perigosos à vida e saúde, sendo este o nível de exposição a uma substância química que é provável para causar problemas de saúde permanentes ou morte.

2.1.5.1.13. Ítrio

O ítrio é um elemento químico raro, que é encontrado na natureza em pequenas quantidades, principalmente na monazita (fosfato de terra raras) e no zircão. O ítrio é pouco solúvel em água com fluoretos, carbonato e hidróxidos.

Nas águas de rios a concentração deste elemento é baixa, ficando em torno de 0,7µg/L, podendo sua concentração chegar a valores próximos de 9 µg/L. (McCutcheon *et al.*1992)

Esse elemento é perigoso para as pessoas em seu ambiente de trabalho, devido a partículas que podem ser inaladas através do ar, podendo produzir danos nos pulmões e fígado, especialmente durante a exposição a longo tempo.

Em animais aquáticos, o ítrio causa danos nas células das membranas, exercendo influência negativa na reprodução e nas funções do sistema nervoso.

Embora não se conheça o mecanismo biológico preciso do íon ítrio em nosso organismo, sua ação sobre o cérebro humano é há muito reconhecida: seu excesso causa vários distúrbios cerebrais, havendo suspeitas de que sua falta seja responsável, pelo menos em parte, por levar paciente a estados depressivos.

2.1.5.1.14. Ferro

Os principais minérios de ferro de ocorrência natural são hematita (Fe_2O_3), limonita [$\text{FeO}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$], magnetita (Fe_3O_4) e siderita (FeCO_3). Esses minérios aparecem geralmente contaminados com silicatos complexos de ferro (Cox, 1997).

Em virtude das afinidades geoquímicas, o ferro quase sempre é acompanhado pelo manganês, o que confere certa adstringência e coloração avermelhada a água. Essas características não indicam a toxicidade do ferro, porém elas trazem diversos problemas para o abastecimento público de água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. (Oliveira, 1987).

Na água, o ferro pode estar na forma oxidada e/ou reduzida. As concentrações dessas formas dependem de fatores físico-químicos, com o potencial redox, pH e temperatura, que exerce maior importância. Nas águas que apresentam pH abaixo de

7,5, acompanhado de baixas concentrações de oxigênio dissolvido e potencial redox baixo, o Fe^{+3} reduz para Fe^{+2} . Nos lagos, locais onde a água possui oxigênio em toda sua coluna e pH pouco básico, ocorre uma precipitação do ferro na forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. O ferro também pode estar suspenso na água, adsorvido a partículas ou complexado a substâncias orgânicas. No meio aquático, o ferro é um elemento importante para o metabolismo de certas bactérias (Esteves, 1988).

Este elemento é essencial a todas as formas de vida, sendo um componente chave na manutenção da homeostase celular. Muitos processos biológicos são mediados por enzimas que requerem o ferro como co-fator para seu funcionamento. Porém a maior parte do ferro encontra-se na hemoglobina, o transportador de oxigênio aos tecidos; uma fração menor está contida na mioglobina (Ganong, 1993).

A deficiência de ferro no organismo leva à anemia hipocrômica microcítica e a alteração do metabolismo muscular (Hillman 1995, Ganong 1993).

2.1.5.1.15. Manganês

O comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em muito de seus aspectos, sendo porém a sua ocorrência mais rara.

O manganês confere coloração negra na água, podendo estar presente na mesma na forma oxidada e/ou reduzida e apresentando dois estados de oxidação (Mn^{+2} - forma mais solúvel - e Mn^{+4} - forma menos solúvel). Na água o Mn precipita-se sob a forma de MnS , $\text{Mn}(\text{OH})_2$, MnCO_3 e solubiliza-se normalmente como $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ Esteves (1988).

A concentração dessas duas formas iônicas depende de fatores físico-químicos, principalmente, pH e potencial redox.

O manganês é um metal essencial, embora a exposição humana e de animal a níveis altos possa causar problemas graves. Com o intuito de afirmar essa constatação, Wennberg, *et al* (1991) avaliou trabalhadores que foram expostos de forma crônica a níveis elevados de manganês no ar. Constatou que os mesmos sofreram distúrbios mentais e emocionais, além de apresentarem movimentos do corpo mais lentos e descoordenados. O mesmo estudo aponta, porém para o fato de que a exposição por

tempo prolongado a baixos níveis de manganês, também está associada a sinais precoces de danos neurológicos. A doença causada pelo excesso de manganês, responsável pela combinação de sintomas, é chamada de manganismo. Os sintomas da dessa doença podem ser reduzidos por tratamento médico, mas se houver níveis elevados de manganês acumulados no cérebro, a lesão nesse órgão será permanente (ATSDR, 1997).

Não se sabe ao certo se a ingestão de níveis elevados de manganês pode causar manganismo. Em um relatório, humanos expostos à água potável com concentrações elevadas desse elemento, desenvolveram sintomas similares aos vistos em mineradores de manganês ou trabalhadores de plantas de produção de aço, mas não se sabe ao certo se os efeitos foram causados pelo manganês isoladamente. Outro relatório apontou que pessoas que bebiam água com níveis de manganês acima da média aparentavam uma maior frequência de sintomas como fraqueza, rigidez muscular e tremor das mãos. No entanto, esses sintomas não são específicos ao manganês, e podem ter sido causados por outros fatores (ATSDR 1997).

Outros estudos realizados com animais têm mostrado que níveis elevados de manganês na comida ou na água podem causar mudanças no cérebro, o que sugere que tais níveis possam causar lesões cerebrais. Além disso, indicaram que o manganês também pode ser um intoxicante reprodutivo, especialmente para machos, danificando os testículos e causando impotência (WHO, 1999).

2.1.5.2. Metais Maiores

2.1.5.2.1. Cálcio

O cálcio é um elemento encontrado em abundância na maioria das águas do planeta (Lacerda *at al*, 1987).

Ocorre também em minerais como a gipsita (CaSO_3), apatita ($\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), e em quantidades maiores na dolomita (MgCO_3), no giz, calcário e mármore, que são as diversas formas do carbonato de cálcio (CaCO_3), o principal cátion na maioria das águas naturais.

Praticamente todas as rochas agem como fonte de Cálcio, mas a concentração é geralmente maior em águas que drenam regiões de rochas calcárias sendo um dos elementos responsável pelo fenômeno da dureza em águas naturais.

Ele é um elemento importante na dieta de homens e animais. Uma pessoa adulta contém em média 1,25 kg de cálcio no corpo, sendo que desta quantidade aproximadamente 99% encontra-se nos ossos e dentes. Esses íons são os responsáveis também pela contração muscular, sendo de grande importância para a manutenção dos batimentos cardíacos. Muitas variedades de câibras podem ser relaxadas pela ingestão desse elemento.

Uma baixa ingestão de cálcio, principalmente durante a infância acarreta em problemas futuros, principalmente na velhice, sendo comuns nessa etapa da vida quadros de osteoporose (Crouse *et al*, 1983).

2.1.5.2.2. Sódio

O sódio é um dos metais alcalinos mais presentes nas águas, sendo o maior responsável pelo constante aumento da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Isto se deve às próprias características do metal que lhe conferem uma baixa estabilidade química e uma solubilidade elevada. (Feitosa & Filho, 1997)

O aumento da concentração de sódio na superfície da água pode provir de esgotos, efluentes industriais e uso de sais em rodovias para controlar neve e gelo. A última fonte citada também contribui para aumentar os níveis de sódio nas águas subterrâneas.

Em regiões litorâneas a intrusão de águas marinhas pode também resultar em níveis mais altos desse elemento nas águas destinadas ao consumo.

A concentração de sódio na superfície das águas natural varia consideravelmente e, é dependente das condições geológicas locais, de descargas de efluentes e do uso sazonal de sais em rodovias.

A concentração limite estabelecida por WHO (1993) para sódio nas águas potáveis é 200 mg/L, sendo comumente medida onde a água é utilizada para beber ou para agricultura, particularmente na irrigação (CETESB, 2000).

Na constituição das plantas e animais ele é encontrado na forma iônica (Na^+), sendo um elemento essencial para os organismos vivos podendo estar presente em grandes quantidades. Uma pessoa adulta tem aproximadamente 83g de sódio no corpo, principalmente nos ossos e na água extracelular. Os rins têm a função de manter o seu equilíbrio eletrolítico no organismo, exercendo também o controle da pressão sanguínea. A ingestão desse elemento deve ser evitada por pacientes com quadros hipertensivos. (Crouse *et al*, 1983).

2.1.5.2.3. Magnésio

Juntamente com o Cálcio, o Mg confere dureza à água e está amplamente distribuído na natureza, encontrado em diversos minerais, sendo que as maiores concentrações estão na biotita, anfibólios e piroxênios. O magnésio apresenta boa solubilidade e quando em solução tem a tendência de nela permanecer. (Lacerda *et al*, 1987).

A principal função bioquímica do magnésio é a fotossíntese. A clorofila contendo magnésio, através da energia fornecida pelo sol, converte a água e o dióxido de carbono em açúcares, a fonte básica de energia dos organismos vivos junto com o oxigênio.

No homem, o magnésio é aparentemente essencial para o funcionamento do sistema neuromuscular, sendo encontrado em todas as células do nosso corpo. Porém, em concentrações elevadas pode levar ao colapso do sistema nervoso central. Afortunadamente, os rins excretam o magnésio com muita facilidade, de maneira que raramente irá ocorrer o envenenamento por magnésio. Além de suas funções bioquímicas específicas, compostos inorgânicos do magnésio, como o hidróxido e o sulfato (sal de Epsom) são indicados contra a acidez estomacal (Krause, 1998).

2.1.5.2.4. Potássio

Apesar de pertencer ao grupo dos metais alcalinos assim como o sódio, o potássio apresenta características bem particulares.

Ele é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais já que rochas que o contem são relativamente resistentes a ação do tempo. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura e dessa forma entram nas águas doces como descargas industriais e pela lixiviação das terras agrícolas. Em águas naturais, as concentrações desse elemento são usualmente menores que 10 mg/L. Concentrações elevadas, da ordem de grandeza de 100 e 25.000 mg/L, podem indicar a ocorrência de fontes quentes e salmouras, respectivamente.

O Potássio é usualmente encontrado na forma iônica e seus sais são altamente solúveis. Ele apresenta-se pronto para ser incorporado a estruturas minerais e acumulado pela biota aquática, pois é um elemento nutricionalmente essencial.

Para os homens ele é um elemento importante que constitui cerca de 5% do conteúdo total de minerais no organismo. Assim como o cloro e o sódio estão envolvidos no balanço e distribuição de água, no equilíbrio osmótico, no equilíbrio ácido-base e na regulação da atividade neuromuscular. Promove, também, o crescimento celular. É absorvido através do trato intestinal e excretado pela urina, fezes e suor. Os rins mantêm os níveis de soro através de sua habilidade de filtrar, reabsorver e excretar potássio (Krause & Cols, 1998).

2.1.5.2.5. Alumínio

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre, sendo precedido apenas pelo silício e pelo oxigênio (Rochow, 1987).

Na água, este elemento é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes, sendo sua solubilidade baixa em pH entre 5,5 e 6,0. O alumínio pode apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação, e conseqüente anaerobiose, não forem muito fortes, o teor de alumínio

diminui no corpo de água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez. Outro aspecto importante da química do alumínio é sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas. Nesta forma, ele é extremamente tóxico à vegetação e pode ser levado para os corpos d'água.

A via mais importante de exposição humana ao elemento de forma não ocupacional é pela ingestão de alimentos e água (CETESB, 1999). Os efeitos resultantes da ingestão de alumínio dependem obviamente da absorção, esta, por sua vez, depende da forma química do metal, sendo vários os fatores responsáveis pela biodisponibilidade do alumínio (Fimreite *et al*, 1997; Roberts *et al*, 1998). Estudos mostram que cerca de 75 a 95% do alumínio ingerido é eliminado na urina e nas fezes, o restante é absorvido e depositado em vários órgãos como os ossos e pulmões (Alfrey, 1986).

No homem, a concentração plasmática usual de alumínio é de aproximadamente 5 mg/L, sendo seu maior carreador a transferrina (Alfrey, 1986). A sua toxicidade está reconhecidamente associada a várias complicações clínicas, destacando-se nestas as disfunções neurológicas como o mal de Alzheimer (Luckey & Venugopal, 1977). O alumínio está ainda envolvido com a mobilização do fosfato ósseo (Oniwanwa *et al*, 1997).

2.2. Parâmetros Físico-Químicos

2.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Define-se como pH a variável que caracteriza o grau de acidez ou de basicidade de uma amostra, indicando as relações entre os íons hidrogênio- H^+ carregados positivamente, com os íons oxidrila- OH^- carregados negativamente.

Quando ocorre equivalência entre esses íons, a amostra é neutra; quando há predominância dos íons hidrogênio- H^+ ela é ácida e, quando há predominância dos íons hidroxila - OH^- , a amostra é básica ou chamada de alcalina.

Por interferir no equilíbrio químico que ocorre naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente sendo devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Porém, o efeito indireto também é muito importante. O pH pode ditar em determinadas condições a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e também exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes.

Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

Em estações de tratamento de águas, são várias as unidades cujo controle envolve as determinações de pH. A coagulação e a floculação que a água sofre inicialmente é um processo unitário dependente do pH. Existe uma condição denominada “pH ótimo” de floculação que corresponde à situação em que as partículas coloidais apresentam menor quantidade de carga eletrostática superficial. Sabe-se que as águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes. Por isso o pH da água final deve ser controlado, para que os carbonatos presentes sejam equilibrados e não ocorra nenhum dos dois efeitos indesejados mencionados.

O pH é padrão de potabilidade, devendo as águas destinadas ao abastecimento público apresentar valores entre 6,5 e 9,5, de acordo com a Portaria 518 do Ministério da Saúde.

Em processos de tratamento físico-químicos de efluentes industriais vários são os exemplos de reações que dependem do pH: a oxidação química de cianeto e a precipitação química de metais pesados ocorrem em pH elevado; a redução do cromo hexavalente à forma trivalente e a oxidação química de fenóis ocorrem em pH baixo; a quebra de emulsões oleosas se dá mediante acidificação; o arraste de amônia convertida à forma gasosa ocorre sob elevação de pH, etc. Desta maneira, o pH é um parâmetro de fundamental importância no controle dos processos físico-químicos de tratamento de efluentes industriais (CETESB, 2000).

Outra consideração importante é que os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em conseqüência, alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar o desaparecimento dos seres presentes na mesma (Derisio, 2000).

2.2.2 Alcalinidade

A alcalinidade mostra a concentração total de bases, dependendo da presença de sais de ácidos fracos, carbonatos, em especial dos bicarbonatos em solução e hidróxidos, ocasionalmente dos silicatos e fosfatos, indicando na verdade a presença maior ou menor de sais dissolvidos ou não.

Ela mede a maior ou a menor capacidade de neutralização dos ácidos, podendo se assemelhar à dureza temporária por representar também a fração instável. Ou seja, o total de sais insolúveis ou de baixa solubilidade (carbonatos/hidróxidos) presente é dependente de certos aspectos físicos da água. Por isso é que, às vezes, é chamada de alcalinidade dos carbonatos, mesmo com valores diferentes, ou próximos, encontrados numa mesma amostra, para as duas variáveis, visto a alcalinidade apontar a presença de sais, não estáveis, pouco solúveis e insolúveis.

Como se percebe, a alcalinidade da água se deve à presença de sais de ácidos fracos ou de bases fracas ou fortes em solução, sendo os bicarbonatos representando a sua maior parte, já que estes são formados em quantidades consideráveis pela ação do gás carbônico com materiais básicos encontrados no solo.

Alguns tipos de alcalinidade são encontrados em águas com íons específicos: os hidróxidos de OH^- , os carbonatos de CO_3^{2-} e os bicarbonatos de HCO_3^- . Porém, somente dois tipos podem estar simultaneamente presentes numa mesma água. Logo a reação dos hidróxidos mais os bicarbonatos formam sempre os carbonatos, ou seja, o íon de bicarbonato comporta-se como um ácido fraco na presença de uma base forte (Pádua, 2001).

2.2.3. Temperatura

A temperatura é uma característica das águas, sendo uma medida da quantidade de calor. A permanência de gases na água, ou a solubilidade dos gases nos líquidos é inversamente proporcional à temperatura.

Variações de temperatura são parte do regime climático normal, e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical.

A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais e descargas de usinas termoelétricas.

A temperatura desenvolve um papel importante de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Os efeitos prejudiciais à flora e fauna aquática são provocados pelo aumento da temperatura nos corpos d'água e ocorrem de maneiras indiretas. Um aumento de temperatura implica na movimentação dos seres aquáticos, com conseqüente aumento no consumo de oxigênio dissolvido e na diminuição do poder de retenção do oxigênio através desse líquido (Derisio, 2000).

Os organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (Branco, 1991).

2.2.4.Cloreto

O cloreto é o ânion Cl^- que se apresenta nas águas superficiais em várias concentrações. Sua presença está relacionada com várias fontes tais como: as descargas de esgotos sanitários; os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloretos elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, etc. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da língua salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto.

Nas águas utilizadas para irrigação são importantes as medidas de controle da salinidade total. Isto inclui os cloretos, porque podem ocorrer aumento da salinidade nos solos, justamente na região das raízes das plantas. Este aumento da salinidade nos solos faz com que o potencial osmótico se eleve, prejudicando as plantas devido ao decréscimo da disponibilidade de água. Ainda ocorre o desbalanciamento de nutrientes do solo que são usados pelas plantas para o seu desenvolvimento (Bernardo, 1989).

Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde. O cloreto provoca sabor “salgado” na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade. O cloreto apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocar alterações na pressão osmótica em células de microrganismos.

Os cloretos, juntos com outros íons, são importantes para o equilíbrio ácido-base e ajudam a regular a pressão osmótica das células de organismos vivos. Ele é o maior constituinte dos eletrólitos de fluidos e tecidos do corpo. Uma pessoa adulta com 70 kg possui normalmente 82g de Cl (Crouse *et al*, 1983).

2.2.5. Eh

O Potencial redox ou potencial de oxi-redução (Eh) representa a capacidade que o meio tem de sofrer oxi-redução. Indica ainda a relação do oxigênio com os microrganismos e pode ser utilizado para identificar o ambiente em que o microrganismo é capaz de gerar energia, criar novas células recorrendo ou não do oxigênio molecular. Os microrganismos aeróbios (que necessitam de oxigênio), crescem em valores de Eh positivos, (de +350 a +500 mV-milivolts). Os anaeróbios (não necessitam de oxigênio), geralmente requerem Eh negativo, (em geral inferior a – 150 mV).

Segundo Lindsay (1979) o pH junto com o potencial redox tem forte influência na adsorção de certos metais, pois eles determinam o equilíbrio entre as formas iônicas hidrolisadas destes.

2.2.6. Oxigênio dissolvido

O oxigênio é juntamente com o gás carbônico um dos constituintes gasosos mais importantes encontrados em solução nas águas naturais. Outros gases menos comuns incluem nitrogênio, metano e sulfatos.

O oxigênio dissolvido na água provém principalmente da atmosfera. Outra fonte de oxigênio em águas superficiais é resultante do processo fotossintético de plantas aquáticas, principalmente algas, cujo crescimento excessivo pode resultar em condições de supersaturação de oxigênio. (Powell 1964, McKee & Wolf, 1971)

A solubilidade do oxigênio na água, semelhantemente ao que acontece com os demais gases, varia diretamente com a pressão atmosférica e inversamente com a temperatura da água. Em condições normais de pressão atmosférica e à temperatura de 21° C, um corpo de água pode conter cerca de 9,0 mg/l de oxigênio dissolvido. À temperatura de 10°C, a solubilidade é de aproximadamente 11,0 mg/l; e à temperatura de 30°C a solubilidade cai para cerca de 7,0 mg/l (Hem, 1970). A concentração de oxigênio dissolvido, desta forma, diminui com o aumento da temperatura da água.

Um acréscimo na concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na água resulta também numa diminuição da capacidade de conter oxigênio dissolvido.

Em teoria, o conteúdo do oxigênio em um determinado corpo de água é aquele resultante do equilíbrio deste com a pressão atmosférica e temperatura reinante. Em águas naturais, todavia, este equilíbrio raramente subsiste, pois a temperatura está sempre sujeita a variações, e as atividades físicas, químicas, bioquímicas e biológicas na água estão constantemente utilizando ou liberando oxigênio. O teor de oxigênio dissolvido de um corpo de água, desta forma, é uma propriedade altamente transitória.

O oxigênio dissolvido na água não deve, como parâmetro de qualidade da água, ser encarado como poluente primário, mas ele é considerado como corolário da poluição. De fato, tanto o excesso de oxigênio, que pode eventualmente surgir em consequência do crescimento exagerado de algas, como a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, São sintomas de alteração da qualidade da água que podem ser prejudiciais a vários usos.

É importante salientar que a diminuição ou a ausência de oxigênio dissolvido pode alterar fatalmente o ambiente aquático para peixes e outros animais, assim como originar produtos odoríficos resultantes de processos anaeróbicos.

2.2.7. Turbidez

Através do sentido da visão o homem teve a primeira reação às condições de qualidade da água. Esta reação visual está relacionada com a turbidez. (APHA, 1992).

A turbidez é causada pela presença de materiais em suspensão na água, tais como argila, silte, a amostra.

Na verdade, a turbidez envolve outros aspectos não abrangidos na definição acima, tais como o material em solução, a cor da amostra, o fato de que, na medição, são várias as propriedades ópticas que estão envolvidas. Isto tudo faz com que uma amostra do ponto de vista da turbidez pode estar sofrendo alterações com o tempo, e isto é importante na medição do parâmetro (Carranza & Bembem, 1973).

Pelo fato de que se trata da medida de uma propriedade óptica da amostra, não é recomendada a tentativa de correlacionar os valores de turbidez com a concentração (mg/L) de sedimentos, uma vez que a forma, o tamanho, o índice de refração, etc., das partículas são importantes do ponto de vista óptico, mantendo pouca relação direta com a concentração e a massa específica da matéria em suspensão na amostra.

A medição da turbidez, conseqüentemente, tem despertado mais interesse no controle de qualidade da água pelo fato de que tem sido verificada associação entre a presença de patógenos e a turbidez da água. Além disso, vírus e bactérias podem encontrar proteção contra o tratamento da água nas partículas que resultam na turbidez. Assim, de parâmetro com valor estético apenas, a turbidez tornou-se requisito sanitário importante na qualidade da água para abastecimento público.

2.2.8. Sólidos totais dissolvidos (STD)

Os STD são um parâmetro de qualidade de água que vem a ser a quantidade de material orgânico e inorgânico dissolvido na água. Segundo Feitosa (1997) os sólidos totais dissolvidos equivalem ao peso total dos constituintes minerais contidos na amostra por seu volume.

Em águas naturais as concentrações dos STD podem ser bem variadas, isto porque dependem das condições físico-químicas do meio. Normalmente, as medidas dos valores encontrados para os sólidos totais dissolvidos, em águas de chuvas, são abaixo de 10mg/L, mas para as águas superficiais encontram-se valores próximos de 25mg/L (McCutcheon, 1992).

2.2.9. Condutividade

Também chamada condutância ou condutividade elétrica específica, ela refere-se à capacidade que a água apresenta de conduzir a corrente elétrica. É, portanto, um parâmetro que indica a carga iônica da amostra.

Em qualidade da água, a definição exata da condutividade implica que se trata do recíproco da resistência elétrica (mmho), sendo medida entre faces opostas de 1 cm³ de água à temperatura de 25⁰C (Audry & Suassuana 1995).

As águas naturais geralmente apresentam condutividade inferior a 1 mho e se convencionou, desta forma, usar como unidade de condutividade o mmho (= 10⁻⁶mho). A água pura deveria, teoricamente, apresentar apenas alguns centésimos de mmho, mas é difícil obter-se água com valores nulos de condutividade. A água deionizada em laboratório apresenta valores que variam de 0,5 a 2,0 mmho, em consequência de rápida dissolução do CO₂ atmosférico. Depois de armazenada por alguns dias, a condutividade atinge valores médios variando de 2 a 4 mmho. A água de chuva apresenta valores médios ao redor de 10 mmho, mas valores bem maiores já foram observados.

3.1 Metodologia da coleta

3.1.1 Amostras

O planejamento da amostragem de água e sedimento de fundo foi realizado com auxílio das cartas topográficas de Mariana e de Ouro Preto na escala 1: 25.000 e de quatro fotografias aéreas da região na escala 1:10. 000 e, com emprego de GPS Garmin modelo XL 45.

Foram selecionados 5 pontos de amostragem, sendo que a escolha destes levou em consideração a profundidade e a largura da Represa do Custódio, de maneira que representassem bem esse sistema aquático.

Na determinação da profundidade de cada ponto amostrado usou-se aparelho eletrônico de ultra-som (Sonar Speedtech).

Na Tabela 3.1.1 são descritos os pontos de coleta com suas respectivas variações de profundidade entre os períodos de Chuva e Seca de 2002:

Tabela 3.1.1. Variações da profundidade entre os períodos de chuva e seca.

Pontos de Coleta	Profundidade (m)	
	Período	
	Chuva	Seca
CST1	9	6
CST2	10	7
CST3	13	10
CST4	9	6
CST5	16	12

O trabalho de campo foi realizado com o auxílio da Alcan Alumínio do Brasil S/A que cedeu o barco para efetuar a coleta das amostras de água e sedimento.

Após as coletas das amostras do período de Chuva serem realizadas, utilizou-se as coordenadas geográficas e bóias para identificação dos pontos. O número de amostras coletadas no período de Chuva foi bem maior do que as coletadas na seca. Este fato deve-se ao menor volume de água apresentado pela represa nesse período. A seguir a Figura mostra a localização dos pontos amostrados na represa.

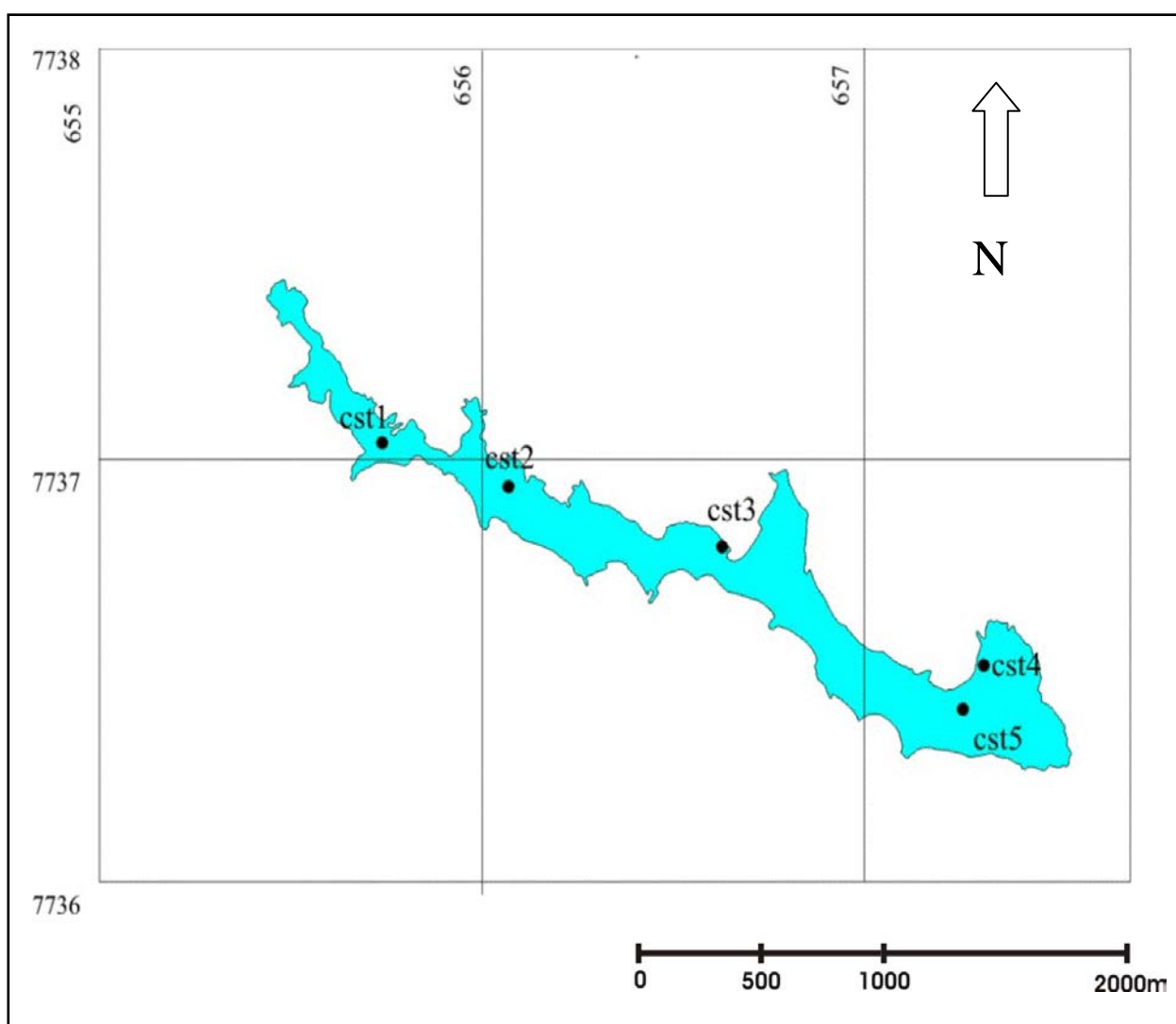


Figura 3.1.1. Localização dos pontos amostrados na Represa do Custódio.

3.1.2. Higienização do material de coleta

A preparação do material de armazenamento das amostras, os frascos de polietileno, constitui-se de procedimentos adequados para impedir a introdução de contaminantes e manter a qualidade das amostras sem interferir nos resultados das análises e, que constam a seguir:

- Lavagem dos recipientes de amostragem com água deionizada por 3 vezes;
- Enchimento dos recipientes de amostragem com uma solução de ácido 2,5% deixando-os de molho por 24 horas;
- Esvaziamento dos recipientes de amostragem e uma seqüência de lavagem com água deionizada, no mínimo 5 vezes;

Os batoques e as tampas dos recipientes de amostragem foram lavados com água deionizada, permanecendo submersos em solução de ácido nítrico 2,5% por 24 horas e lavados em seguidas com água deionizada por no mínimo 5 vezes.

Para o tratamento de limpeza dos materiais de amostragem a metodologia utilizada foi a mesma adotada pela CESTESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento de São Paulo (Agudo, 1988).

3.2. Amostras de Água

A coleta de amostras de água pode parecer uma tarefa simples, entretanto, é uma etapa de pesquisa das mais importantes para a correta interpretação hidroquímica, pois ela representa a síntese do universo estudado, e dela dependem todas as etapas subseqüentes.

Sendo assim, alguns cuidados foram tomados para a coleta de água (Feitosa & Filho, 1997):

- Calibraram-se os aparelhos eletrônicos portáteis (condutivímetro, pHmetro e oxímetro) que foram utilizados para medida de alguns parâmetros no campo;

- As amostras foram coletadas, acondicionadas, transportadas e manipuladas antes da sua análise de maneira a manter suas características, permanecendo inalterados os seus constituintes e suas propriedades;
- Todos os reagentes que foram utilizados na preparação das amostras e na lavagem dos fracos foram de boa qualidade;
- Nos pontos de coleta efetuaram-se a lavagem dos frascos e das tampas com a água do local;
- Coletou-se volume suficiente de amostra para uma eventual necessidade de se repetir alguma análise no laboratório;
- As amostras de água foram coletadas sem a presença de detritos, folhas e outras matérias sólidas.
- Todas as amostras foram identificadas no local da coleta.

As coletas das amostras de água foram realizadas de metro em metro, desde a superfície até o fundo da represa em cada ponto de amostragem, com exceção ao ponto CST5, onde as amostras foram coletadas de dois em dois metros devido a grande profundidade desse ponto. Utilizou-se a Garrafa de Van Dorr para a realização do procedimento (Figura 3.2.1).

Em cada ponto amostrado foram coletados dois volumes de água: amostras com volume de 50 mL que foram filtradas com o auxílio de uma seringa e um filtro, destinando-se às análises de metais e, amostras, com o volume de 1000 mL, destinadas a análise dos parâmetros físico-químicos (sulfato, turbidez, alcalinidade, pH, Eh e cloreto).

No local foram medidos alguns parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (T), utilizando os equipamentos eletrônicos oxímetro portátil modelo CG 867 e o condutivímetro portátil Orion, modelo 115.

No total, foram coletadas 108 amostras nos dias 23/04 e 24/04 no período de chuva de 2002 e 80 amostras nos dias 29/08 e 30/08 no período seco de 2002.



Foto 3.2.1.: Coleta de amostras de água, utilizando a garrafa de Van Dorr e frascos plásticos.

3.2.1 Tratamento e preservação das amostras

Ao final da coleta, as amostras foram levadas para o laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da UFOP, onde parte da amostra de 1000mL foi filtrada a vácuo em uma membrana com 0,45 μm de diâmetro de poros para a retirada de material particulado em suspensão.

Na amostra de 50 mL, coletada para a determinação dos metais pesados, foi realizada a acidificação com HNO_3 concentrado até o $\text{pH} < 2$, provocando assim uma conservação dos elementos de interesse por um período mais longo de tempo e, em seguida fez-se a refrigeração para manter as propriedades química das amostras.

3.2.2 Análise das amostras

Os elementos maiores Na, Ca, Mg, K e Mn foram determinados primeiramente pelo método de Espectrometria de Absorção Atômica de Chama, equipamento de marca Varian, modelo AA475, do Laboratório de Geoquímica do departamento de Geologia da UFOP.

As análises dos metais pesados e os metais maiores: Fe, Na, Mn, Ca, Mg, K, Al, Zn, V, Cr, As, Sr, Y, Zr, Ni, Mo, Ba, Pb, Cu, Co, Cd e Ti foram realizadas por Espectrometria de Plasma (ICP), no Laboratório de Geoquímica da UFOP.

O semimetal As (arsênio) e o metal Pb (chumbo) foram novamente determinados usando a técnica de voltametria de redissolução catódica com onda quadrada (SWCSV) e voltametria de redissolução anódica com pulso diferencial (DPASV), respectivamente. A voltametria foi realizada no Polarógrafo Computrace Metrohm, 757 VA do Laboratório de Geoquímica do departamento de Geologia da UFOP.

Os procedimentos relativos a coleta, preparo e análise das amostras de água estão representadas na Figura 3.2.2.

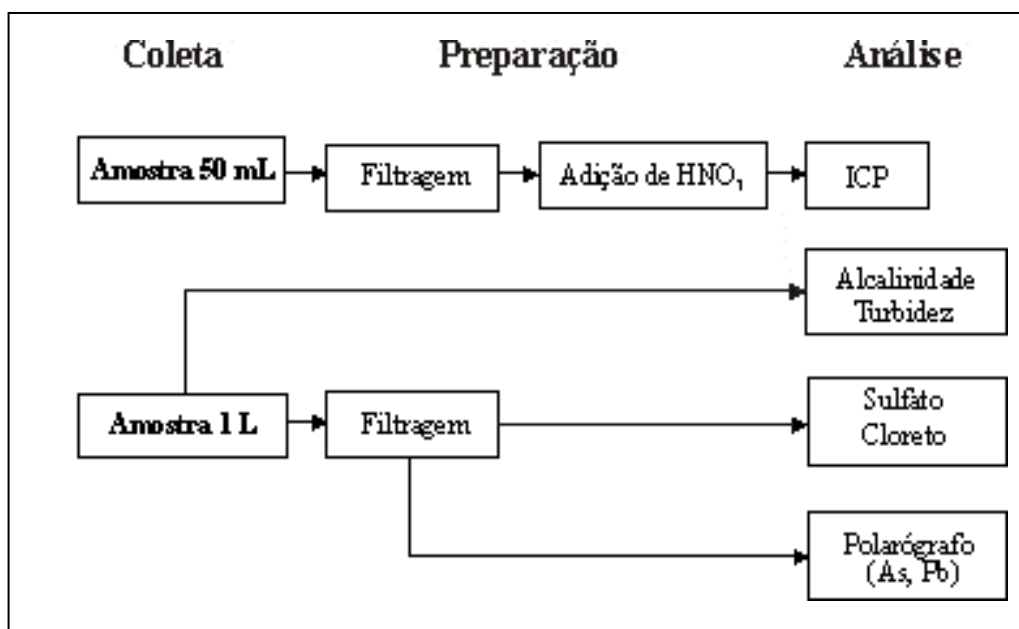


Figura 3.2.2: Procedimentos relativos à coleta, preparo e análise das amostras de água.

3.3. Amostras de Sedimento

3.3.1 Sedimento de Fundo

O estudo do sedimento é de fundamental importância na determinação da qualidade da água, por participar dos poluentes solúveis e insolúveis, além de permanecer localizado no corpo d'água por um tempo maior.

Alguns contaminantes, que geralmente estão na superfície das camadas dos sedimentos de fundo, podem retornar às águas através de variações físico-químicas nas mesmas (alcalinidade, pH, temperatura, níveis de redução/oxidação) e de atividades biológicas e microbiológicas (Agudo, 1988).

Os sedimentos estudados neste trabalho são camadas superficiais do fundo dos corpos de água. Não foram considerados os materiais particulados em suspensão.

3.3.2 Coleta de Amostras

As amostras de sedimentos foram coletadas nos mesmos pontos onde realizou-se amostragem de água (item 3.1.1), exceto no ponto CST4, situado acima de uma rocha onde não havia sedimento. Para esse procedimento foi utilizado um Pegador de Ekman (draga de Ekman).

Foram coletadas 8 amostras de sedimento de fundo, no período de chuva 2002, e 4 amostras na época de seca 2002, tendo cada uma, peso de aproximadamente 2 kg. Estas amostras foram colocadas em sacos plásticos de polietileno, fechadas, etiquetadas e transportadas para o laboratório. A Figura 3.3.2 ilustra a coleta do sedimento em um ponto de amostragem.



Foto 3.3.2 Coleta de amostras de sedimento utilizando Pegador de Ekman.

3.3.3 Análise de Amostras

As amostras foram transferidas para bacias plásticas e cobertas com papel toalha para evitar a contaminação através do ar, sendo em seguida colocadas para secar a temperatura ambiente numa bancada limpa, em sala adequada.

Após a secagem, as amostras foram desagregadas em gral de porcelana e peneiradas em uma série de peneiras de nylon durante 15 minutos, no Laboratório de Processamento Mineral, da Universidade Federal de Ouro Preto. As frações granulométricas obtidas foram de: 0,105mm (150#); 0,088 (170#); 0,063 (230#) e < 0,063mm (< 230 #).

De acordo com estudos realizados que demonstraram que as concentrações mais elevadas de metais ocorrem nas frações mais finas dos sedimentos (Förstner, 1980), retirou-se duas alíquotas da fração de menor granulometria < 0,063 (< 230#) :cerca de 2 gramas, para a determinação mineralógica por difração de raios-X, realizada em

difratômetro, modelo XRD-600 SHIMADZU, pertencente ao laboratório de difração de raios-X do Departamento de Química da Universidade Federal de Ouro Preto; e, cerca de 1 grama para realizar abertura parcial e identificação dos elementos adsorvidos nas amostras.

3.3.3.1. Abertura das Amostras

O método empregado para a abertura das amostras teve como objetivo apenas o ponto de vista ambiental, ou seja, foi realizada uma abertura parcial para extrair os elementos adsorvidos nas superfícies dos minerais e não aqueles que fazem parte das suas estruturas cristalinas. Para abertura das mesmas utilizou-se ácido nítrico e clorídrico concentrados.

As amostras destinadas às análises dos metais maiores Ca, Na, Mg e K foram atacadas e posteriormente lidas através da Espectrofotometria de Absorção Atômica. A Espectrometria de Plasma (ICP), foi utilizada para analisar os metais pesados Fe, Mn, Al, Zn, Cr, Sr, Y, Zr, Ni, Mo, Ba, Cu, Co, Cd, Ti e, os metais que em certas concentrações podem ser considerados tóxicos (Al, Ba e V). Para os metais As e Pb utilizou-se o Polarógrafo para análise de suas concentrações.

Todas as análises foram feitas no Laboratório de Geoquímica, Departamento de Geologia, da Universidade Federal de Ouro Preto.

A Figura 3.3.3.1 mostra a seqüência de passos seguidos para análise dos sedimentos.

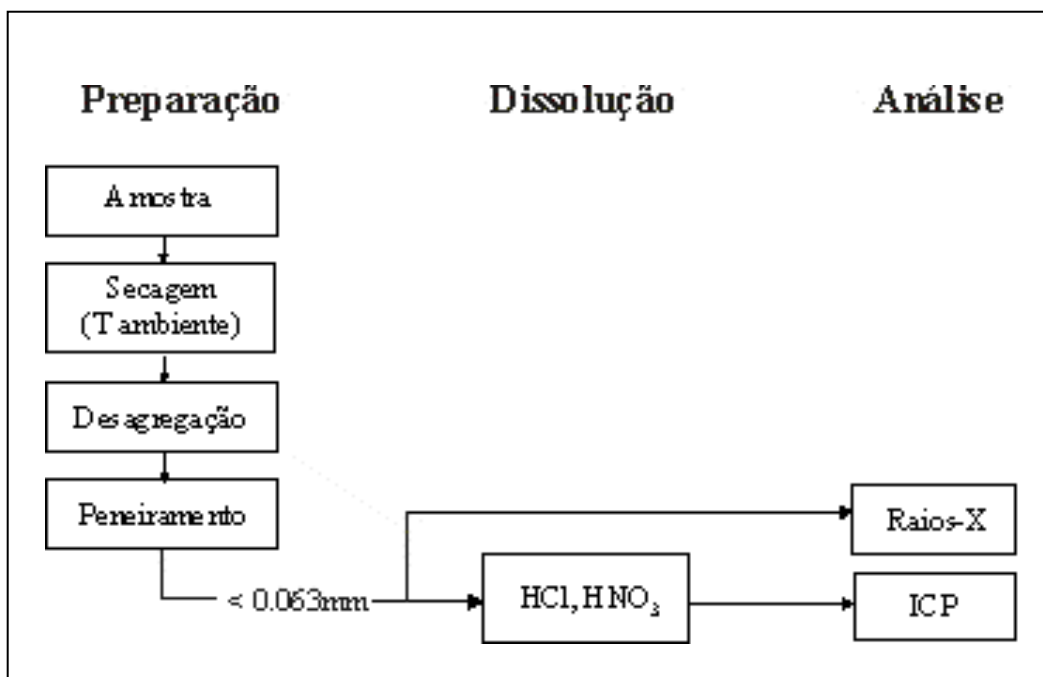


Figura 3.3.3.1: Passos seguidos para o preparo e análise do sedimento.

3.4. Análise Estatística

A análise estatística das concentrações dos metais em água, nos diversos pontos de coleta, foi realizada para mostrar as variações dos mesmos nos corpos d'água da represa. Desde a primeira análise dos valores verificou-se que estes dificilmente poderiam seguir uma distribuição normal; portanto, os testes realizados seguiram a metodologia de testes não-paramétricos, em especial o teste de Mann-Whitney

Para a análise dos metais em sedimentos foi adotada a Análise da Variância ANOVA, com nível de significância de 5%, uma vez que, os coeficientes de variação apresentaram valores baixos, com poucas exceções. Essa análise foi usada para verificar se houve diferenças estatísticas entre as médias das concentrações dos elementos, por período de coleta (chuva e seca) e entre os pontos de coleta num mesmo período.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos no estudo serão apresentados em Tabelas e Figuras em três sub-capítulos.

No primeiro são mostrados os valores dos parâmetros físico-químicos analisados na água da represa: temperatura, turbidez, pH, Eh, sólidos totais dissolvidos, condutividade, alcalinidade, oxigênio dissolvido e cloreto, de acordo com o perfil da represa, em cada ponto de amostragem, no período de chuva e seca.

No segundo sub-capítulo são apresentadas as concentrações dos metais em água nos dois períodos. Os metais analisados foram Na, Ca, K, Mg, Al, As e os pesados Mn, Fe, Cr, Co, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb.

A descrição da mineralogia e os valores das concentrações dos metais nos sedimentos, nos pontos e períodos amostrados (chuva e seca) são mostrados no terceiro sub-capítulo.

Tabela 4.1.B: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de água – período de chuva 2002

Amostra	Profundidade	Temperatura	Turbidez	pH	Eh	STD	Condutividade	Alcalinidade	OD	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
	m	°C	FTU		mv	mg/L	µS/cm	HCO ₃ ⁻ mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CST1	0	23,4	2,00	7,09	202	5,41	8,39	8,84	6,27	0,53	<0,01
	1	23,4	2,00	7,08	198	5,42	8,40	8,11	4,59	0,53	<0,01
	2	23,2	2,00	7,04	191	5,4	8,37	11,1	4,47	0,53	<0,01
	3	23,0	2,00	7,01	194	5,39	8,35	8,84	4,39	0,53	<0,01
	4	23,0	2,00	6,94	187	5,41	8,39	9,58	4,53	0,00	<0,01
	5	23,0	2,00	6,91	196	5,44	8,42	10,3	4,55	0,53	<0,01
	6	22,4	2,00	6,81	199	6,09	9,42	10,3	4,98	0,53	<0,01
	7	21,9	2,00	6,81	198	6,36	9,82	11,8	5,78	0,53	<0,01
	8	22,0	2,00	6,72	171	6,72	10,4	10,3	5,55	0,53	<0,01
CST2	9	21,5	3,00	6,46	121	7,29	11,2	10,3	4,02	0,53	<0,01
	0	23,2	2,00	7,00	182	5,42	8,41	11,8	6,52	0,53	<0,01
	1	23,8	2,00	7,00	177	5,42	8,42	11,8	4,98	0,53	<0,01
	2	23,4	2,00	7,04	187	5,43	8,41	11,8	5,05	0,53	<0,01
	3	22,9	2,00	7,04	178	5,43	8,41	11,8	5,02	0,00	<0,01
	4	23,4	2,00	6,99	185	5,41	8,39	11,8	4,50	0,53	<0,01
	5	22,9	2,00	6,91	185	5,45	8,45	11,8	4,83	0,53	<0,01
	6	22,7	2,00	6,73	211	5,66	8,78	11,8	4,99	0,00	<0,01
	7	22,4	2,50	6,53	201	6,2	9,58	11,8	4,34	0,53	<0,01
	8	23,5	2,50	6,89	177	5,42	8,41	10,3	4,61	0,53	<0,01
CST3	9	21,3	3,00	6,24	178	6,71	10,4	11,8	3,16	0,53	<0,01
	10	22,1	8,00	6,09	109	7,43	11,8	11,8	1,19	0,53	<0,01
	0	22,7	2,00	6,87	207	5,41	8,37	7,37	6,30	0,00	<0,01
	1	23,1	2,00	7,01	211	5,41	8,38	7,37	5,20	0,53	<0,01
	2	22,8	2,00	6,97	207	5,43	8,41	8,84	5,12	0,53	<0,01
	3	22,9	2,00	6,95	211	5,42	8,40	8,84	4,86	0,53	<0,01
	4	23,1	2,00	6,91	215	5,43	8,41	8,84	4,90	0,53	<0,01
	5	22,4	2,00	6,61	217	5,59	8,65	10,3	5,38	0,53	<0,01
	6	22,2	2,00	6,45	223	5,79	8,95	10,3	4,55	0,00	<0,01
	7	21,5	2,00	6,24	234	6,20	9,58	10,3	3,61	0,53	<0,01

Tabela 4.1.B: Continuação dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de água – período de chuva 2002

Amostra	Profundidade	Temperatura	Turbidez	pH	Eh	STD	Condutividade	Alcalinidade	OD	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
	m	°C	FTU		mv	mg/L	mS/cm	HCO ₃ ⁻ mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CST3	8	21,3	3,00	6,13	246	6,47	9,98	10,3	3,16	0,53	<0,01
	9	21,2	3,50	6,08	216	6,73	10,4	8,84	2,43	0,53	<0,01
	10	21,1	3,50	5,98	243	7,29	11,2	10,3	1,52	0,53	<0,01
	11	21,1	4,00	5,96	212	7,58	11,7	11,8	1,17	0,53	<0,01
	12	21,2	4,50	5,98	159	7,90	12,2	10,3	0,72	0,53	<0,01
	13	21,7	5,00	6,06	101	9,23	14,2	10,3	0,21	0,53	<0,01
CST4	0	23,7	2,00	7,11	241	5,43	8,37	7,37	6,49	0,00	<0,01
	1	23,1	2,00	7,14	243	5,42	8,37	11,8	5,40	0,53	<0,01
	2	22,4	2,00	7,13	254	5,41	8,35	10,3	5,40	0,53	<0,01
	3	22,3	2,00	7,03	251	5,44	8,36	10,3	5,36	0,53	<0,01
	4	22,4	2,00	6,94	258	5,43	8,39	11,8	4,86	0,53	<0,01
	5	22,2	2,00	6,63	264	5,62	8,60	11,8	4,59	0,53	<0,01
	6	22,3	2,00	6,28	259	5,75	8,87	10,3	3,52	0,53	<0,01
	7	22,0	2,00	6,08	240	5,98	9,23	10,3	2,58	0,53	<0,01
	8	22,2	3,00	6,14	257	6,10	9,39	10,3	2,38	0,53	<0,01
9	22,1	3,00	6,04	251	6,21	9,55	11,8	2,38	0,53	<0,01	
CST5	0	22,5	2,00	7,01	176	5,56	8,37	8,84	6,21	0,00	<0,01
	2	22,2	2,00	7,04	181	5,48	8,37	8,84	5,12	0,53	<0,01
	4	22,2	2,00	6,90	175	5,49	8,35	8,84	4,92	0,53	<0,01
	6	22,0	2,00	6,62	187	5,58	8,36	10,3	4,43	0,53	<0,01
	8	21,5	3,00	6,14	221	6,16	8,39	10,3	2,39	0,53	<0,01
	10	21,3	3,00	6,16	198	6,78	8,60	11,8	2,35	0,53	<0,01
	12	21,2	4,00	6,15	177	7,40	8,87	10,3	1,50	0,53	<0,01
	14	21,1	4,00	6,14	146	7,67	9,23	8,84	1,01	0,53	<0,01
16	21,0	7,00	6,43	54,0	10,6	9,39	11,8	0,92	0,00	<0,01	

Tabela 4.1.B: Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de água – período de seca 2002

Amostra	Profundidade	Temperatura	Turbidez	pH	Eh	STD	Condutividade	Alcalinidade	OD	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
	m	°C	FTU		mv	mg/L	µS/cm	HCO ₃ ⁻ mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CST1	0	23,4	2,00	7,09	202	5,41	8,39	8,84	6,27	0,53	<0,01
	1	23,4	2,00	7,08	198	5,42	8,40	8,11	4,59	0,53	<0,01
	2	23,2	2,00	7,04	191	5,4	8,37	11,1	4,47	0,53	<0,01
	3	23,0	2,00	7,01	194	5,39	8,35	8,84	4,39	0,53	<0,01
	4	23,0	2,00	6,94	187	5,41	8,39	9,58	4,53	0,00	<0,01
	5	23,0	2,00	6,91	196	5,44	8,42	10,3	4,55	0,53	<0,01
	6	22,4	2,00	6,81	199	6,09	9,42	10,3	4,98	0,53	<0,01
	7	21,9	2,00	6,81	198	6,36	9,82	11,8	5,78	0,53	<0,01
	8	22,0	2,00	6,72	171	6,72	10,4	10,3	5,55	0,53	<0,01
	9	21,5	3,00	6,46	121	7,29	11,2	10,3	4,02	0,53	<0,01
CST2	0	23,2	2,00	7,00	182	5,42	8,41	11,8	6,52	0,53	<0,01
	1	23,8	2,00	7,00	177	5,42	8,42	11,8	4,98	0,53	<0,01
	2	23,4	2,00	7,04	187	5,43	8,41	11,8	5,05	0,53	<0,01
	3	22,9	2,00	7,04	178	5,43	8,41	11,8	5,02	0,00	<0,01
	4	23,4	2,00	6,99	185	5,41	8,39	11,8	4,50	0,53	<0,01
	5	22,9	2,00	6,91	185	5,45	8,45	11,8	4,83	0,53	<0,01
	6	22,7	2,00	6,73	211	5,66	8,78	11,8	4,99	0,00	<0,01
	7	22,4	2,50	6,53	201	6,2	9,58	11,8	4,34	0,53	<0,01
	8	23,5	2,50	6,89	177	5,42	8,41	10,3	4,61	0,53	<0,01
	9	21,3	3,00	6,24	178	6,71	10,4	11,8	3,16	0,53	<0,01
	10	22,1	8,00	6,09	109	7,43	11,8	11,8	1,19	0,53	<0,01
CST3	0	22,7	2,00	6,87	207	5,41	8,37	7,37	6,30	0,00	<0,01
	1	23,1	2,00	7,01	211	5,41	8,38	7,37	5,20	0,53	<0,01
	2	22,8	2,00	6,97	207	5,43	8,41	8,84	5,12	0,53	<0,01
	3	22,9	2,00	6,95	211	5,42	8,40	8,84	4,86	0,53	<0,01
	4	23,1	2,00	6,91	215	5,43	8,41	8,84	4,90	0,53	<0,01
	5	22,4	2,00	6,61	217	5,59	8,65	10,3	5,38	0,53	<0,01
	6	22,2	2,00	6,45	223	5,79	8,95	10,3	4,55	0,00	<0,01
	7	21,5	2,00	6,24	234	6,20	9,58	10,3	3,61	0,53	<0,01

Tabela 4.1.B: Continuação dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de água – período de seca 2002

Amostra	Profundidade	Temperatura	Turbidez	pH	Eh	STD	Condutividade	Alcalinidade	OD	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
	m	°C	FTU		mv	mg/L	mS/cm	HCO ₃ ⁻ mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CST3	8	21,3	3,00	6,13	246	6,47	9,98	10,3	3,16	0,53	<0,01
	9	21,2	3,50	6,08	216	6,73	10,4	8,84	2,43	0,53	<0,01
	10	21,1	3,50	5,98	243	7,29	11,2	10,3	1,52	0,53	<0,01
	11	21,1	4,00	5,96	212	7,58	11,7	11,8	1,17	0,53	<0,01
	12	21,2	4,50	5,98	159	7,90	12,2	10,3	0,72	0,53	<0,01
	13	21,7	5,00	6,06	101	9,23	14,2	10,3	0,21	0,53	<0,01
CST4	0	23,7	2,00	7,11	241	5,43	8,37	7,37	6,49	0,00	<0,01
	1	23,1	2,00	7,14	243	5,42	8,37	11,8	5,40	0,53	<0,01
	2	22,4	2,00	7,13	254	5,41	8,35	10,3	5,40	0,53	<0,01
	3	22,3	2,00	7,03	251	5,44	8,36	10,3	5,36	0,53	<0,01
	4	22,4	2,00	6,94	258	5,43	8,39	11,8	4,86	0,53	<0,01
	5	22,2	2,00	6,63	264	5,62	8,60	11,8	4,59	0,53	<0,01
	6	22,3	2,00	6,28	259	5,75	8,87	10,3	3,52	0,53	<0,01
	7	22,0	2,00	6,08	240	5,98	9,23	10,3	2,58	0,53	<0,01
	8	22,2	3,00	6,14	257	6,10	9,39	10,3	2,38	0,53	<0,01
9	22,1	3,00	6,04	251	6,21	9,55	11,8	2,38	0,53	<0,01	
CST5	0	22,5	2,00	7,01	176	5,56	8,37	8,84	6,21	0,00	<0,01
	2	22,2	2,00	7,04	181	5,48	8,37	8,84	5,12	0,53	<0,01
	4	22,2	2,00	6,90	175	5,49	8,35	8,84	4,92	0,53	<0,01
	6	22,0	2,00	6,62	187	5,58	8,36	10,3	4,43	0,53	<0,01
	8	21,5	3,00	6,14	221	6,16	8,39	10,3	2,39	0,53	<0,01
	10	21,3	3,00	6,16	198	6,78	8,60	11,8	2,35	0,53	<0,01
	12	21,2	4,00	6,15	177	7,40	8,87	10,3	1,50	0,53	<0,01
	14	21,1	4,00	6,14	146	7,67	9,23	8,84	1,01	0,53	<0,01
16	21,0	7,00	6,43	54,0	10,6	9,39	11,8	0,92	0,00	<0,01	

4.1. Caracterização física e química da Represa do Custódio

4.1.1 Temperatura da água

Os perfis de temperatura para cada ponto de coleta nos períodos de amostragem são apresentados nas Figuras 4.1.1A e 4.1.1B.

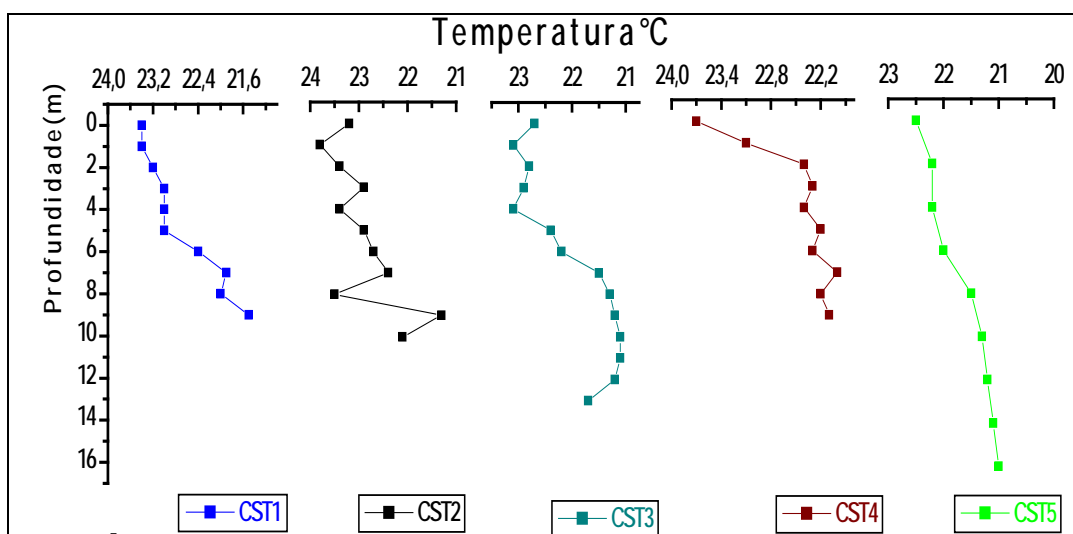


Figura 4.1.1 A: Valores de temperatura observados no período de chuva

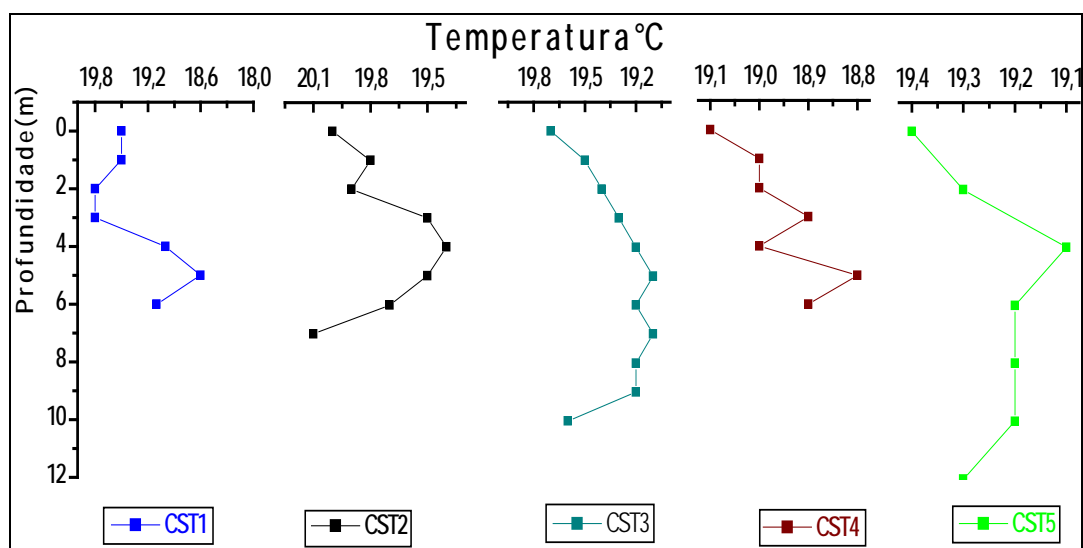


Figura 4.1.1 B: Valores de temperatura observados no período de seca.

Pelas Figuras observa-se que a temperatura da água sofre pequena variação sazonal, apresentando maiores valores no período de chuva e que a mesma varia com a profundidade, sendo os maiores valores verificados próximos à superfície. Esses fatos estão relacionados a maior incidência de raios solares na superfície da água. Já as amostras relativas ao período de seca, apresentaram na superfície valores de temperatura menores, pois a época de coleta coincidiu com o inverno da região que tem uma temperatura bem menor que o período de chuva (verão). As temperaturas nas camadas mais profundas são associadas ao vento, sendo este um dos agentes fornecedores de energia indispensáveis para a mistura das massas de água.

4.1.2. Turbidez

As Figuras 4.1.2 A e 4.1.2 B mostram os valores de turbidez nos pontos amostrados para os dois períodos de coleta.

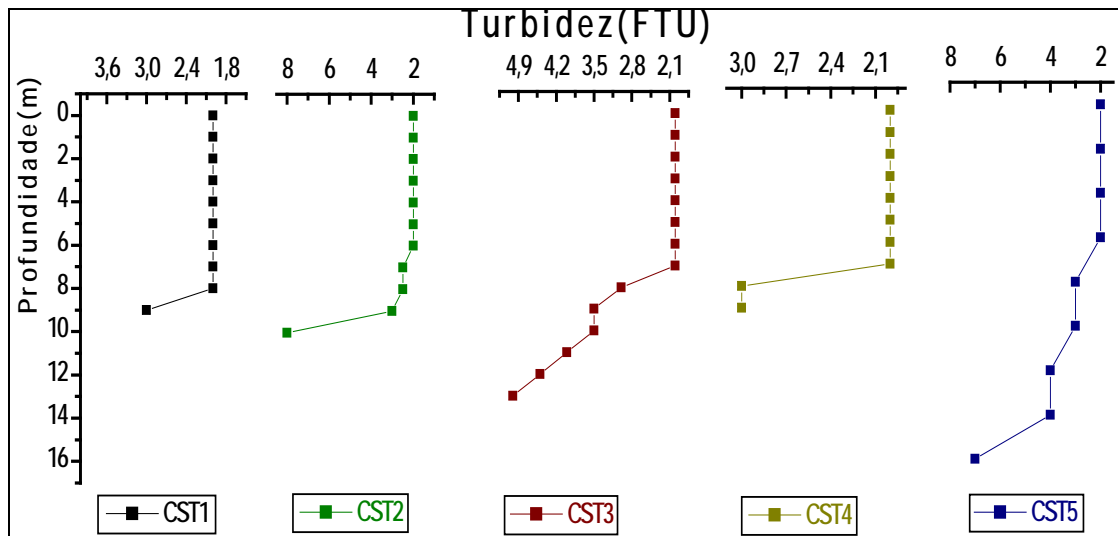


Figura 4.1.2 A: Valores de turbidez observados no período de chuva.

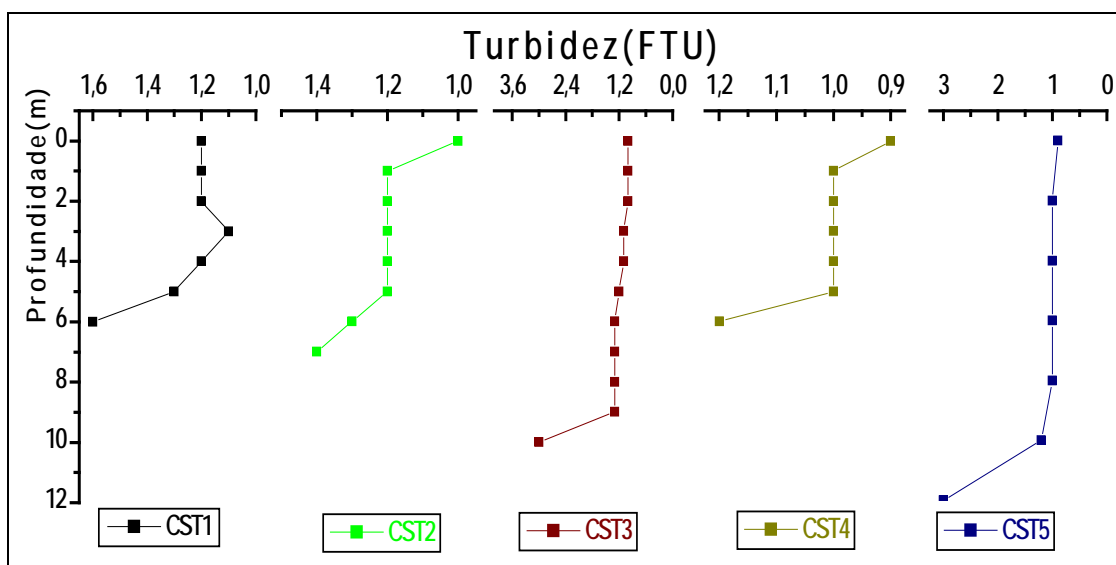


Figura 4.1.2 B: Valores de turbidez observados no período de seca.

A resolução CONAMA (1986) define que a turbidez da água destinada à proteção das comunidades aquáticas deve ser de no máximo 40 UNT, sendo esta água considerada como de classe 1.

A água da Represa do Custódio enquadra-se na classe acima, pois os valores de turbidez observados nas amostras do estudo apresentaram-se bem menores do que o máximo permitido para tal classe.

Para Santos (1997) os valores de turbidez das águas dormentes são geralmente mais baixos, sendo os valores elevados características das águas correntes.

Pode-se verificar que no período de chuvas os valores de turbidez encontram-se mais elevados do que os valores referentes ao período de seca e, que as amostras coletadas a uma maior profundidade apresentam ligeiro aumento de turbidez. Essas variações estão relacionadas à ocorrência das chuvas que carregam materiais particulados para a represa e a proximidade com o sedimento de fundo.

4.1.3. pH

As Figuras 4.1.3 A e 4.1.3 B apresentam a variação do pH nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca respectivamente.

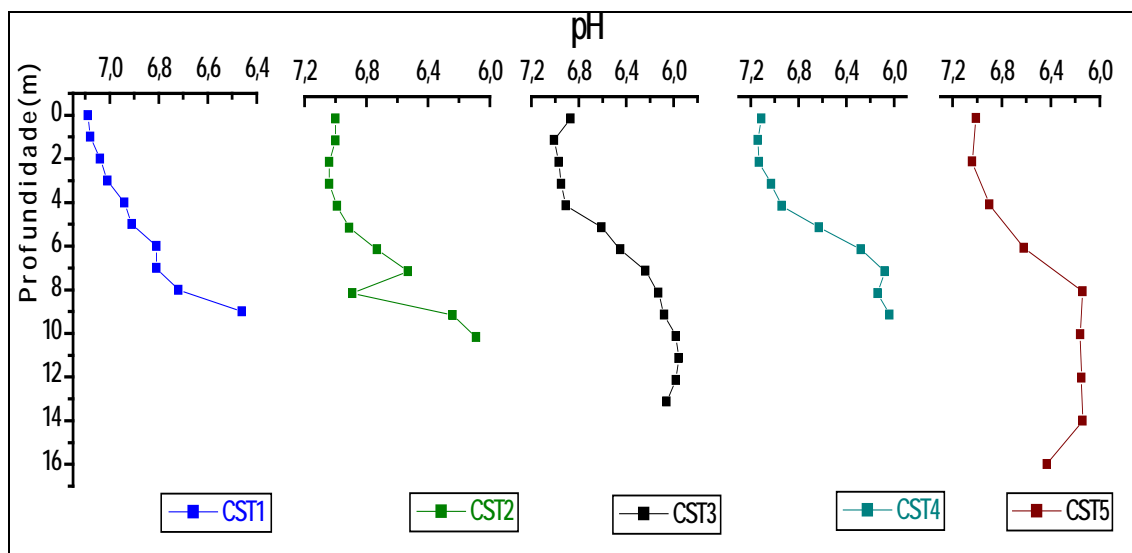


Figura 4.1.3A: Valores de pH observados no período de chuva.

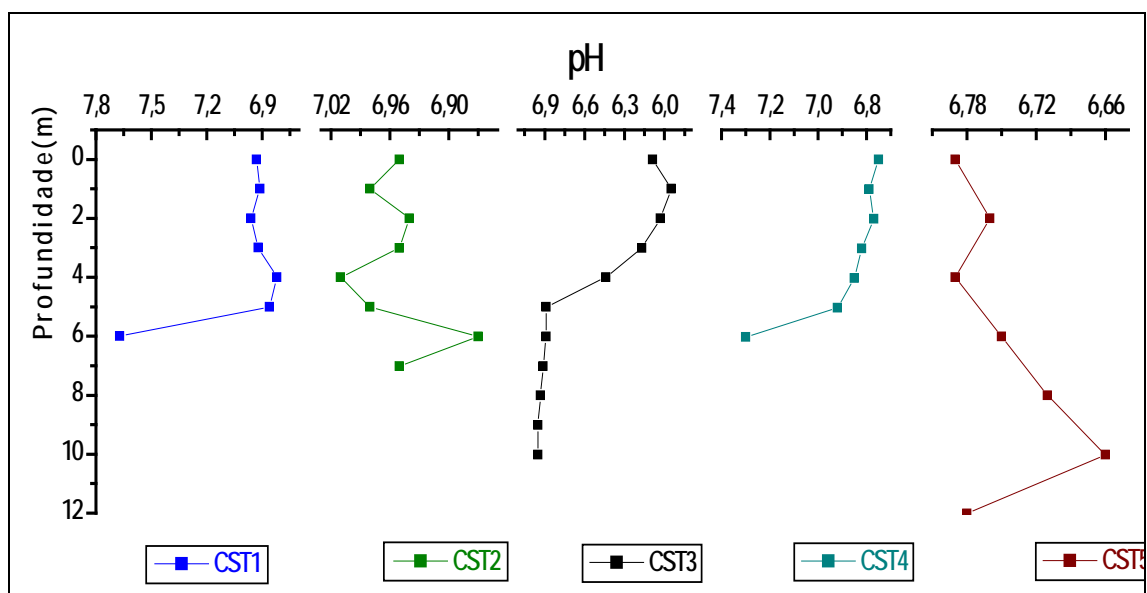
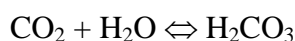


Figura 4.1.3 B: Valores de pH observados no período de seca.

No período de chuva, observou-se que o pH da água diminui na medida em que a profundidade aumenta. Tal fato pode estar relacionado a decomposição de matéria orgânica no fundo da lagoa. A decomposição dessa matéria libera o CO₂ que reage com a água formando um ácido fraco (H₂CO₃), influenciando assim, a diminuição do pH. Segundo Pádua (2001) tal fato pode ser traduzido pela equação:



Já o pH para o período de seca apresentou valores menores na superfície da represa, isto pode estar relacionado ao CO₂ da atmosfera, que na época da coleta (inverno) poderia estar em solução, pois neste período a temperatura da água da superfície estava baixa o que proporciona maior quantidade desse gás fixo na mesma.

Apesar das pequenas variações observadas, o pH das águas apresentou-se dentro dos valores exigidos pela resolução CONAMA (1986) para as águas de classe 1 (pH 6,0 a 9,0).

4.1.4.Eh

As Figuras 4.1.4 A e 4.1.4B mostram como o Eh das amostras variou de acordo com a profundidade e com o período de coleta (chuva e seca).

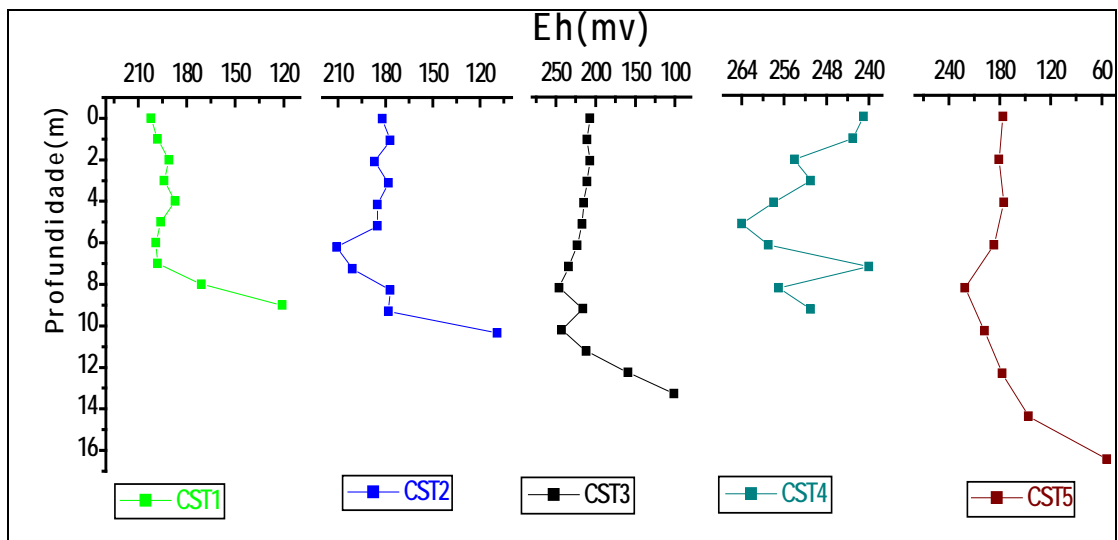


Figura 4.1.4 A: Valores de Eh observados no período de chuva.

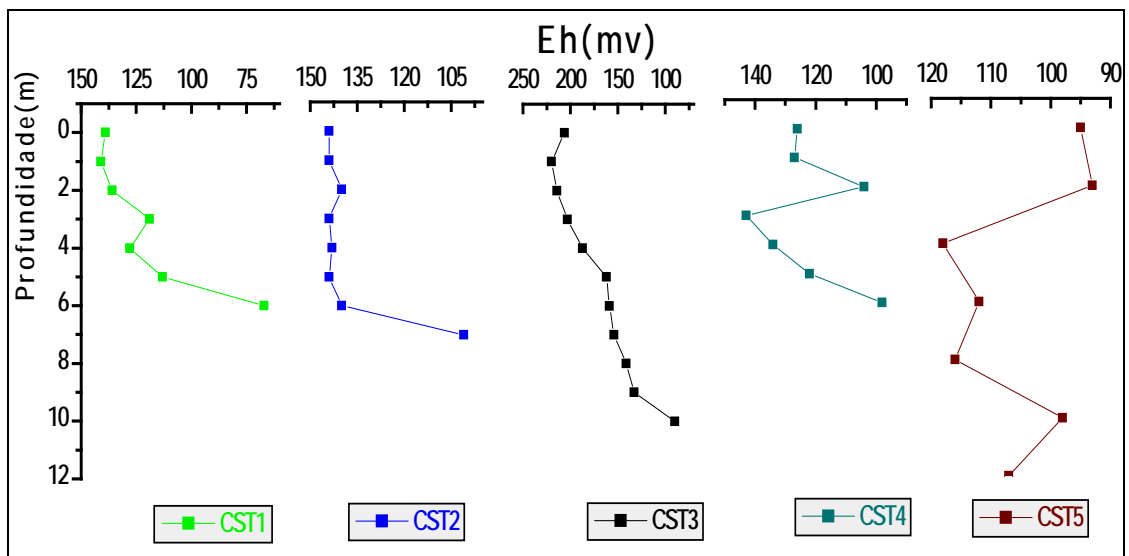


Figura 4.1.4 B: Valores de Eh observados no período de seca.

Observou-se que os valores de Eh tendem, de maneira geral, a diminuir com a profundidade nos pontos coletados e, que os valores encontrados para o período de seca são menores que os encontrados no período chuva. O fato de o Eh diminuir com a profundidade está relacionado a diminuição da concentração do oxigênio nas camadas de água mais profundas.

4.1.5. Sólidos totais dissolvidos (STD)

As Figuras 4.1.5 A e 4.1.5 B representam os valores de STD nos períodos de chuva e de seca respectivamente.

Foi observado que, em geral, os valores de STD tenderam a aumentar com a profundidade, exceto no ponto CST2 (período de seca) e, que os valores encontrados no período de chuva foram maiores que os apresentados no período de seca. Essa variação reflete a sazonalidade do parâmetro, claramente relacionada ao fator climático, estando os maiores valores associados ao período de maior pluviosidade. Ressalta-se ainda que, a variação entre os valores mínimos e máximos de STD foi muito maior no período de chuva.

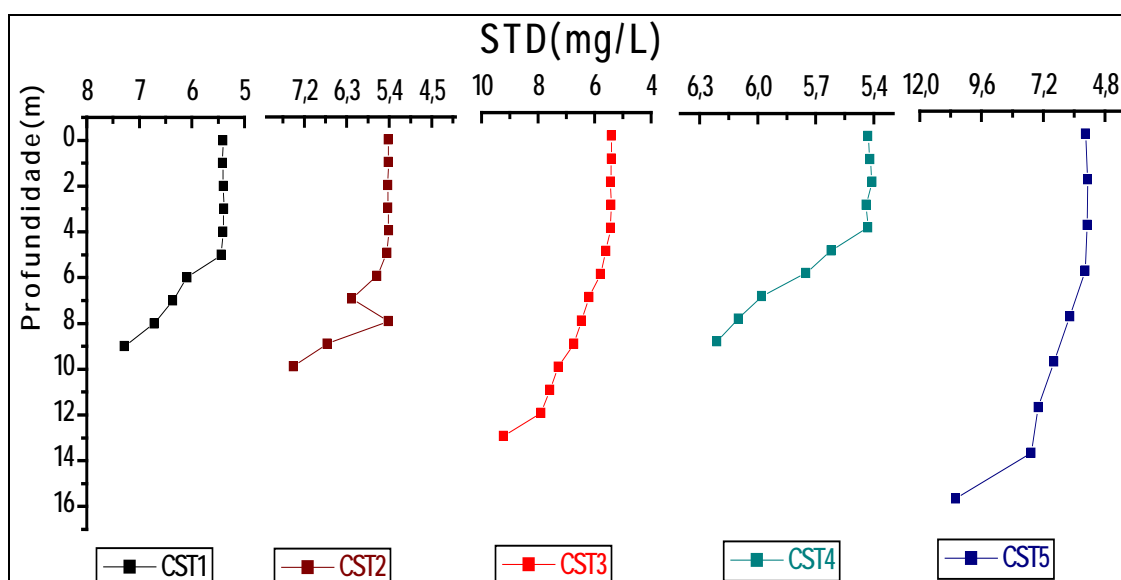


Figura 4.1.5 A: Valores de STD observados no período de chuva

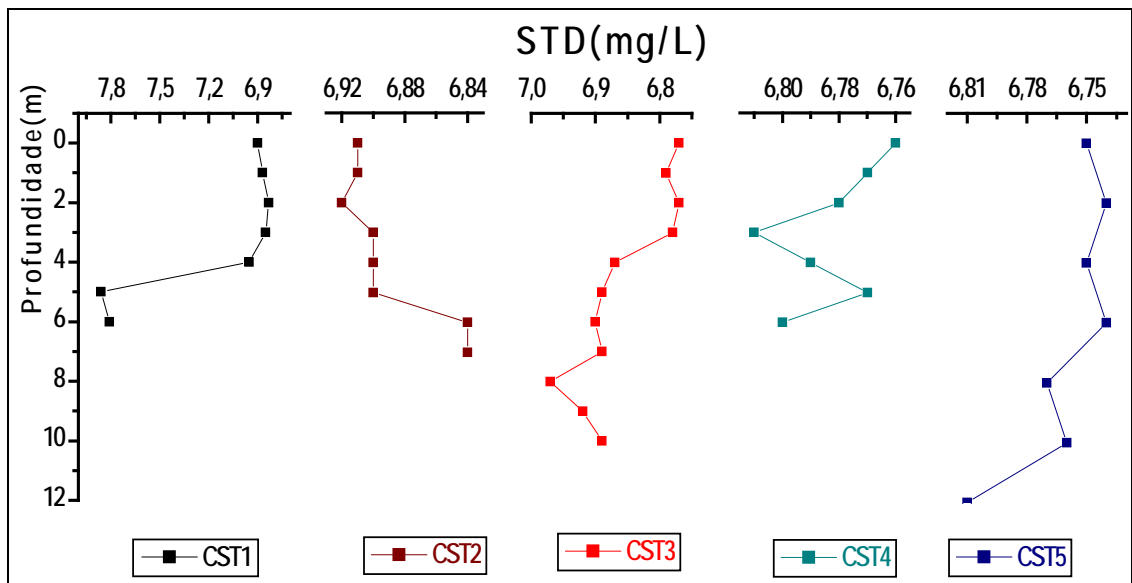


Figura 4.1.2 B: Valores de STD observados no período de seca.

4.1.6. Condutividade

As Figuras 4.1.6 A e 4.1.6 B mostram os valores de condutividade encontrados nos períodos de chuva e de seca respectivamente.

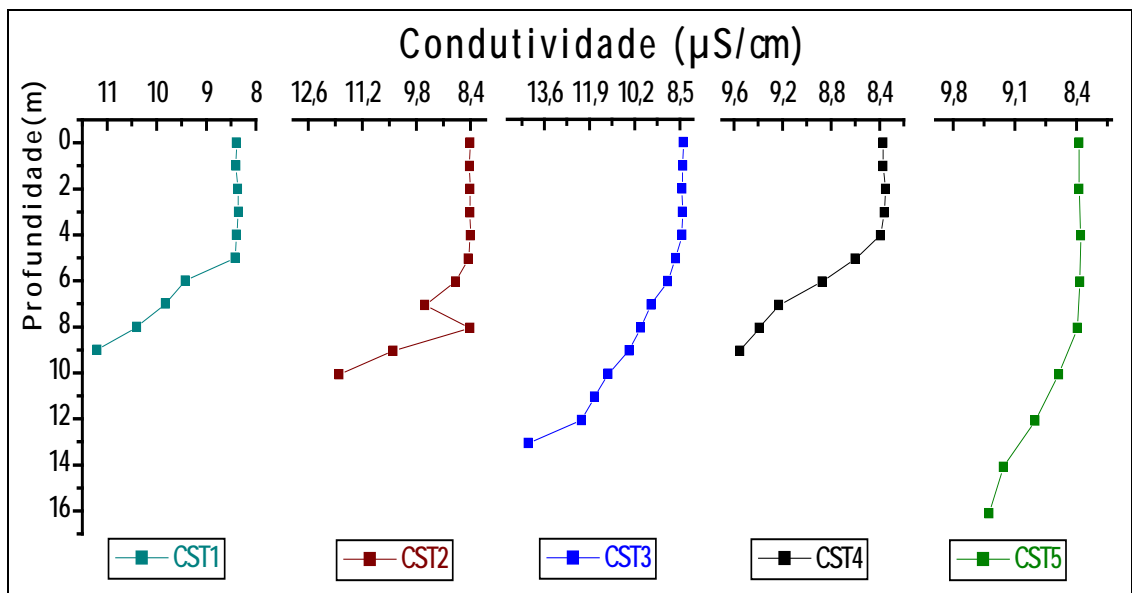


Figura 4.1.6 A: Valores de condutividade observados no período de chuva.

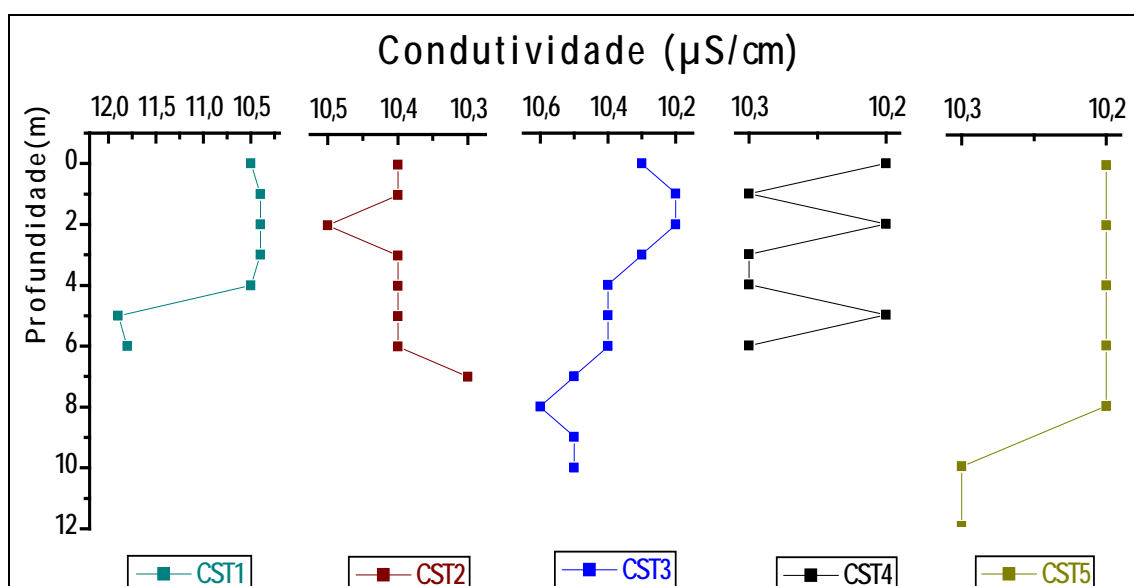


Figura 4.1.6 B: Valores de condutividade observados no período de seca.

Observou-se que em ambos os períodos, a condutividade sofre pequena elevação de acordo com a profundidade e, que os maiores valores encontrados referem-se ao período de chuva. Este pequeno aumento da condutividade pode estar associado a íons dissolvidos na água que foram carregados das rochas do entorno da represa.

Leite (2002) observou exatamente o oposto em seu estudo, ao constatar valores de condutividade mais elevados no período de seca do que no período de chuvas. Segundo o autor, a queda dos valores de condutividade no período de chuvas é devido ao aumento da precipitação, ocasionando maior diluição de sais e sólidos dissolvidos na água.

A resolução CONAMA (1986) não prevê limites de condutividade para a definição de suas classes de água.

4.1.7. Alcalinidade

Os valores de alcalinidade das amostras analisadas nos períodos de chuva e de seca estão representados nas Figuras 4.1.7 A e 4.1.7 B.

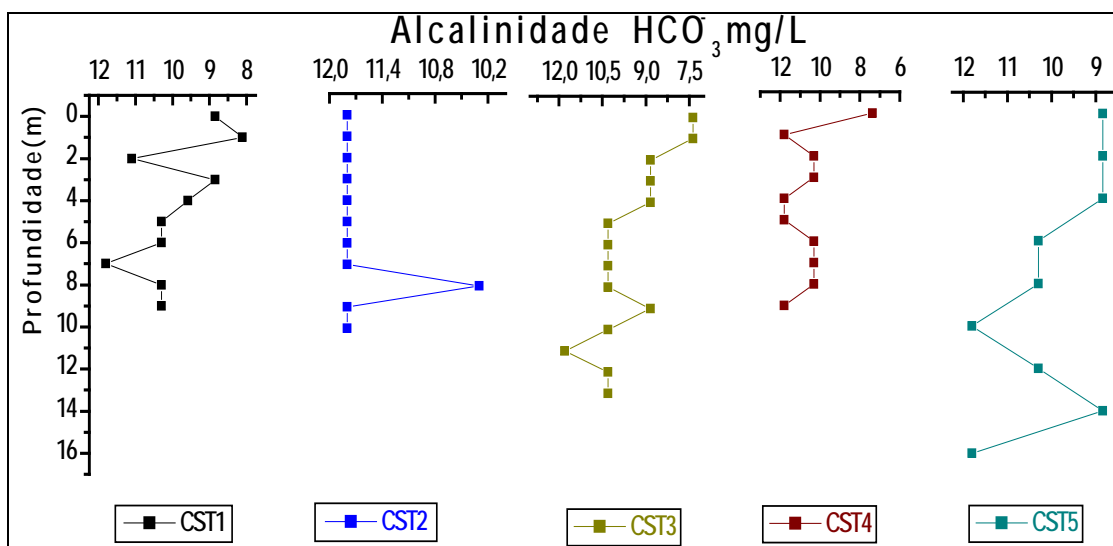


Figura 4.1.7 A: Valores de alcalinidade observados no período de chuva.

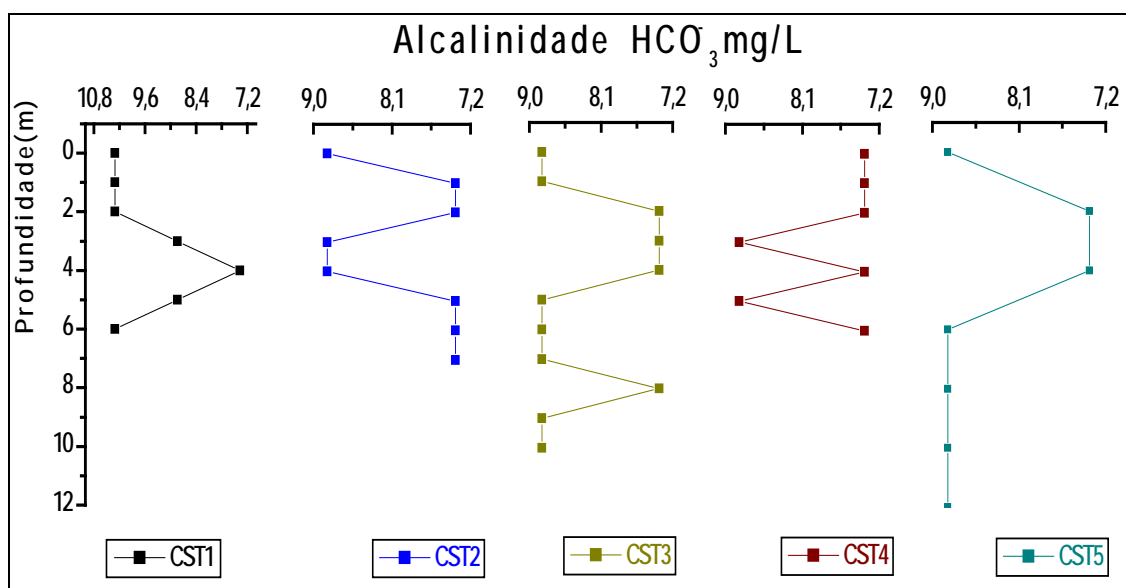


Figura 4.1.7 B: Valores de alcalinidade observados no período de seca.

Encontraram-se valores de alcalinidade muito baixos em todos os pontos de amostragem em ambos os períodos. Os maiores valores foram observados no período de chuva, sendo que os pontos CST1, CST3 e CST5 tiveram as concentrações mais elevadas. No período de seca os maiores valores de alcalinidade são referentes ao ponto CST1.

4.1.8. Oxigênio dissolvido (OD)

As Figuras 4.1.8 A e 4.1.8 B mostram os valores de OD nas amostras coletadas nos períodos de chuva e de seca, respectivamente.

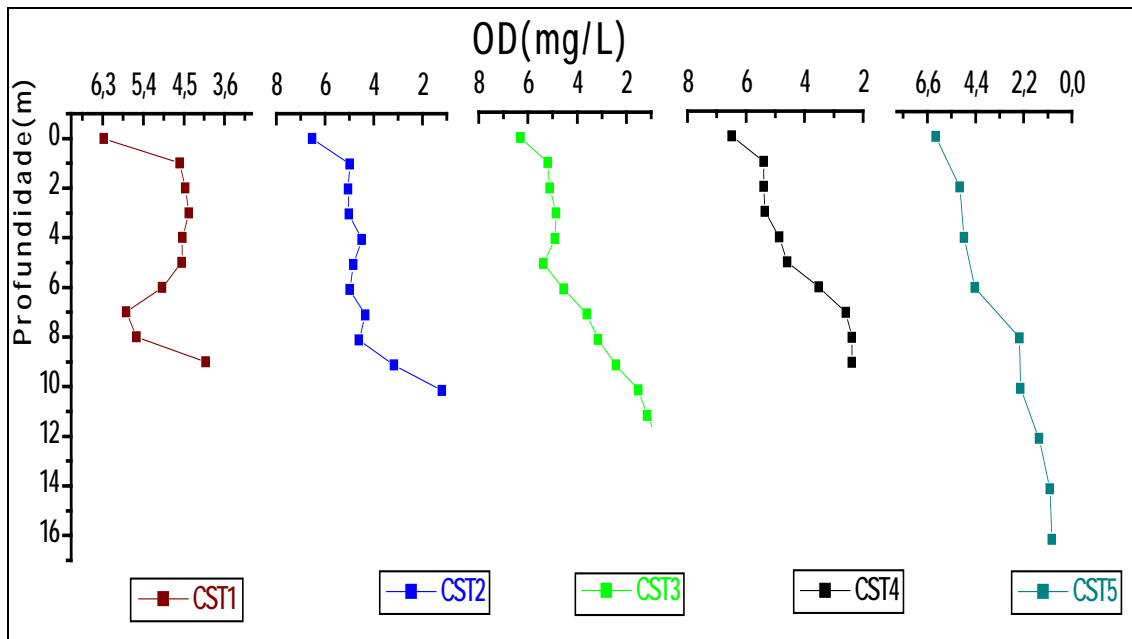


Figura 4.1.8 A: Valores de OD observados no período de chuva.

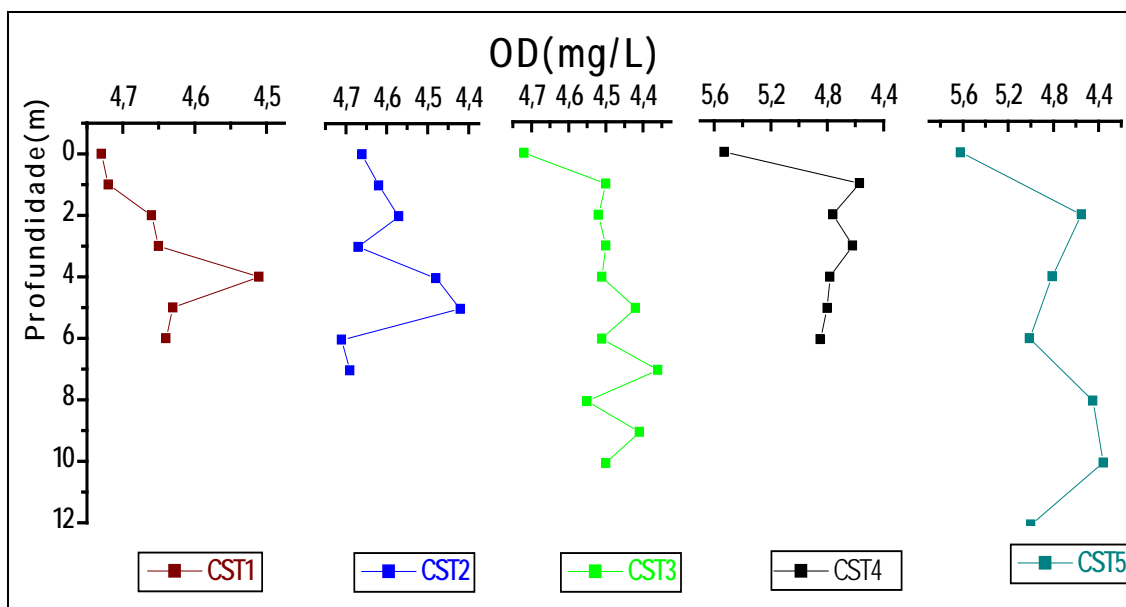


Figura 4.1.8 B: Valores de OD observados no período de seca.

Observou-se que os valores de OD encontrados mais próximos da superfície tanto no período de chuva quanto no período de seca são mais elevados quando comparados aos valores encontrados a maiores profundidades. Esse fato está relacionado ao maior contato que a água da superfície apresenta com a atmosfera.

A análise das figuras demonstra que a diminuição da concentração de OD em função da profundidade se deu de forma mais brusca no período de chuva em relação ao período de seca. Assim, em média, os valores de OD, relativos aos períodos de seca, são mais elevados quando comparados ao período de chuva nas diferentes profundidades dos pontos amostrados. Esse fato pode estar relacionado a maior vazão da represa e conseqüentemente a maior movimentação das águas.

4.1.9. Cloretos

As Figuras 4.1.9 A e 4.1.9 B mostram os valores de cloretos nas amostras coletadas nos períodos de chuva e de seca, respectivamente.

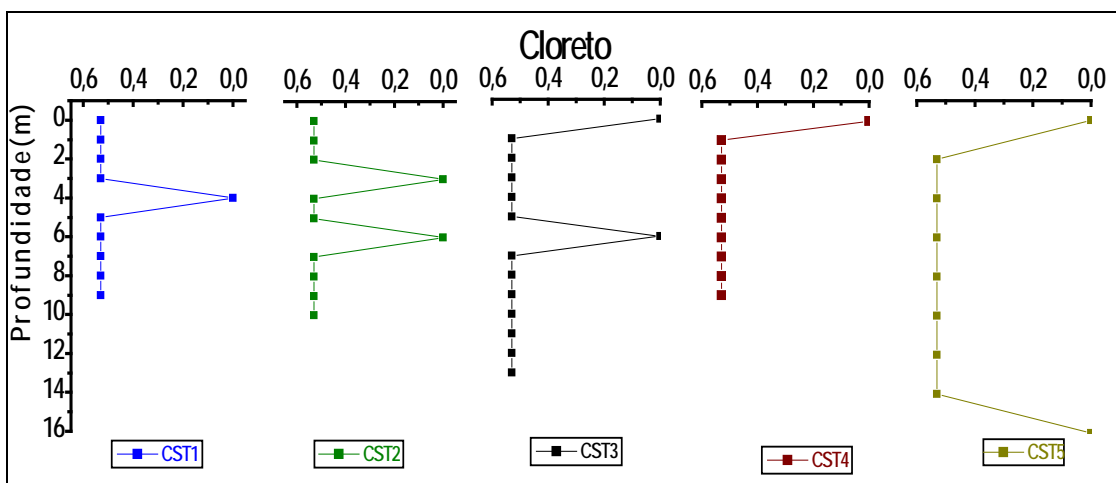


Figura 4.1.9 A: Valores de cloretos observados no período de chuva

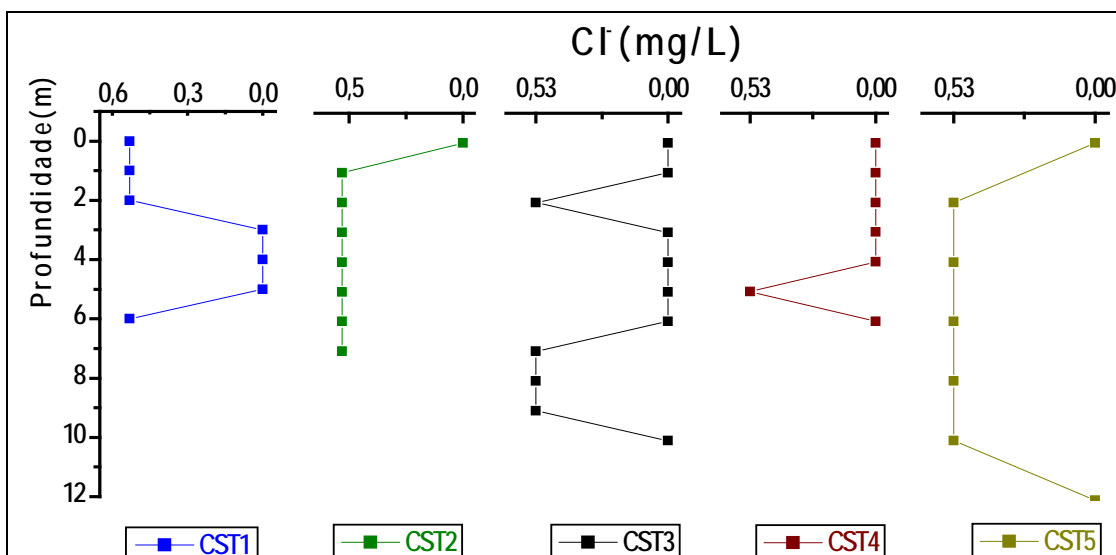


Figura 4.1.9 B: Valores de cloretos observados no período de seca.

É possível observar que os teores de cloretos apresentaram-se extremamente baixos, e distribuídos de maneira uniforme em todos os pontos de amostragem em ambos os períodos. Essas concentrações sugerem que os cloretos tenham origem natural. Os valores estão muito abaixo do limite máximo exigido pela resolução CONAMA (1986) para as águas de classes 1.

As Tabelas 4.2A, 4.2A, 4.2B, mostram os resultados das análises de metal em água período de chuva e seca, no ano de 2002.

Tabela 4.2. A: Resultados das análises de metais nas amostras de água – período de chuva 2002

Amostra	Profundidade m	Concentração (µg /L)																
		Metais Maiores					Metais Pesados											
		Na	Ca	K	Mg	Al	As	Ba	Cr	Co	Ni	Cu	Cd	Fe	Mn	Pb	V	Zn
CST1	0	31,9	221	193	45,6	6,63	<0,500	2,33	<1,20	<1,20	7,76	<4,50	<5,00	42,3	1,44	<0,500	<1,63	5,71
	1	365	782	161	420	12,5	<0,500	3,22	<1,20	<1,20	5,01	<4,50	<5,00	127	1,20	<0,500	<1,63	17,5
	2	362	658	201	409	10,6	<0,500	2,74	<1,20	<1,20	2,60	<4,50	<5,00	112	0,95	<0,500	<1,63	4,87
	3	371	370	182	410	15,0	<0,500	2,79	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	120	1,44	<0,500	<1,63	8,99
	4	427	685	251	414	19,2	<0,500	2,91	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	141	1,15	<0,500	<1,63	13,2
	5	348	641	174	401	11,2	<0,500	2,88	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	134	2,15	<0,500	<1,63	<1,80
	6	424	736	224	488	26,7	<0,500	3,49	<1,20	<1,20	3,73	<4,50	<5,00	167	10,1	<0,500	<1,63	14,9
	7	347	771	151	509	12,2	<0,500	3,56	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	155	29,3	<0,500	<1,63	7,26
	8	474	852	327	523	24,7	<0,500	4,17	<1,20	1,55	<2,59	<4,50	<5,00	170	52,7	<0,500	<1,63	28,8
9	543	834	698	496	26,1	<0,500	5,40	<1,20	1,81	7,71	4,62	<5,00	118	159	<0,500	<1,63	35,5	
CST2	0	368	647	225	427	21,3	<0,500	2,92	<1,20	<1,20	8,42	<4,50	<5,00	131	3,18	<0,500	<1,63	21,8
	1	436	677	283	427	32,4	<0,500	3,10	<1,20	1,50	6,74	<4,50	<5,00	156	3,13	<0,500	<1,63	23,2
	2	368	689	225	429	21,5	<0,500	2,91	<1,20	2,88	7,96	<4,50	<5,00	124	2,42	<0,500	<1,63	32,4
	3	380	654	265	425	28,8	<0,500	2,92	<1,20	<1,20	3,83	<4,50	<5,00	155	2,73	<0,500	<1,63	22,8
	4	389	641	276	423	27,0	<0,500	3,00	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	150	2,05	<0,500	<1,63	9,34
	5	349	638	198	428	14,3	<0,500	2,75	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	134	1,12	<0,500	<1,63	5,72
	6	423	712	283	443	44,8	<0,500	3,55	<1,20	<1,20	9,49	<4,50	<5,00	204	12,0	<0,500	<1,63	33,0
	7	372	741	207	470	17,5	<0,500	3,91	<1,20	<1,20	3,73	<4,50	<5,00	176	46,4	<0,500	<1,63	10,3
	8	324	630	197	418	19,7	<0,500	2,72	<1,20	<1,20	4,14	<4,50	<5,00	132	4,49	<0,500	<1,63	4,61
	9	384	765	279	485	34,2	<0,500	4,76	<1,20	<1,20	4,49	<4,50	<5,00	261	118	<0,500	<1,63	8,73
10	365	728	287	426	20,0	<0,500	5,52	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	437	297	<0,500	<1,63	12,6	
CST3	0	463	770	320	433	33,3	<0,500	3,23	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	157	11,2	<0,500	<1,63	62,9
	1	406	696	213	418	19,7	<0,500	2,92	<1,20	2,27	5,26	<4,50	<5,00	132	3,65	<0,500	<1,63	32,3
	2	343	633	164	412	16,1	<0,500	2,80	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	117	2,28	<0,500	<1,63	7,25
	3	414	716	237	425	25,3	<0,500	3,05	<1,20	<1,20	11,2	<4,50	<5,00	130	2,11	<0,500	<1,63	53,5
	4	518	713	260	428	22,5	<0,500	3,45	<1,20	<1,20	5,52	<4,50	<5,00	142	2,02	<0,500	<1,63	22,1
	5	420	700	280	441	13,7	<0,500	3,13	2,33	3,02	6,54	<4,50	<5,00	152	6,73	<0,500	<1,63	17,1
	6	394	723	188	441	14,1	<0,500	3,55	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	169	17,4	<0,500	<1,63	27,2
	7	421	761	254	453	20,9	<0,500	4,09	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	219	65,1	<0,500	<1,63	21,9
	8	400	916	230	459	17,5	<0,500	6,28	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	239	115	<0,500	<1,63	17,4
	9	320	945	155	443	12,0	<0,500	4,67	<1,20	1,50	4,60	<4,50	<5,00	252	172	<0,500	<1,63	29,9
	10	496	792	399	402	35,8	<0,500	5,55	<1,20	<1,20	6,89	<4,50	<5,00	249	271	<0,500	<1,63	60,0
	11	424	817	293	435	26,7	<0,500	6,04	<1,20	<1,20	4,24	<4,50	<5,00	210	358	<0,500	<1,63	50,6
	12	394	821	285	431	17,8	<0,500	6,52	<1,20	<1,20	8,12	<4,50	<5,00	192	429	<0,500	<1,63	30,1
13	380	422	267	422	20,1	<0,500	7,45	<1,20	<1,20	<2,60	<4,50	<5,00	782	541	<0,500	<1,63	26,3	

Tabela 4.2. A: Continuação dos resultados das análises de metais nas amostras de água – período de chuva 2002

Amostra	Profundidade m	Concentração (µg /L)																
		Metais Maiores					Metais Pesados											
		Na	Ca	K	Mg	Al	As	Ba	Cr	Co	Ni	Cu	Cd	Mn	Fe	V	Pb	Zn
CST4	0	310	631	152	415	6,28	<0,500	2,78	<1,20	<1,20	6,84	<4,50	<5,00	27,0	119	<1,63	<0,500	4,80
	1	341	648	175	419	11,4	<0,500	2,81	<1,20	2,99	<2,59	<4,50	<5,00	3,64	111	<1,63	<0,500	33,2
	2	321	679	162	424	11,1	<0,500	3,31	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	1,61	116	<1,63	<0,500	28,2
	3	326	663	131	418	12,5	<0,500	2,90	<1,20	<1,20	3,17	<4,50	<5,00	0,913	99,8	<1,63	<0,500	40,0
	4	384	710	213	432	17,2	<0,500	3,33	<1,20	<1,20	6,48	<4,50	<5,00	1,65	130	<1,63	<0,500	37,1
	5	353	713	187	429	20,7	<0,500	4,35	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	13,0	132	<1,63	<0,500	53,2
	6	328	684	195	426	10,4	<0,500	3,71	<1,20	<1,20	9,24	<4,50	<5,00	46,6	123	<1,63	<0,500	33,1
	7	383	697	194	419	17,9	<0,500	4,35	<1,20	<1,20	3,68	<4,50	<5,00	89,5	179	<1,63	<0,500	32,4
	8	295	705	172	416	12,0	<0,500	4,44	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	106	208	<1,63	<0,500	51,8
	9	333	726	206	408	17,6	<0,500	4,67	<1,20	<1,20	2,61	<4,50	<5,00	129	230	<1,63	<0,500	65,7
CST5	0	479	637	105	424	7,40	<0,500	3,07	<1,20	<1,20	7,30	<4,50	<5,00	5,03	74,2	<1,63	<0,500	<1,80
	2	304	641	141	420	5,70	<0,500	2,57	<1,20	<1,20	2,96	<4,50	<5,00	1,13	73,0	<1,63	<0,500	<1,80
	4	387	608	102	418	5,16	<0,500	2,63	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	1,35	66,5	<1,63	<0,500	<1,80
	6	391	619	98,6	419	3,11	<0,500	2,76	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	10,7	61,7	<1,63	<0,500	<1,80
	8	279	670	144	421	5,75	<0,500	4,93	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	104,0	171	<1,63	<0,500	<1,80
	10	284	706	141	434	4,71	<0,500	4,59	1,22	<1,20	4,24	<4,50	<5,00	215	218	<1,63	<0,500	<1,80
	12	369	716	287	433	5,12	<0,500	5,41	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	315	366	<1,63	<0,500	<1,80
	14	366	698	140	414	3,23	<0,500	5,89	<1,20	<1,20	5,87	<4,50	<5,00	378	303	<1,63	<0,500	<1,80
	16	289	718	175	412	11,0	<0,500	7,70	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	559	450	<1,63	<0,500	<1,80

Tabela 4.2.B: Resultados das análises de metais em água - período de seca 2002

Amostra	Profundidade m	Concentração (µg /L)																
		Metais Maiores						Metais Pesados										
		Na	Ca	K	Mg	Al	Ba	As	Cr	Co	Ni	Cu	Cd	Mn	Fe	Pb	V	Zn
CST1	0	472	856	254	560	51,4	3,14	<0,500	<1,20	<1,20	7,56	<4,50	<5,00	7,72	97,7	<0,500	<1,63	61,3
	1	425	827	211	551	49,1	3,50	<0,500	<1,20	3,25	<2,59	<4,50	<5,00	30,3	118	<0,500	<1,63	6,02
	2	458	861	246	557	66,2	3,80	<0,500	<1,20	1,38	5,26	<4,50	<5,00	35,3	157	<0,500	<1,63	8,84
	3	471	850	273	550	64,9	3,56	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	32,4	153	<0,500	<1,63	4,87
	4	457	829	171	552	31,4	3,66	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	47,2	114	<0,500	<1,63	<1,80
	5	379	964	160	649	26,5	3,90	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	61,9	92,6	<0,500	<1,63	<1,80
	6	560	989	330	652	43,8	4,47	<0,500	<1,20	<1,20	4,75	<4,50	<5,00	77,6	167	<0,500	<1,63	10,1
CST2	0	410	811	225	556	21,0	2,95	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	21,3	66,6	<0,500	<1,63	<1,80
	1	384	820	163	544	17,5	2,74	<0,500	<1,20	<1,20	9,14	<4,50	<5,00	20,4	56,2	<0,500	<1,63	<1,80
	2	490	826	280	560	42,9	3,18	<0,500	<1,20	<1,20	7,35	<4,50	<5,00	21,9	89,7	<0,500	<1,63	5,74
	3	408	802	203	550	21,0	2,93	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	21,9	62,5	<0,500	<1,63	<1,80
	4	431	817	226	558	27,9	3,02	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	22,1	70,5	<0,500	<1,63	3,02
	5	388	816	167	549	17,5	2,86	<0,500	2,23	1,50	6,94	<4,50	<5,00	20,4	56,7	<0,500	<1,63	<1,80
	6	403	804	196	549	16,1	2,81	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	19,6	53,2	<0,500	<1,63	<1,80
CST3	0	381	764	165	543	16,0	2,54	<0,500	<1,20	1,64	3,93	<4,50	<5,00	9,47	47,1	<0,500	<1,63	<1,80
	1	385	741	195	536	17,2	2,40	<0,500	<1,20	1,29	<2,59	<4,50	<5,00	8,72	53,6	<0,500	<1,63	<1,80
	2	359	783	147	543	10,9	2,50	<0,500	<1,20	<1,20	4,09	<4,50	<5,00	8,48	35,0	<0,500	<1,63	<1,80
	3	379	779	181	541	11,3	2,57	<0,500	<1,20	<1,20	5,06	<4,50	<5,00	9,66	42,9	<0,500	<1,63	<1,80
	4	385	803	196	544	13,1	2,71	<0,500	<1,20	<1,20	4,19	<4,50	<5,00	15,1	48,1	<0,500	<1,63	<1,80
	5	393	801	181	544	17,8	2,85	<0,500	<1,20	<1,20	10,5	<4,50	<5,00	19,3	58,6	<0,500	<1,63	<1,80
	6	372	790	185	549	10,3	2,74	<0,500	<1,20	<1,20	4,44	<4,50	<5,00	20,8	51,0	<0,500	<1,63	<1,80
	7	389	795	171	550	11,5	2,85	<0,500	<1,20	<1,20	7,30	<4,50	<5,00	20,9	48,6	<0,500	<1,63	<1,80
	8	426	855	261	551	15,6	2,83	<0,500	<1,20	2,16	2,91	<4,50	<5,00	21,1	56,9	<0,500	<1,63	<1,80
	9	368	797	178	549	10,3	2,75	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	21,8	55,3	<0,500	<1,63	<1,80
10	398	814	203	547	12,6	2,84	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	23,6	61,9	<0,500	<1,63	<1,80	

Tabela 4.2.B: Continuação dos resultados das análises de metais em água - período de seca 2002.

Amostra	Profundidade m	Concentração (µg /L)																
		Metais Maiores						Metais Pesados										
		Na	Ca	K	Mg	Al	Ba	As	Cr	Co	Ni	Cu	Cd	Mn	Fe	Pb	V	Zn
CST4	0	365	786	165	536	7,19	2,49	<0,500	<1,20	<1,20	6,13	<4,50	<5,00	7,21	37,6	<0,500	<1,63	<1,80
	1	356	792	205	542	57,9	2,66	<0,500	<1,20	<1,20	3,27	<4,50	<5,00	6,77	182	<0,500	<1,63	<1,80
	2	358	792	193	539	8,8	2,46	<0,500	<1,20	2,56	6,43	<4,50	<5,00	5,78	44,2	<0,500	<1,63	<1,80
	3	413	788	219	539	15,8	2,52	<0,500	<1,20	<1,20	3,83	<4,50	<5,00	5,77	46,3	<0,500	<1,63	<1,80
	4	422	801	230	536	18,9	2,63	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	5,48	55,5	<0,500	<1,63	5,80
	5	401	788	213	541	12,7	2,54	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	5,62	48,2	<0,500	<1,63	1,93
	6	414	799	225	541	17,9	2,63	<0,500	<1,20	<1,20	3,88	<4,50	<5,00	6,04	54,2	<0,500	<1,63	4,01
CST5	0	431	800	241	542	16,8	2,65	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	7,24	56,6	<0,500	<1,63	12,1
	2	397	788	212	542	12,3	2,71	<0,500	<1,20	<1,20	4,24	<4,50	<5,00	6,01	45,7	<0,500	<1,63	2,76
	4	427	786	245	540	15,5	2,60	<0,500	<1,20	<1,20	<2,59	<4,50	<5,00	4,58	49,5	<0,500	<1,63	6,08
	6	451	801	255	546	20,1	2,66	<0,500	<1,20	<1,20	10,2	<4,50	<5,00	4,53	55,7	<0,500	<1,63	5,75
	8	422	806	227	542	12,8	2,73	<0,500	<1,20	<1,20	6,48	<4,50	<5,00	6,10	44,2	<0,500	<1,63	6,05
	10	450	798	246	541	17,6	2,70	<0,500	<1,20	<1,20	6,28	<4,50	<5,00	7,90	52,0	<0,500	<1,63	7,99
	12	465	810	251	537	21,1	2,90	<0,500	<1,20	<1,20	11,5	<4,50	<5,00	12,6	79,2	<0,500	<1,63	7,21

4.2 Metais

4.2.1. Sódio

As concentrações de sódio relativas aos períodos de chuva e de seca estão representadas nas Figuras 4.2.1 A e 4.2.1B.

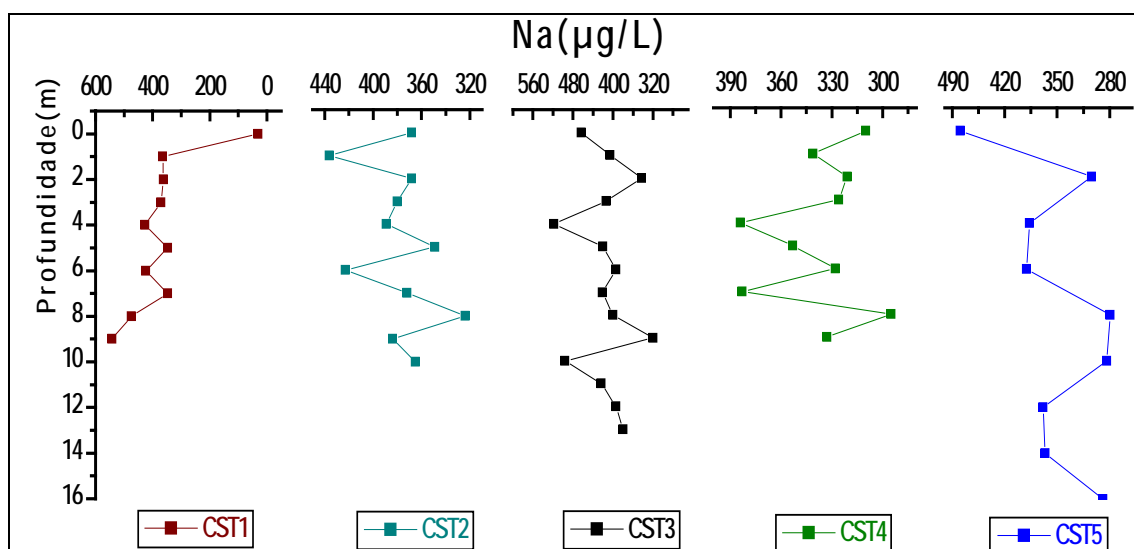


Figura 4.2.1 A: Valores de sódio no período de chuva.

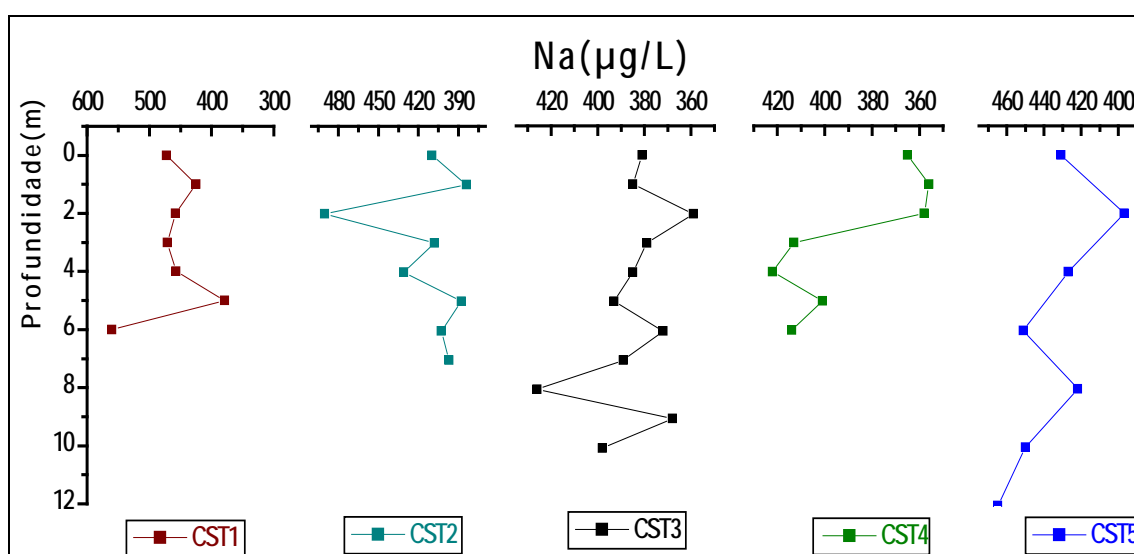


Figura 4.2.1 B: Valores de sódio no período de seca.

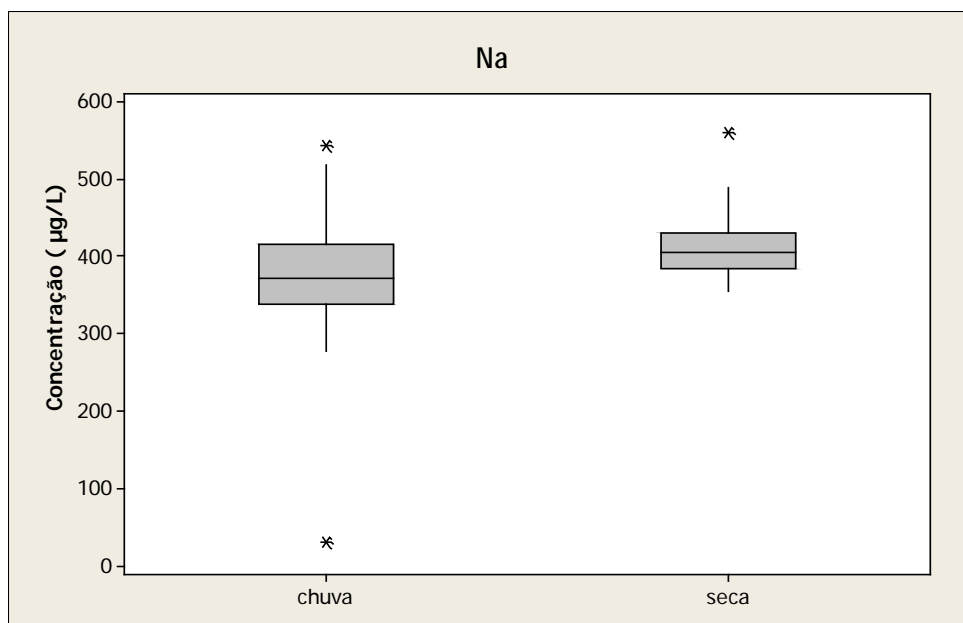


Figura 4.2.1.C: Concentração de sódio nos períodos de chuva e de seca.

O teste de Mann-Whitney mostrou $Z_u = 3,49 > 1,96$, concluindo-se que há diferenças estatísticas nas concentrações do elemento entre os períodos de coleta (chuva e seca), sendo os maiores valores observados na época de seca. As maiores concentrações de sódio observadas no período de seca são devidas ao menor volume de água apresentado pela represa nesta época, o que acarreta uma maior concentração desse elemento no período.

As concentrações de sódio na água podem ser relativas: à ampla distribuição nos minerais fontes que compõem o entorno da represa e a alta solubilidade apresentada por este metal (Santos, 1997).

4.2.2. Cálcio

As concentrações de cálcio relativas as amostras coletadas nos períodos de chuva e de seca estão apresentadas nas figuras 4.2.2 A e 4.2.2B, respectivamente.

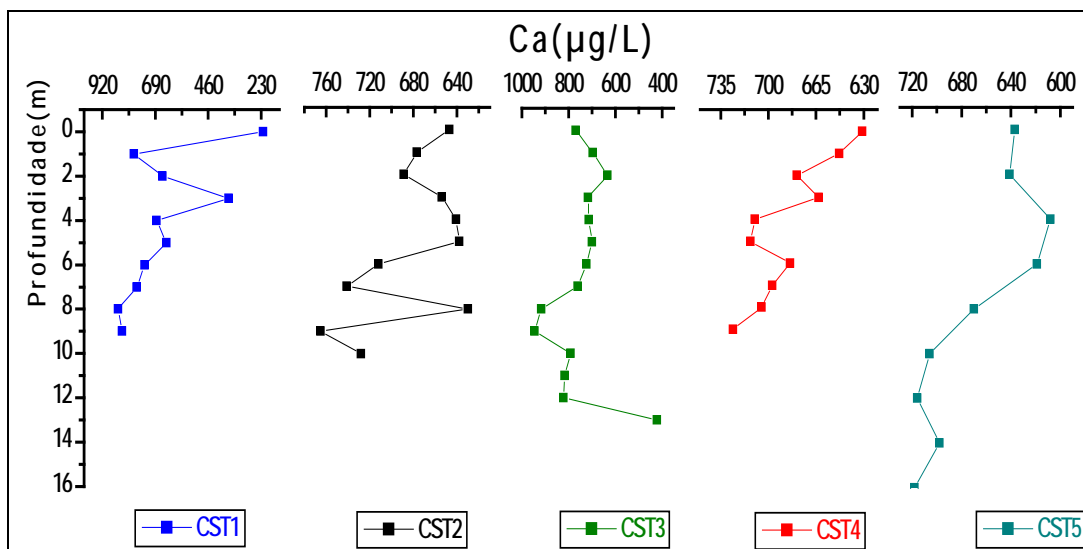


Figura 4.2.2 A: Valores de cálcio no período de chuva.

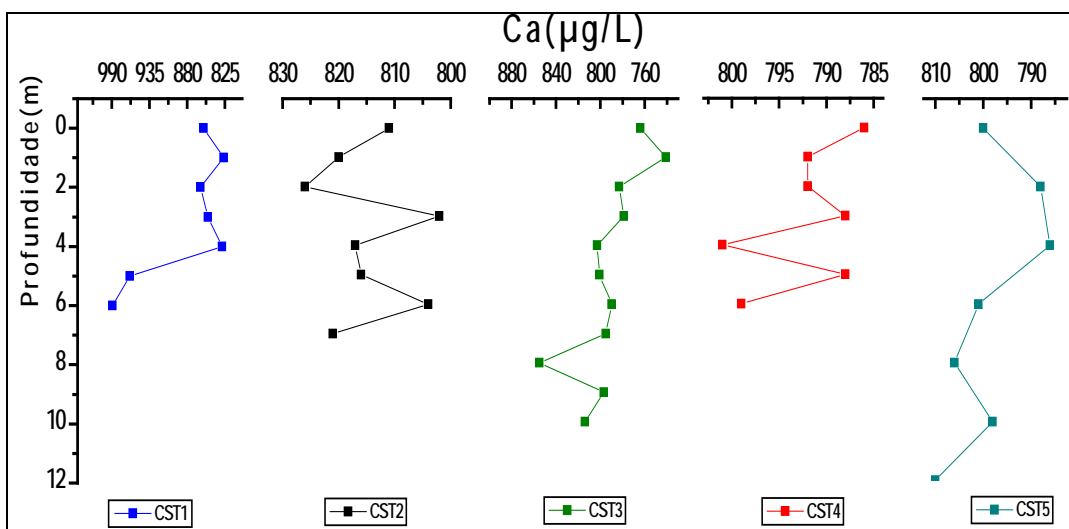


Figura 4.2.2 B: Valores de cálcio no período de seca.

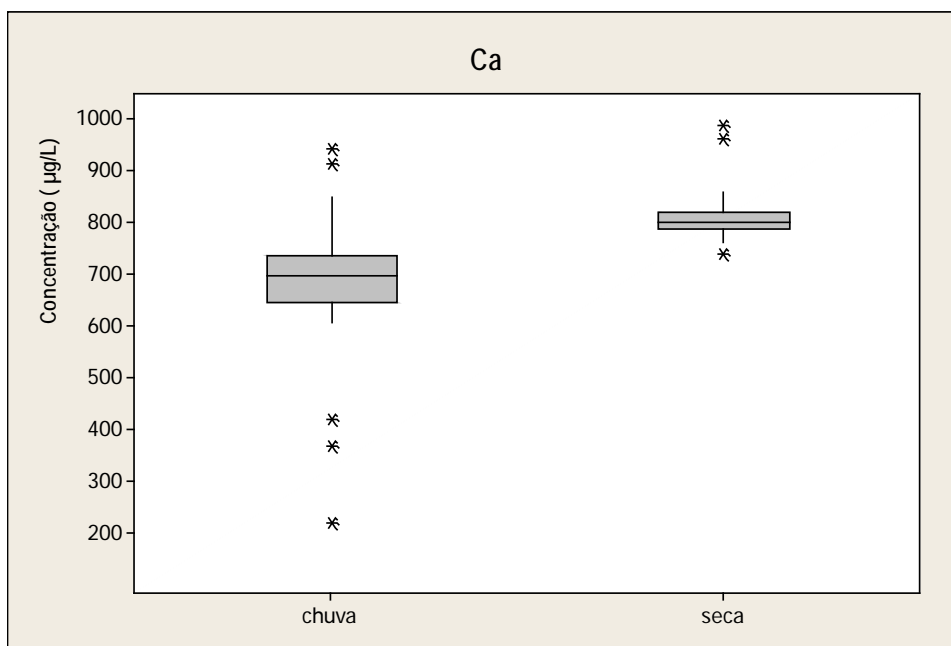


Figura 4.2.2 C: Concentração de cálcio nos períodos de chuva e de seca.

O teste de Mann-Whitney mostrou $Z_u = 6,55 > 1,96$, o que implica em uma maior quantidade do metal no período de seca.. As concentrações mais elevadas do elemento nesse período estão relacionadas ao menor volume de água da represa nesta época. A presença desse cátion na água está associado à constituição litológica do entorno da represa.

4.2.3. Potássio

As concentrações de potássio encontradas nos períodos de chuva e seca estão nas Figuras 4.2.3 A e 4.2.3B.

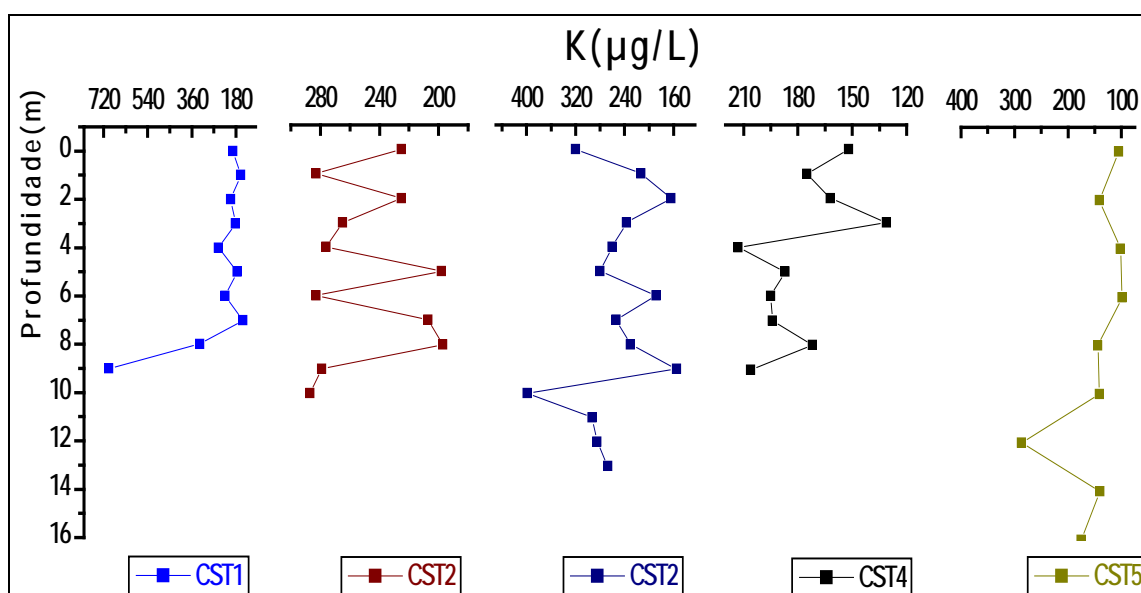


Figura 4.2.3 A: Valores de potássio no período de chuva.

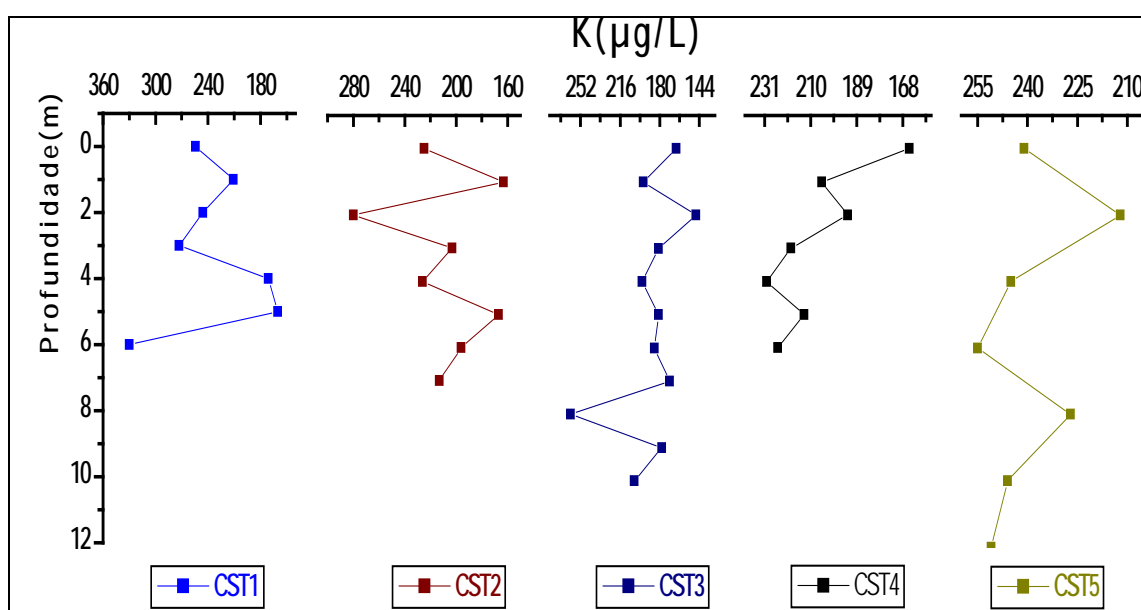


Figura 4.2.3 B: Valores de potássio no período de seca.

Pela análise das Figuras acima observa-se que os valores das concentrações do elemento são bem variados. Porém, o teste de Mann-Whitney, $Z_u = 0,1912 < 1,96$, indica que os conjuntos são praticamente iguais, não havendo diferença nas concentrações do metal entre os períodos de coleta, o que sugere que o mesmo esteja distribuído de forma uniforme na represa.

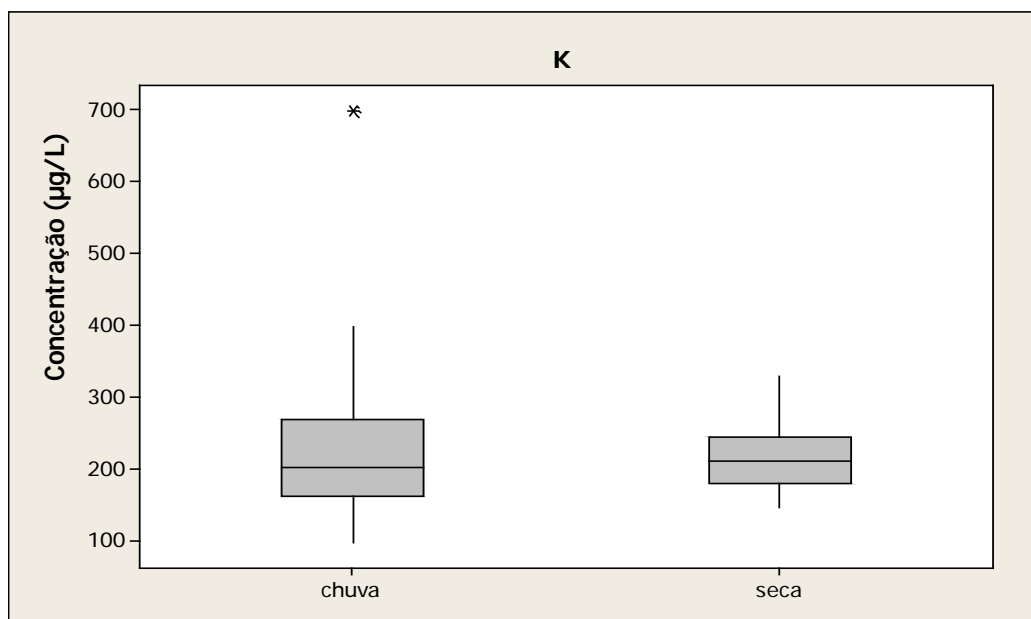


Figura 4.2.3 C: Concentração de potássio nos períodos de chuva e de seca.

4.2.4. Magnésio

As concentrações de magnésio nas amostras coletadas nos períodos de chuva e de seca estão apresentados nas figuras 4.2.4 A e 4.2.4 B, respectivamente.

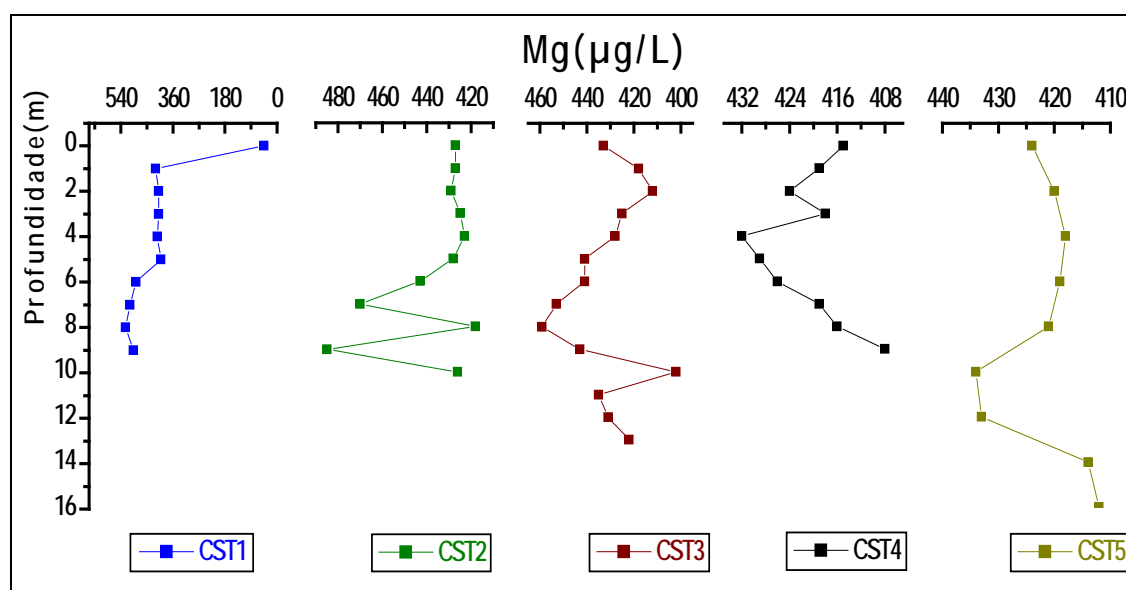


Figura 4.2.4 A: Valores de magnésio no período de chuva.

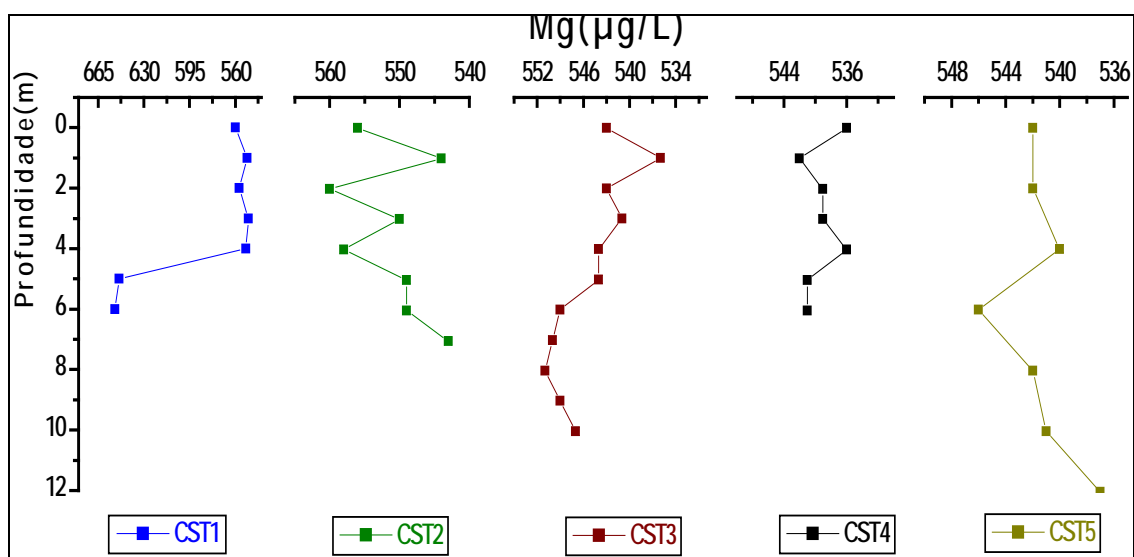


Figura 4.2.4.B: Valores de magnésio no período de seca.

Observa-se que existem grandes variações nas concentrações do metal nos dois períodos, sendo que no ponto CST1 foram verificados os maiores aumentos de concentração. Estas variações podem estar relacionadas a uma barreira física existente no local. Este obstáculo, pode estar acumulando material e impedindo o fluxo normal de água e em consequência provocando o aumento das concentrações. Tem-se ainda que as concentrações mais elevadas de magnésio são correspondentes ao período de seca, fato esse que é associado ao menor volume de água da represa.

O teste de Mann-Whitney mostrou $Z_u = 8,26 > 1,96$, o que corresponde a uma diferença estatística nas concentrações do elemento entre os dois períodos de coleta. (figura 4.2.4 C).

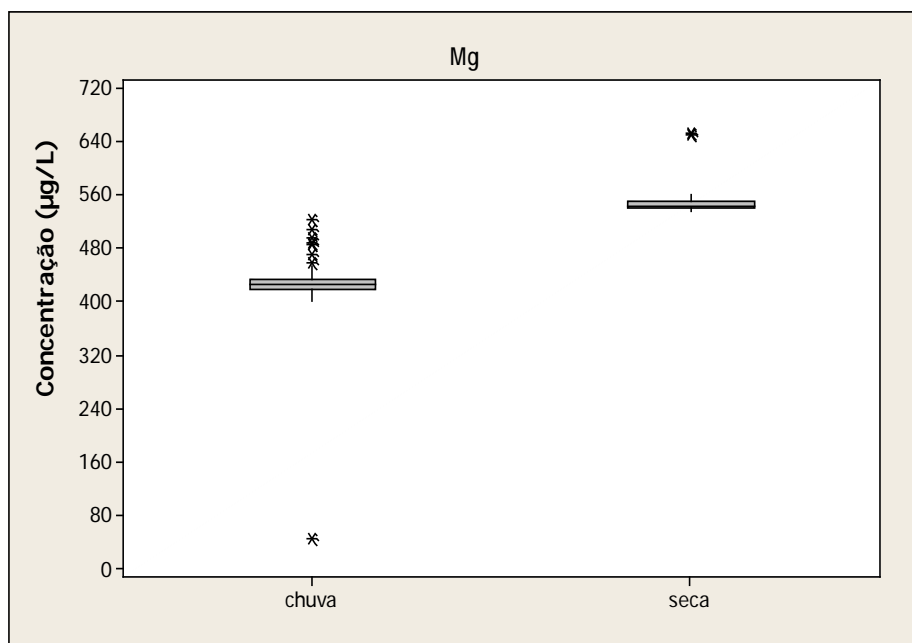


Figura 4.2.4 C: Concentração de magnésio nos períodos de chuva e de seca.

4.2.5. Alumínio

As concentrações de alumínio para os períodos de chuva e de seca nos pontos amostrados são mostrados nas figuras 4.2.5 A e 4.2.5B.

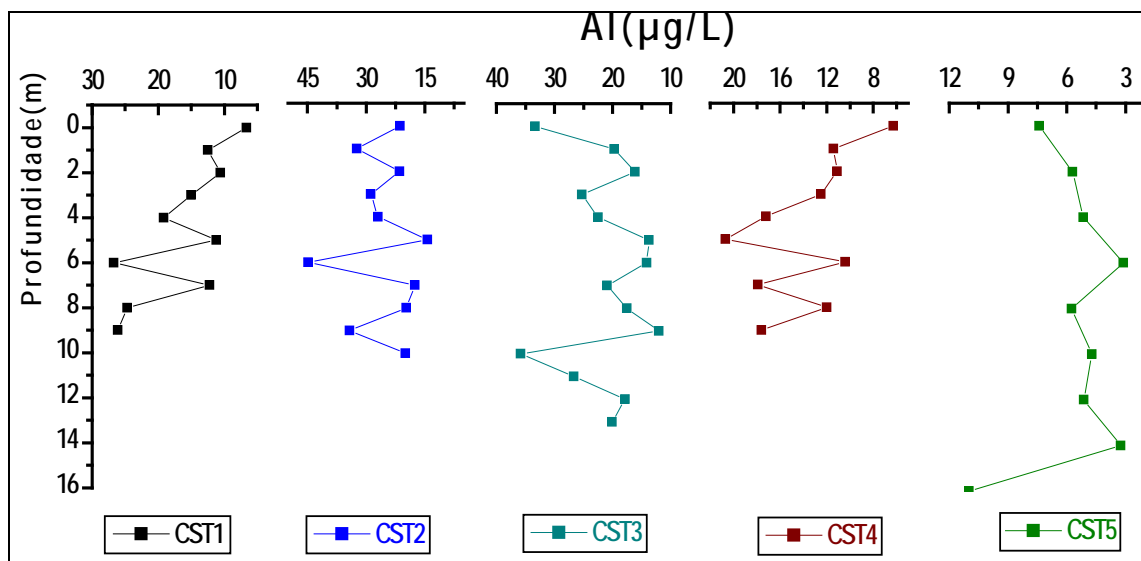


Figura 4.2.5 A: Valores de alumínio no período de chuva.

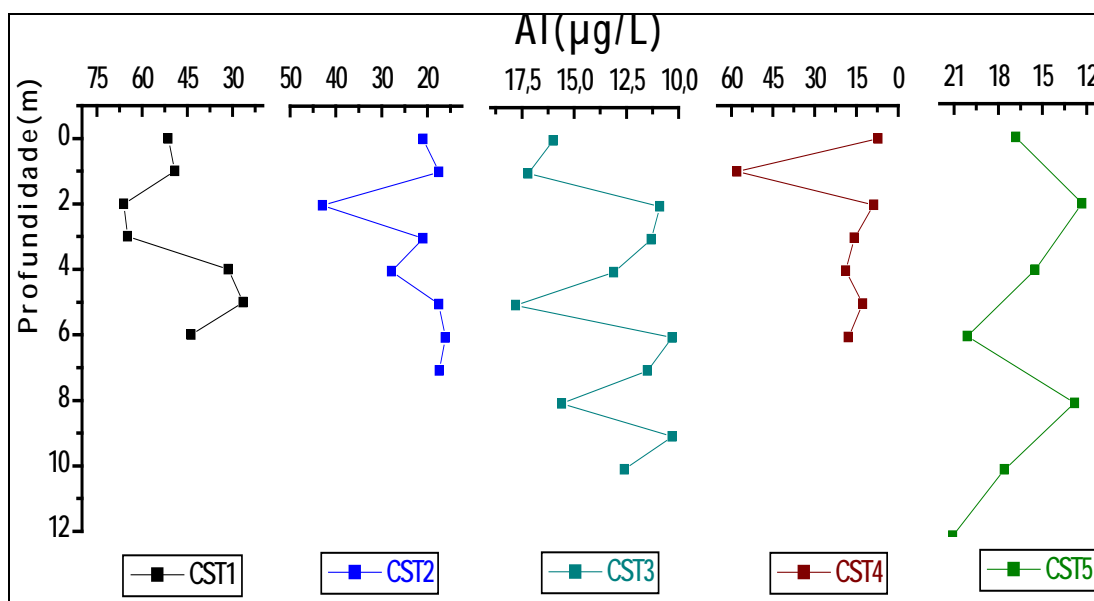


Figura 4.2.5 B: Valores de alumínio no período de seca.

Pode-se observar que as concentrações de alumínio no período de chuva apresentaram valores menores que as concentrações observadas no período de seca para todos os pontos. Outra constatação é a de que esses valores sofreram grande variação conforme as profundidades. As concentrações tornaram-se mais elevadas à medida que a profundidade foi aumentando.

A análise do sedimento de fundo, através de Raios-X, mostrou a presença dos minerais muscovita e kaolita, sendo que o alumínio está associado a suas fórmulas químicas. A interação desses minerais com as camadas de água mais próximas aos mesmos pode ser responsável pela transferência do metal à água.

O teste de Mann-Whitney ($Z_u = 1,27 < 1,69$) mostra que não existe diferença estatística significativa entre os dois períodos (Figura 4.2.5 C).

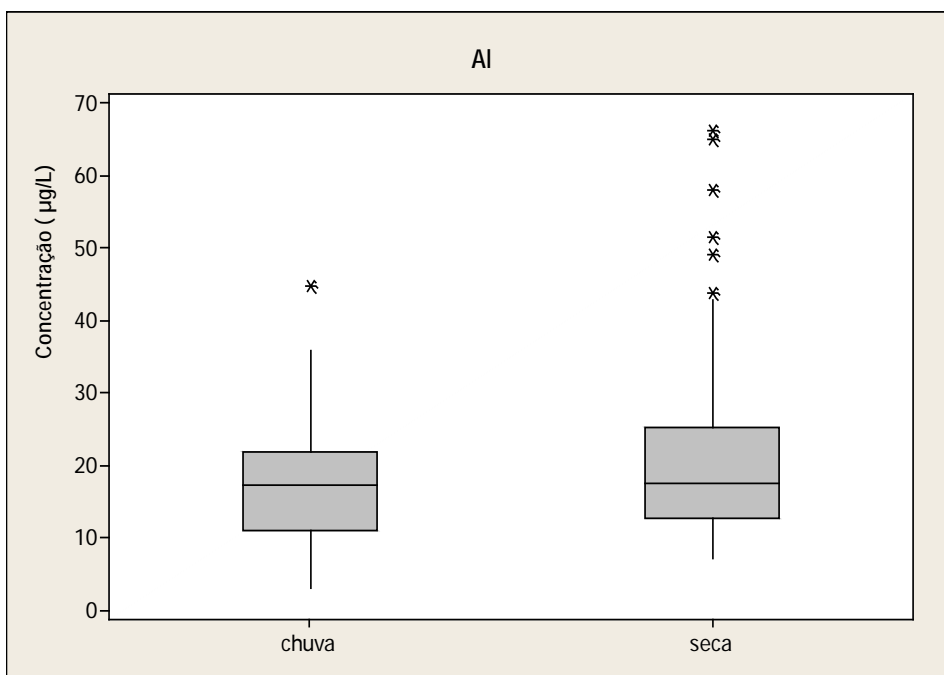


Figura 4.2.5 C: Concentração de alumínio nos períodos de chuva e de seca.

4.2.6. Manganês

As figuras 4.2.6 A e 4.2.6 B representam as concentrações de manganês nas amostras nos períodos de chuva e de seca.

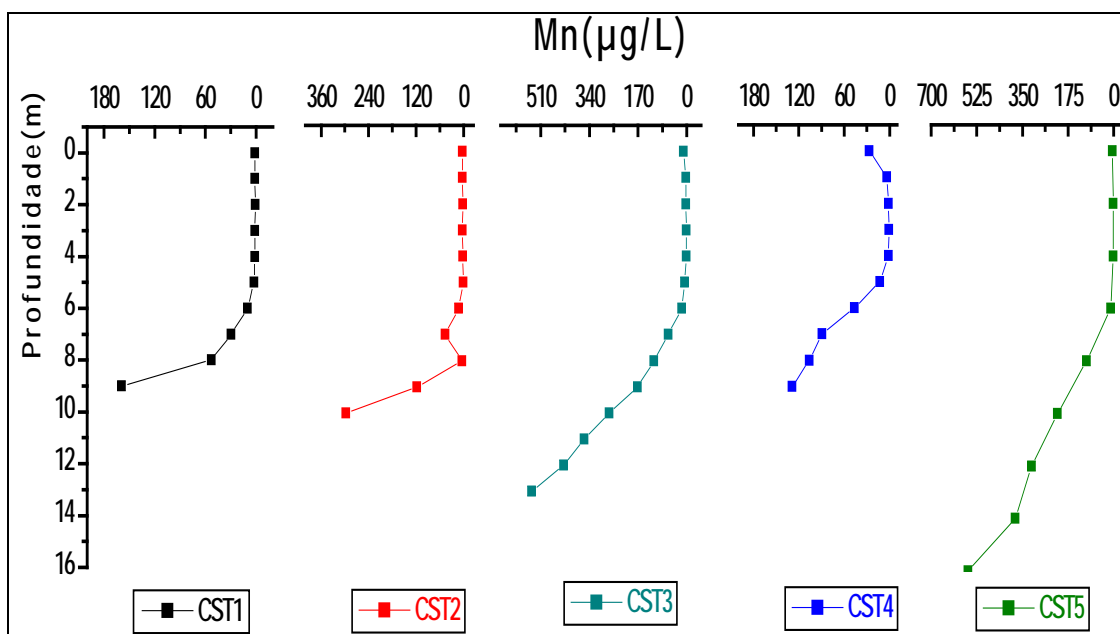


Figura 4.2.6 A: Valores de manganês no período de chuva.

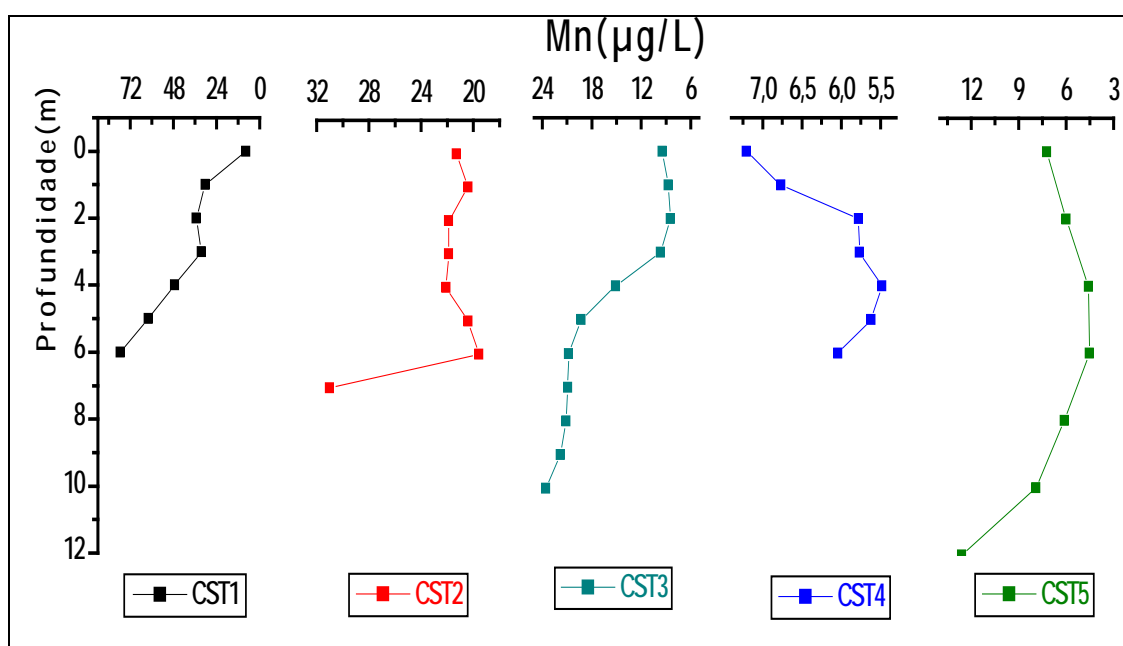


Figura 4.2.6 B: Valores de manganês no período de seca.

Pela análise das figuras acima observa-se que os valores das concentrações na estação de chuva em relação a estação de seca são praticamente iguais até a

profundidade de 6 metros. A partir desta profundidade este metal apresentou concentrações extremamente elevadas, principalmente, na estação das chuvas. O aumento destas concentrações pode estar relacionado à maior proximidade da água com o sedimento de fundo, sendo que, de acordo com a litologia, o sedimento é composto por minerais que contêm o Mn. Porém, apesar destas variações o teste de Mann-Whitney mostrou que $Z_u = 0,466 < Z_c = 1,96$; o que indica não haver diferença estatística significativa entre os dois períodos.

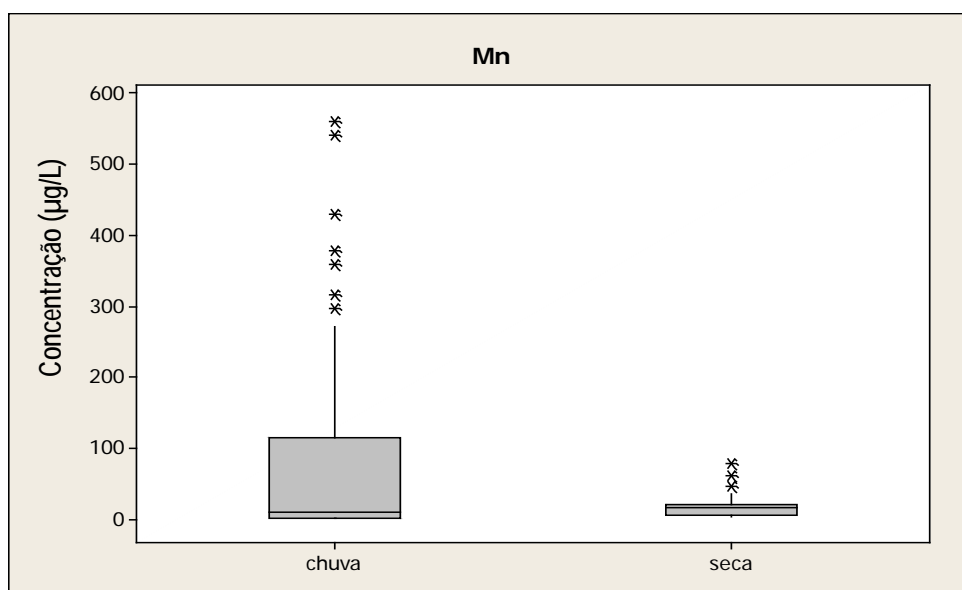


Figura 4.2.6 C: Concentração de manganês nos períodos de chuva e de seca.

4.2.7. Ferro

As figuras 4.2.7 A e 4.2.7 B representam as concentrações de ferro nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

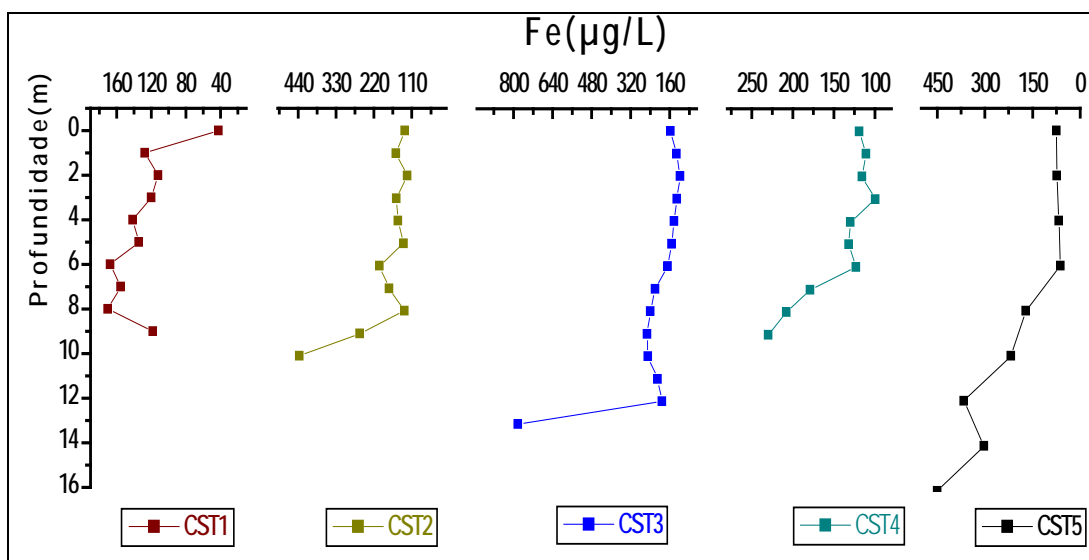


Figura 4.2.7 A: Valores de ferro no período de chuva.

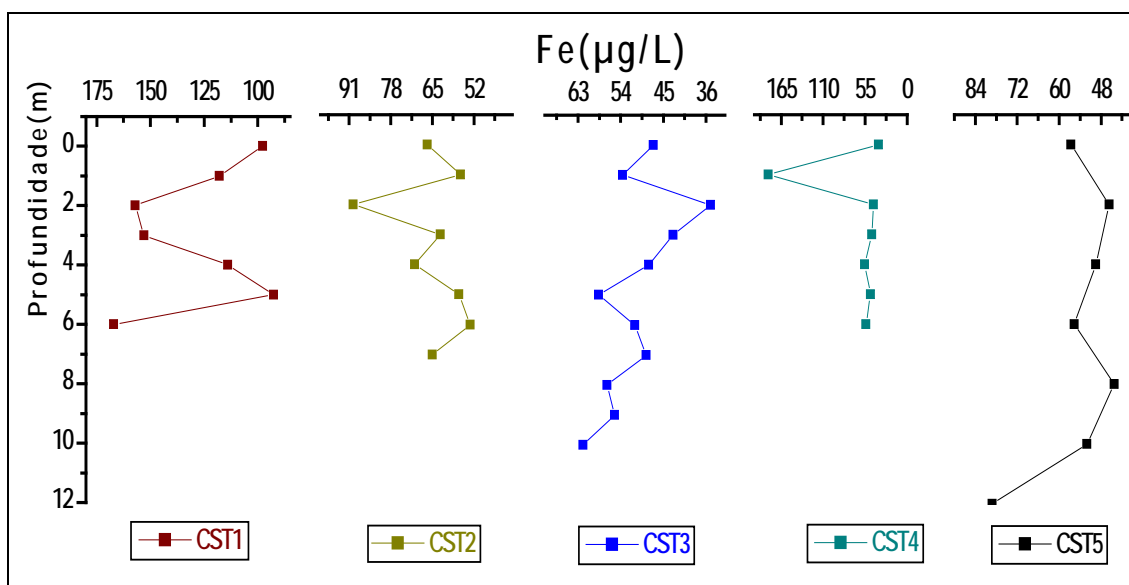


Figura 4.2.7B: Valores de ferro no período de seca.

Observa-se que as concentrações de ferro nos pontos amostrados no período de chuva são mais elevadas que para as coletas efetuadas nos mesmos pontos no período de seca. As maiores concentrações de ferro apresentadas no período de chuva podem ser devidas ao carreamento dos minerais que contem o mesmo em sua composição e, que estão presentes na constituição litológica do entorno da represa. Constatou-se ainda que, a concentração desse elemento de modo geral, aumenta com a profundidade, fato que está associado à proximidade com o sedimento de fundo.

O teste de Mann-Whitney mostrou $Z_u = 6,69 > 1,96$, o que vem a confirmar que há uma diferença entre os níveis de Ferro, que são maiores na época de chuva (Figura 4.2.8 C).

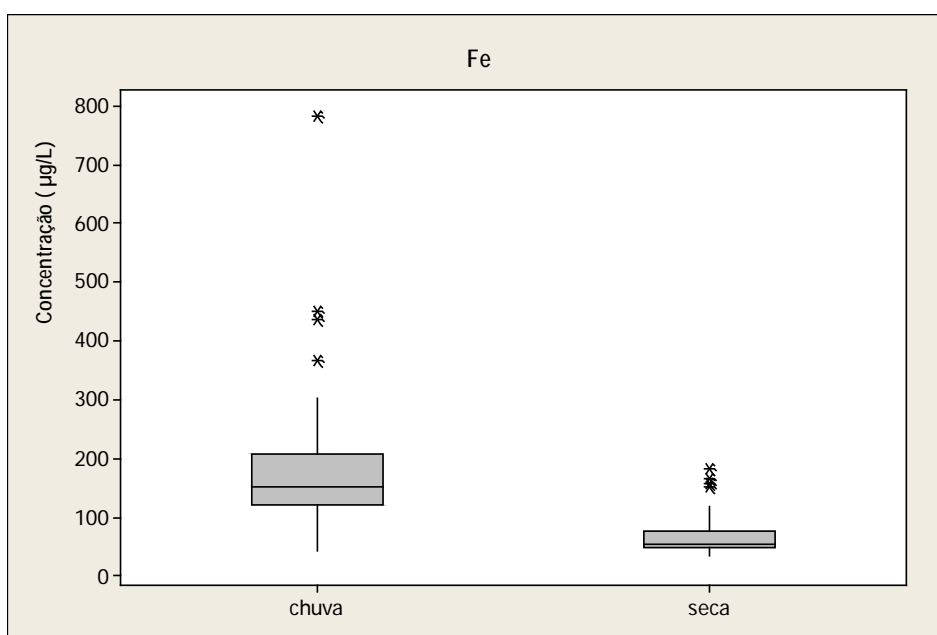


Figura 4.2.7 C: Concentração de ferro nos períodos de chuva e de seca.

4.2.8. Cromo, Cobalto, Cobre, Cádmio, Chumbo e Arsênio.

Todos esses elementos apresentaram-se em pequenas concentrações nas amostras relativas aos dois períodos de coletas, estando as mesmas abaixo do limite de quantificação dos aparelhos utilizados (ICP e Polarógrafo). Os limites de quantificação desses aparelhos são os seguintes: concentrações de cromo e cobalto menores que 1,20 µg/L; cobre menores que 4,5 µg/L; cádmio menores do que 5,0 µg/L e chumbo e arsênio menores que 0,5µg/L.

4.2.9. Níquel e Zinco

As concentrações de níquel e zinco na água coletada nos cinco pontos de amostragem, em ambos os períodos, apresentaram-se muito pequenas. Porém, houve variação desses valores de acordo com a profundidade e a localização dos pontos. Algumas amostras apresentaram valores abaixo do limite de quantificação do aparelho. Para o níquel, esse valor é menor que 2,59 µg/L e para o zinco é menor que 1,80 µg/L. Nas amostras cujas concentrações foram mais elevadas, ou seja, acima do limite de quantificação, os valores apresentaram-se muito abaixo do exigido pela legislação (CONAMA/86) para enquadramento das águas de classe 1.

As Tabelas 4.3.A 4.3.B mostram os resultados das análises de metais em sedimento, período de chuva e seca 2002.

Tabela 4.3. A: Resultados das análises dos metais em sedimento – período de chuva 2002.

amostra	Concentração (µg/g)																					
	Ca	Mg	Na	K	Mn	Fe	Ti	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	Zr	As	Sr	Mo	Cd	Ba	Pb	Al	V	Y
CST1	146	237	6,30	617	609	98889	56,8	15,3	62,2	12,5	46,5	77,9	12,6	<6,00	3,54	<2,60	7,51	103	20,4	26421	54,8	8,56
CST2	214	204	6,10	627	312	42785	88,4	4,46	32,1	5,53	15,9	33,1	9,02	<6,00	3,74	<2,60	3,13	76,4	14,3	20830	31,3	9,33
CST3	219	381	7,73	990	361	72154	47,2	5,41	54,1	9,41	25,6	45,2	12,2	<6,00	15,6	<2,60	5,11	163	24,1	30805	59,2	12,6
CST5	202	273	7,10	1034	391	74562	28,1	7,17	69,9	7,94	18,2	49,5	13,8	<6,00	6,09	<2,60	5,49	157	20,1	32650	57,2	10,2

Tabela 4.3.B: Resultados das análises dos metais em sedimento – período de seca 2002.

Amostra	Concentração (µg/g)																					
	Ca	Mg	Na	K	Mn	Fe	Ti	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	Zr	As	Sr	Mo	Cd	Ba	Pb	Al	V	Y
CST1	238	300	6,59	693	683	105589	185	19,3	75,9	13,6	23,7	74,8	13,3	<6,00	4,68	<2,60	7,95	102	21,5	29992	66,1	9,30
CST2	254	293	5,52	719	326	52420	128	7,7	41,2	7,21	62,3	70,9	9,7	<6,00	5,32	<2,60	3,88	92,7	14,7	23864	38,7	9,84
CST3	394	381	8,90	1194	432	71206	166	10,8	64,6	9,69	18,8	52,2	12,1	<6,00	10,5	<2,60	5,34	163	21,1	33083	60,2	10,4
CST5	264	349	10,4	1335	339	61702	92,6	6,4	62,2	7,87	16,9	47,3	10,9	<6,00	8,97	<2,60	4,50	183	20,7	29454	51,2	9,64

4.3. Difratometria e análise de metais em sedimento

Os sedimentos analisados através da difratometria e Raios-X apresentam a seguinte constituição mineralógica: kaulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), muscovita ($(\text{K},\text{Ba},\text{Na})_{0,75}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Cr}, \text{V})_2(\text{Si}, \text{Al}, \text{V})\text{O}_{10}$) e quartzo (SiO_2). Há estudos que ressaltam a correlação positiva entre a kaulinita e os elementos Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, fato este evidenciado pela expressiva afinidade entre estes e os demais metais (Dornelles, 1998).

As figuras 4.3. A, 4.3.B, 4.3.C e 4.3.D mostram os resultados das análises dos sedimentos.

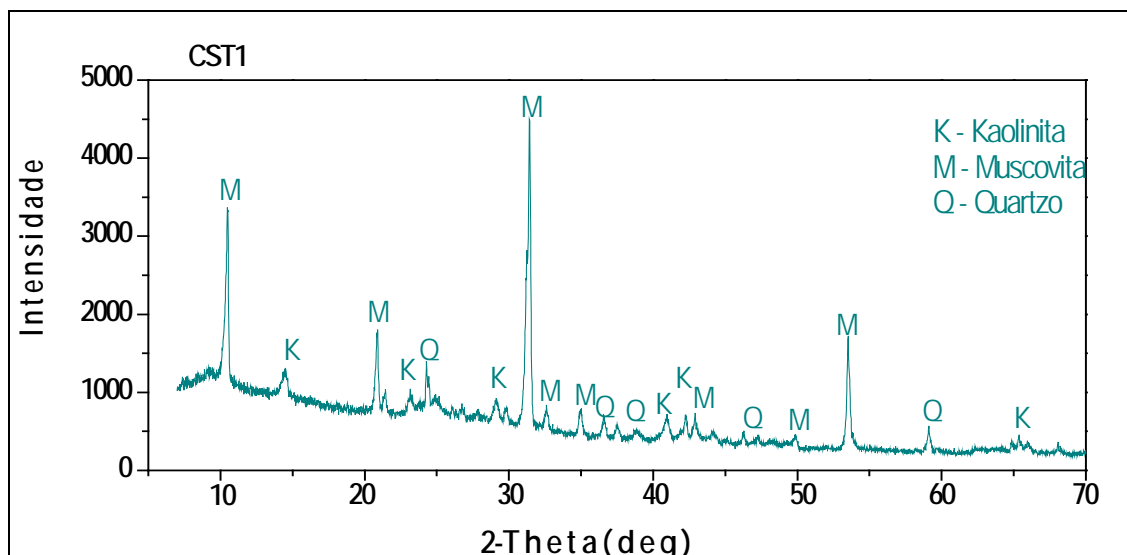


Figura 4.3. A: Difratograma de raios-X representativo das amostras coletadas no ponto CST1, período de seca.

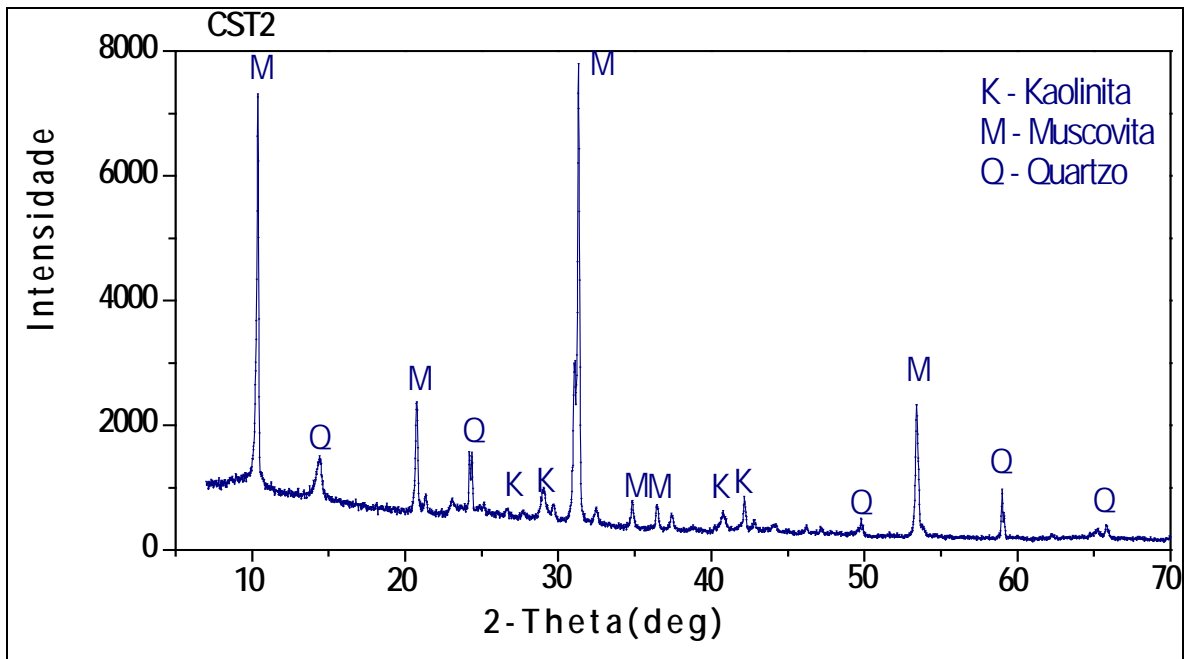


Figura 4.3.B: Difratoograma de raios-X representativo das amostras coletadas no ponto CST2, período de seca.

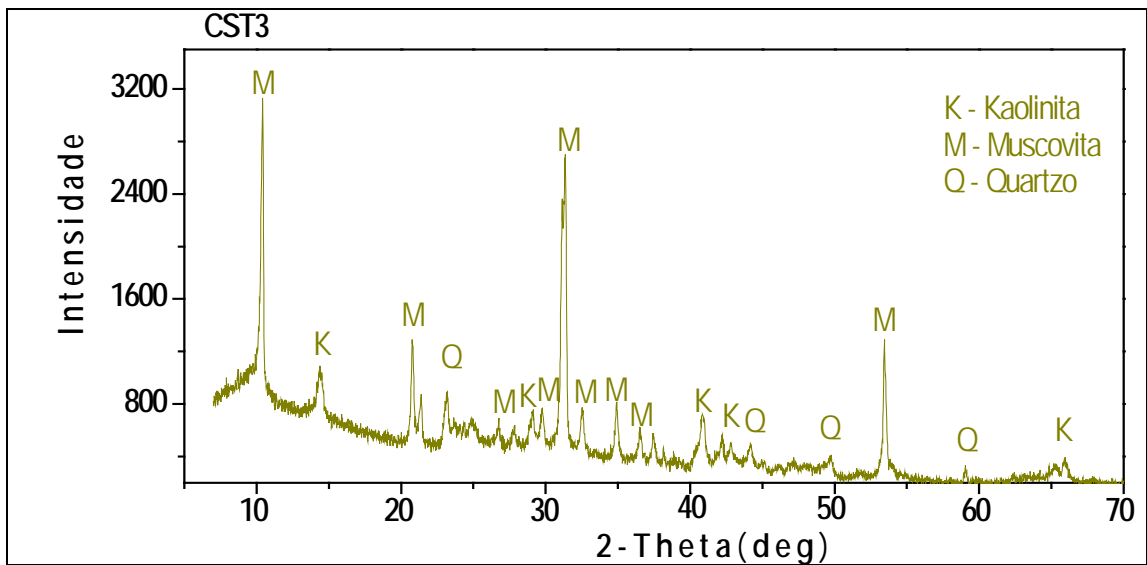


Figura 4.3.C: Difratoograma de raios-X representativo das amostras coletadas no ponto CST3 , período de chuva.

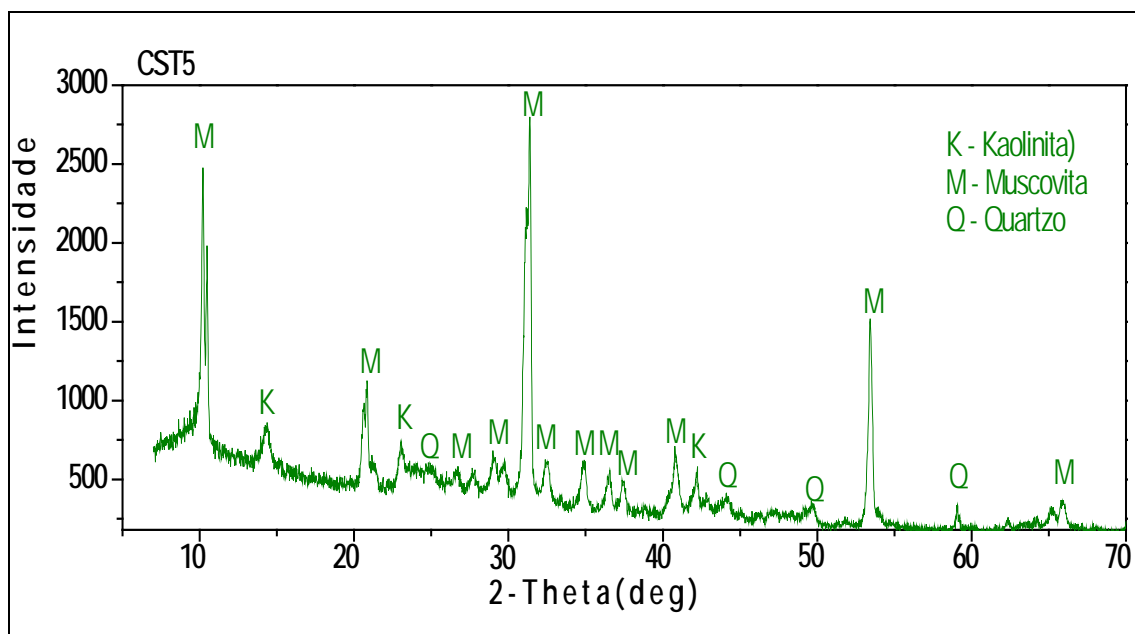


Figura 4.3.D: Difratoograma de raios-X representativo das amostras coletadas no ponto CST5, período de chuva.

4.3.1. Ferro e Alumínio

As Figuras 4.3.1A e 4.3.1B mostram as concentrações dos metais ferro e alumínio nos sedimentos relativos aos períodos de chuva e de seca. Já a Tabela 4.3.1 A apresenta os dados estatísticos referentes ao ferro e a tabela 4.3.1 B dados relativos ao alumínio.

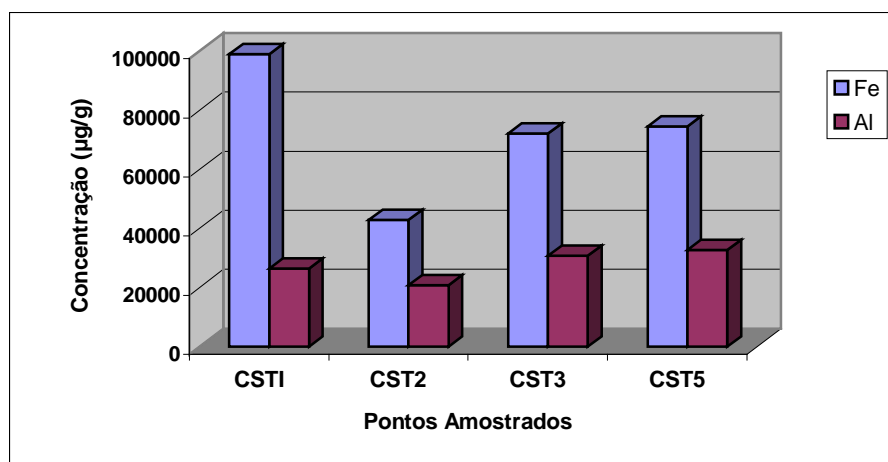


Figura 4.3.1. A: Metais em sedimento período de chuva.

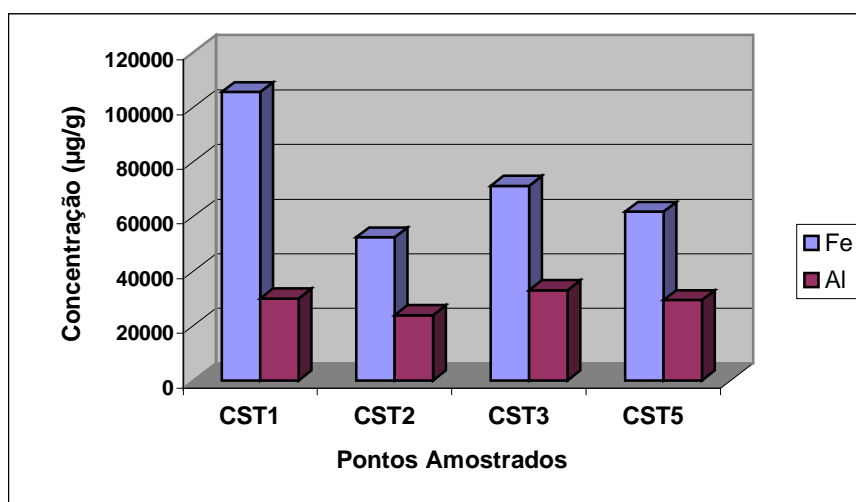


Figura 4.3.1.B: Metais em sedimento período de seca.

Tabela Anova 4.3.1. A: Dados estatísticos sobre a concentração de ferro nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Fe	Entre Períodos	3615435,19	1	3615435,2	0,07	10,13
	Entre Pontos	3055304441	3	1018434813,7	20,40	9,28
	Erro Amostral	149747450	3	49915816,6		
	Total	3208667326	7			

NOTA: F – RAZÃO ENTRE VARIÂNCIAS, F CRIT – VALOR CRÍTICO DE F

Tabela Anova 4.3.1.B: Dados estatísticos sobre a concentração de alumínio nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Al	Entre Períodos	4043062,08	1	4043062,1	0,83	10,13
	Entre Pontos	112540271	3	37513423,5	7,69	9,28
	Erro Amostral	14641008,75	3	4880336,2		
	Total	131224341	7			

É possível observar que a concentração de ferro no período de seca apresentou-se mais elevada em relação ao período de chuva e que, os maiores valores foram encontrados no ponto CST1 (seca e chuva). Os valores das concentrações elevadas do ferro se justificam, pois a represa está localizada no Quadrilátero Ferrífero.

Para o alumínio, verifica-se que não houve diferenças significativas nas concentrações do mesmo entre os pontos amostrados e os períodos de coleta. Porém, observou-se que esses valores são bastante elevados em todos os pontos. O fato das concentrações desse elemento apresentarem-se elevadas quando comparadas as de alguns metais analisados neste trabalho está associado à presença dos minerais que compõem o sedimento de fundo que contêm o alumínio em sua composições química.

4.3.2. Análise de outros metais

As Figuras 4.3.2 (A,B,C,D, E,F,G e H) mostram as concentrações dos demais metais analisados nos sedimentos de acordo com os pontos e os períodos de coleta e, as tabelas 4.3.2 (A,B,C,D, E,F,G e H) apresentam dados estatísticos desses pontos para os mesmos períodos.

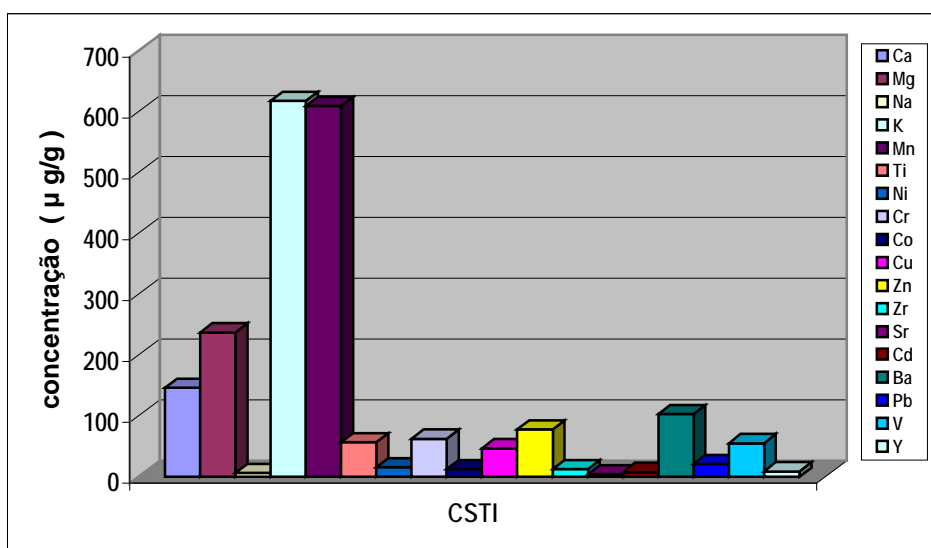


Figura 4.3.2A: Metais em sedimento período de chuva

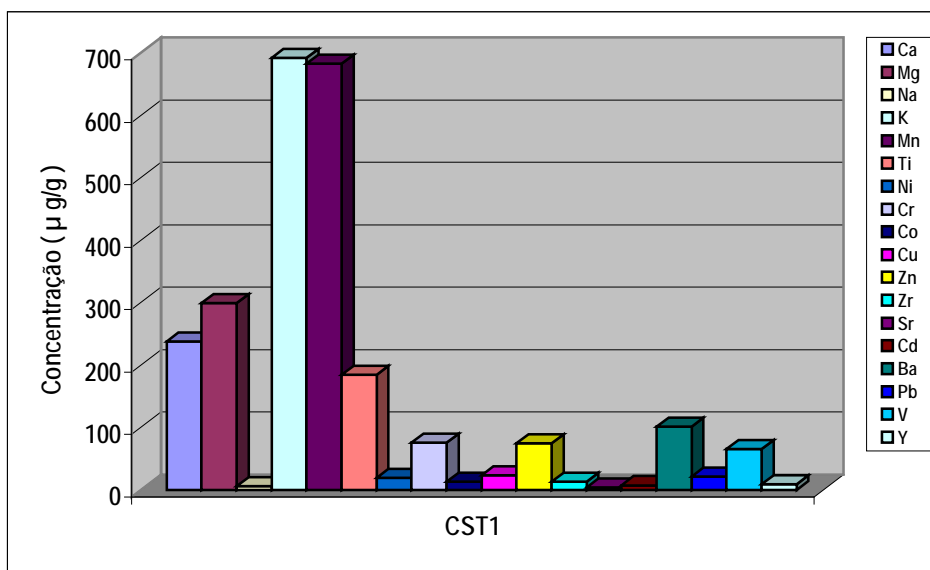


Figura 4.3.2B: Metais em sedimento período de seca

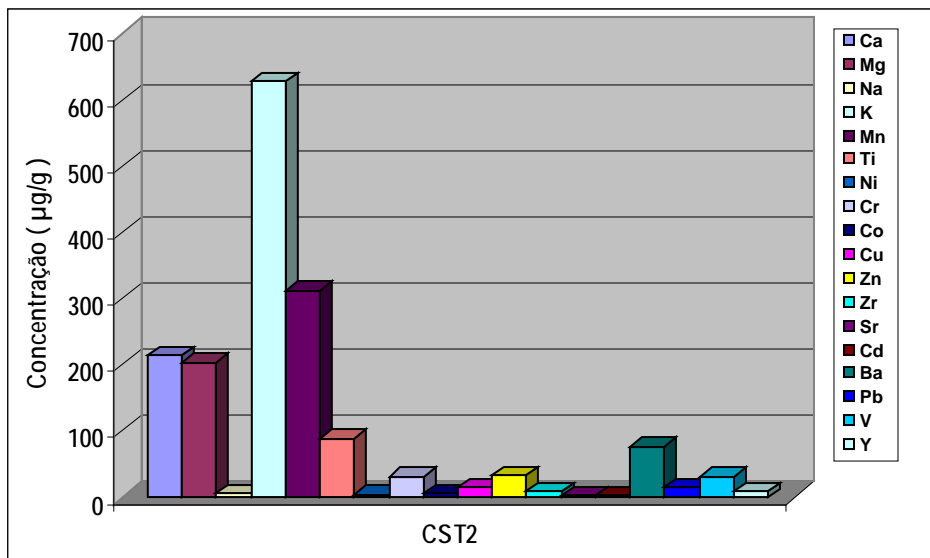


Figura 4.3.2C: Metais em sedimento no período de chuva

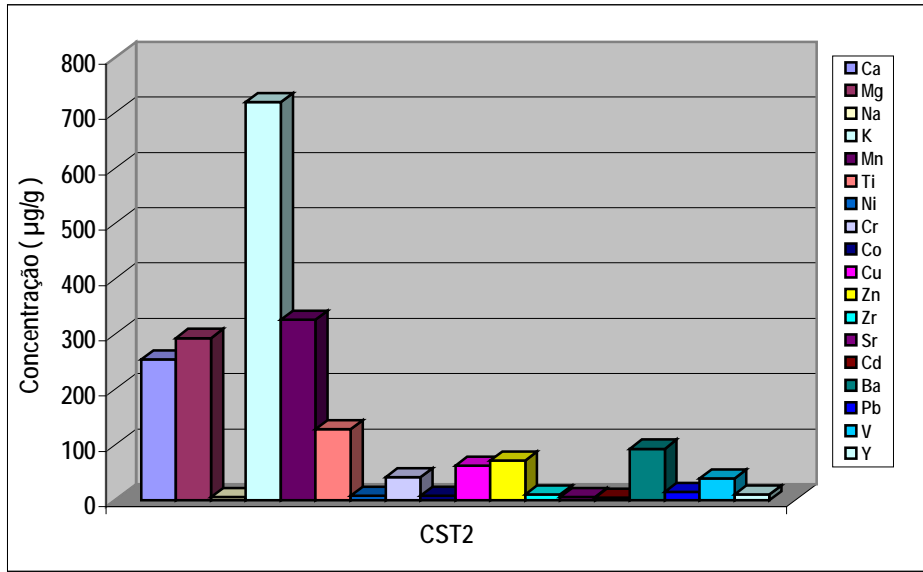


Figura 4.3.2 D: Metais em sedimento no período de seca

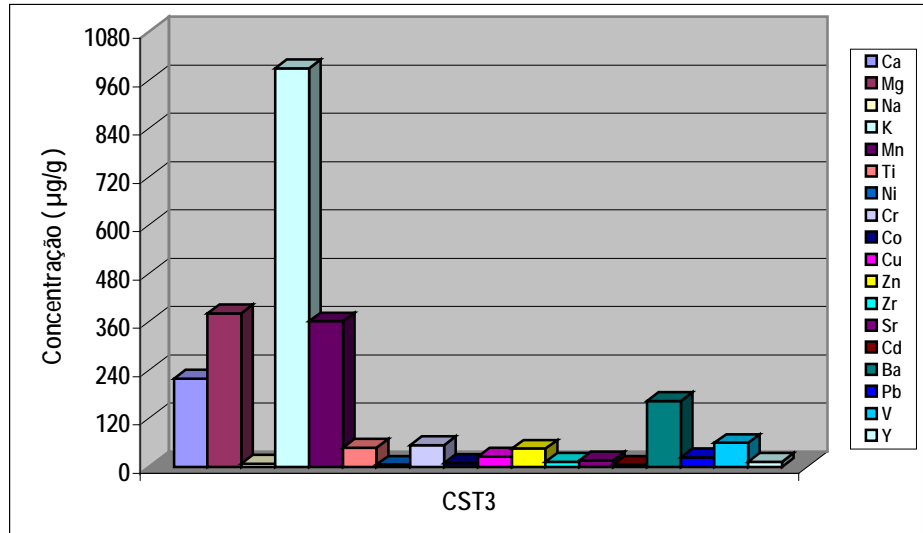


Figura 4.3.2 E: Metais em sedimento no período de chuva

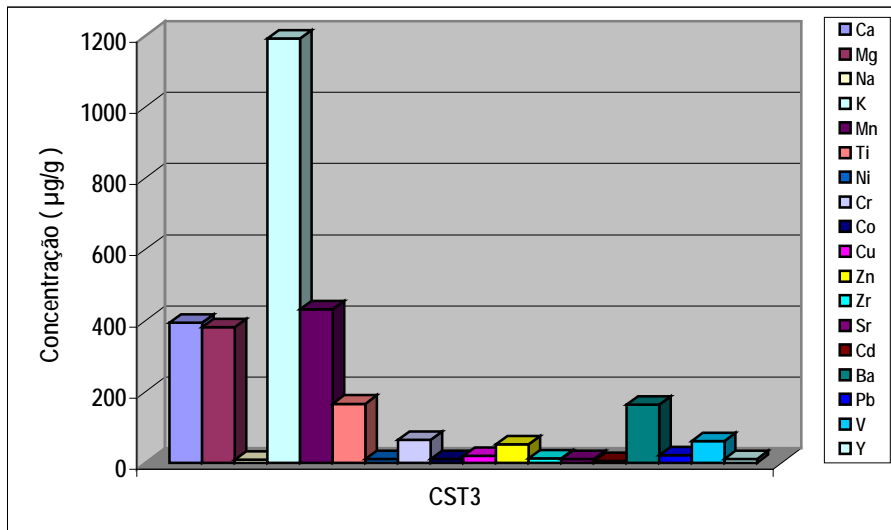


Figura 4.3. 2 F: Metais em sedimento no período de seca

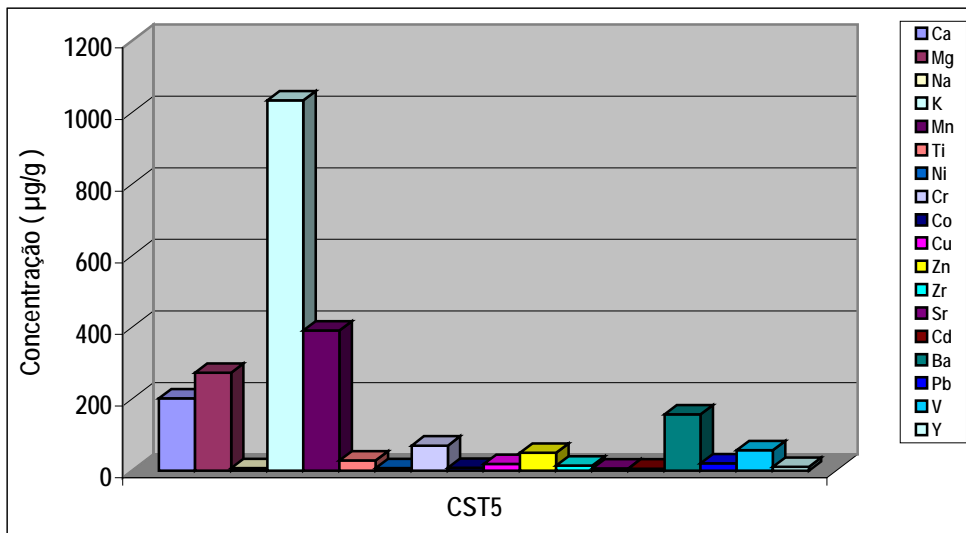


Figura 4.3.2 G: Metais em sedimento no período de chuva

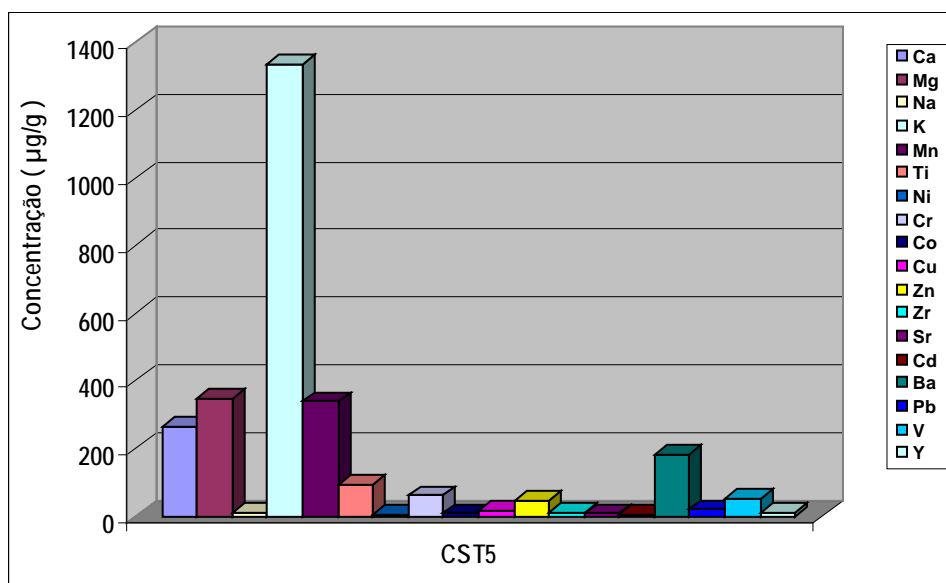


Figura 4.3.2 H: Metais em sedimento no período de seca

Tabela Anova 4.3.2 A: Dados estatísticos sobre a concentração de manganês nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Mn	Entre Períodos	1446,02	1	1446,0	0,83	10,13
	Entre Pontos	128612,57	3	42870,9	24,47	9,28
	Erro Amostral	5256,78	3	1752,3		
	Total	135315,38	7			

Tabela Anova 4.3.2 B: Dados estatísticos sobre a concentração de níquel nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Ni	Entre Períodos	17,47	1	17,5	5,03	10,13
	Entre Pontos	163,11	3	54,4	15,67	9,28
	Erro Amostral	10,41	3	3,5		
	Total	190,99	7			

Tabela Anova 4.3.2 C: Dados estatísticos sobre a concentração de cromo nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Cr	Entre Períodos	82,85	1	82,8	1,80	10,13
	Entre Pontos	1289,61	3	429,9	9,32	9,28
	Erro Amostral	138,35	3	46,1		
	Total	1510,81	7			

Tabela Anova 4.3.2 D: Dados estatísticos sobre a concentração de cobre nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Cu	Entre Períodos	30,62	1	30,6	0,07	10,13
	Entre Pontos	631,54	3	210,5	0,47	9,28
	Erro Amostral	1330,34	3	443,4		
	Total	1992,50	7			

Tabela Anova 4.3.2 E: Dados estatísticos sobre a concentração de zinco nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Zn	Entre Períodos	193,66	1	193,7	1,05	10,13
	Entre Pontos	1082,58	3	360,9	1,96	9,28
	Erro Amostral	552,36	3	184,1		
	Total	1828,61	7			

Tabela Anova 4.3.2 F: Dados estatísticos sobre a concentração de cádmio nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	QuadrMédios	Razão F	Fcrit
Cd	Entre Períodos	0,02	1	0,0	0,08	10,13
	Entre Pontos	18,36	3	6,1	21,12	9,28
	Erro Amostral	0,87	3	0,3		
	Total	19,25	7			

Tabela Anova 4.3.2 G: Dados estatísticos sobre a concentração de chumbo nos pontos amostrados nos períodos de chuva e de seca.

	FonteVariação	SQuadr	gl	Quadr. Médios	Razão F	Fcrit.
Pb	Entre Períodos	0,08	1	0,1	0,05	10,13
	Entre Pontos	75,08	3	25,0	14,82	9,28
	Erro Amostral	5,07	3	1,7		
	Total	80,23	7			

Os elementos cálcio, sódio, potássio, titânio, cobalto, estrôncio, bário, zircônio, vanádio, magnésio e ítrio apresentaram pequena variação de concentração entre os pontos de amostragem.

As maiores concentrações verificadas foram para o potássio, manganês, cálcio e magnésio.

Os metais cádmio, manganês, níquel, cromo e chumbo apresentaram comportamento semelhante. Suas concentrações não apresentaram grandes variações entre os períodos de coletas (chuva e seca), sendo essas variações verificadas entre os pontos de amostragem (Figuras 4.3.2A, 4.3.2B, 4.3.2C, 4.3.2D, 4.3.2E, 4.3.2F, 4.3.2G, 4.3.2H). Nas Tabelas 4.3.2A, 4.3.2B, 4.3.2C e 4.3.2G pode-se verificar a análise estatística relativa aos metais citados. Segundo essa análise as concentrações dos elementos realmente variam entre os pontos de coleta. Porém, essas variações não deixam de conferir uniformidade aos metais no sedimento de fundo.

Os dados estatísticos mostrados pelas Tabelas 4.3.2D, 4.3.2E mostram que não houve variações de concentração dos elementos cobre e zinco entre os pontos e períodos de coleta.

A EPA (Environmental Protection Agency, 1985) caracteriza os sedimentos de acordo com a concentração de cada metal no mesmo. Segundo esse órgão, sedimentos que apresentam concentrações de manganês menor que 0,3 mg/g, níquel menor que 0,02 mg/g, zinco menor que 0,09 mg/g e cádmio igual a 0,0002 mg/g são classificados como não poluídos, ou seja, que não contribuem para a contaminação do sistema. Em nosso estudo, níquel e zinco apresentaram concentrações dentro dos limites citados. As concentrações de manganês encontradas estiveram acima do limite estabelecido, assim como o cobre que, apresentou concentrações que variaram entre 0,025 e 0,05 mg/g, o que, segundo o EPA (1985) é característica de um sedimento moderadamente poluído, ou seja, que pode contribuir para contaminação do sistema.

Já os valores de cádmio nos sedimentos estudados variaram entre 0,003 e 0,008 mg/g. De acordo com o referido órgão esses podem ser considerados de moderadamente a altamente poluídos.

Capítulo 5

Conclusão

Na Represa do Custódio, os resultados das concentrações dos metais e os valores dos parâmetros físico-químicos analisados mostram que todos os elementos estão abaixo do limite estabelecidos pelo CONAMA (1986) para as águas de classe 1, ou seja, aquelas destinadas, entre outras coisas, ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado.

As análises das amostras de sedimento da represa mostram uma distribuição bem uniforme dos metais. De todos os elementos encontrados, os que apresentaram concentrações bem mais elevadas foram o Fe, Al, Cd e Mn. A situação mais preocupante da presença destes elementos na interface sedimento água e sua liberação para o sistema aquático. Os altos valores de manganês e cádmio podem estar relacionados à presença de impactos antropogênicos. Já as presenças do Fe e Al são relevantes, pois eles estão presentes na maioria dos minerais que compõem litologia da região.

A análise estatística referente às concentrações mostrou que há uma homogeneidade do sedimento

Estudos posteriores poderão utilizar estes dados na avaliação de um valor de base para sedimentos e águas da região.

Capítulo 6

Referências Bibliográficas

ADAD, J. M. L. T. (1969). Controle químico de qualidade. Belo Horizonte. UFMG. Editora Veja 87-116. 381p.

ÁGUILA, P. S., ROQUE, C. C., MIRANDA, C. S., FERREIRA, A. P. 2000. Avaliação da qualidade da água para abastecimento do Município de Nova Iguaçu. Rio de Janeiro. Cadernos de Saúde Pública, v.16, n.3.

AGUDO, E. G. (1988). Guia de coleta e preservação de amostras de água. CETESB. São Paulo. 150 p.

ALFREY, A.C. (1986). Aluminum. In: MERTZ, W. (Ed.). Trace elements in human and animal nutrition. 5ed. San Diego: Academic Press, v.2: p.399-413.

ALKMIM F. F., MARSHAK S. (1998). Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. Precambrian Research, 90: 29-58.

ALMEIDA, F. F. M. (1976). Estruturas do Pré-Cambriano Inferior. 29^a Congresso Brasileiro de Geologia. Ouro Preto. Resumo dos Trabalhos, p. 201-202.

ALLOWAY, B. J. (1993). Heavy metals in soils. Blackie, Glasgow and London. 339 p.

ALLOWAY, B. J. (1990). The origin of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. New York: John Wiley & Sons. 29-39p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 1992. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 18 ed. Washinton, EUA. P. 3-103.

ARAÚJO J. G. M. & BARISON M. R. (1990). Estudo Litoestratigráfico e Estrutural dos Corpos de Itabirito na Região de Alegria, Minas Gerais. Trabalho Geológico, DEGEO/EM/UFOP, 99p.

ATSDR (1997). ARSDR's Toxicological profiles on CD ROM. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Public Health Service. CRC Publishers.

AZEVEDO, E. B. (1999). Poluição vs. Tratamento de Água: duas faces da mesmas moeda. Química Nova na Escola, n. 10, p. 21-25.

AUDRY, P., SUASSUNA, J. 1995. A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino. Recife: ORSTOM/FUNDAJ, 128p.

BARBOSA A. L. M. (1968). Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. Ouro Preto, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 68p.

BERNARDO, S. (1989). Manual de irrigação. Imprensa Universitária UFV. 5^o ed. 91-109. 596p.

BOWEN, H. J. M. (1979). Environmental Chemistry of the Elements, Ac. Press, England, 333 p.

BRANCO, S. M. (1991). A água e o homem. In: Hidrologia Ambiental. São Paulo: Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, volume 3, p.3-25.

BRAYNER, F.M. M. (1998). Determinação das taxas de retenção de metais traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. p.103.

BRYAN, G. W. (1992). Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review . *Environmental Pollution*, v. 76, p. 89-131.

BUTLER, B. E. (1996). Consultation with national experts: managing contaminated land. *UNEP Industry and Development*, April June, p. 54-56.

CARNEIRO M. A., NOCE C. M., TEIXEIRA W. (1995). Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: Uma análise fundamentada no conhecimento atual da Geocronologia U-Pb e Geoquímica Isotópica Sm-Nb. *Revista Escola de Minas*, v. 48, n. 4, p. 264-273.

CARNEIRO, M. A. (1992). O Complexo Metamórfico Bonfin Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e Evolução Geológica de um Seguimento de Crosta Continental do Arqueano. Instituto de Geociências (USP), Tese de doutorado, 223 p.

CARRANZA, C. & BEMBEN, S.M., (1973). The origin, effects and control of turbidity in an urban recreational lake. *Water Resources Research Center, University of Massachusetts*.

CASTAÑEDA, C. (1993). Caracterização Geológica e Geomorfológica do Parque Estadual do Itacolomi. Ouro Preto, Convenio IEF/UFOP/Bird. 36p.

CASTLEMAN, B. I., ZIEM, G. E. (1988). Corporate influence on threshold limit values. *Am. J. Ind. Med.*, v. 13, p. 531-539.

CETESB. (2000). Situação de individuais prioritárias. Gerência ambiental de Ribeirão Preto, v. 1, p. 87- 125, Cetesb, São Paulo (Série Relatório)

CETESB. (1999). Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 219 p.

CETESB. (1985). Estudo emergencial dos níveis de contaminação por metais pesados na água, sedimento e peixes do reservatório Rio das Pedras. São Paulo, 10 p.

CHOW, T. J. (1978). Lead in Natural waters. In: Nriagu, J.O.: The biogeochemistry of lead in the environmental, Part A, p. 185- 218. Elsevier,Amesterdam- New York – Oxford.

CLARKSON, T. (1995). Health effects of metals: A role for evolution? Environmental Health Perspective, v. 103, p. 9-12.

CONAMA.(1986). Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. *Resolução CONAMA n^o 20 de 18/06/1986.*

CORDANI U. G., TEIXEIRA W., SIGA O . Jr. (1980). Geocronologia do Quadrilátero Ferrífero. In: SICEG, Semana de Estudos Geológicos, Ouro Preto, Boletim, v. 21, p. 27-44.

COX, P. A. A (1997). The elements on earth. Oxford: Oxford Universty Press. p. 105-280.

CROUNSE, R. G.; PORIES, W. J.; BRAY, J. T.; MAUGER, R. L. (1983). Geochemistry and man: Health and disease. Essential Elements. In: Thornton, 1. Applied Environmental Geochemistry. London. Academic Press. 267 – 333. 501p.

DERBY O. A. (1906). The Serra do Espinhaço, Brazil. *Jornal of geology*, 14(5), p. 374-401.

DERISIO, J. C. (2000). Introdução ao controle de poluição ambiental. São Paulo: Signus Editora, 2. ed. 164p.

D'ITRI, F.M (1990). Mercury contamination: wath we have learned since Minamata. *Environmental Monitoring and Assesment*, v. 19, p. 165-182.

DNPM. (1993). Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Folha SF.23-x-B-I, Mariana. Brasília. 183p.

DOBROVOL'SKILL, V. V. (1997). Biospheric cycles of heavy metal and regulatory role of soil. *Eurasian Soil Science*, v. 30, n. 4, p. 371-380.

DORNELLES, L.M.A. (1998). Minerais de argila em sedimentos de fundo da Baía de Sepetiba, RJ, Brasil e suas associações com metais pesados, In: SBG, XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, 1998. Anais, 243.

DORR J. V. N. (1969). Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. U. S. Geological Survey Professional Paper, 641(A): 110p.

DORR J. V. N. II, GAIR J. E., POMERENE J. B., RYNEARSON G. A. (1957). Revisão estratigráfica pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM/DFPPM. Avulso, 81, 36p.

ESTEVES, F. A. (1988). Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro. Ed. Interciência LTDA/FINEP. 575p.

EWERS, U., SCHLIPKOTER, H.W. (1991). In: *Metals and compounds in the environmental*, p. 971-1014, by E. Merian. VCH, Weinheim – New York.

FEITOSA, F.A.C & FILHO, J.M. (1997). Hidrologia: conceitos e aplicações. Fortaleza. CPRM, LABHID-UFP. 412p.

FELLENBERG, G. (1980). Introdução aos problemas de poluição ambiental. E.P.U., São Paulo, SP.

FERGUSSON, J.E. (1990). *The Heavy Elements: chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press. 1 ed., New York,. 614p.

FILHO, F. P. (1995). *Fundamentos de ciências do ambiente para engenheiros*. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, 203p.

FIMREITE, N., HANSEN, O.O., PETTERSEN, H.C. (1997). Aluminium concentrations in selected foods prepared in aluminium cookware, and its implications for human health. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, v.58, n.1, p.1-7.

FÖRSTNER, U. 1980. Trace metal analysis of polluted sediments, part 1. Assessment of sources and intenseteis. *Eviron. Technol. Lette.*, 1: 494-505

FÖRSTNER, U., MULLER, G. (1981). Concentrations of heavy metals in poycyclic aromatic hidrocarbons in rivers sediments: geochemical background , man's influence and environmental impact. *Geojournal*, v. 5, p. 417-432.

FÖRSTNER, U. 1989. *Contaminated sediments*. Springer-Berlim. Lecture notes in Earth Sciences, v. 21. 157p.

FÖRSTNER, U., WITTMANN, G.T.W. (1983). *Metal pollution in the aquatic environment*. Second Revised Edition. Foreword by Edward D. Goldberg. Springer-Verlag, 486 p.

GAIR J. E. (1962). *Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadragles, Minas Gerais, Brasil*. U. S. Geological survry professional paper, 341(A): 67p.

GAIR J. E. (1958). *The Sabará formação*. Boletim n. 2 da Sociedade Brasileira de Geologia, 7, p. 68-69.

GANONG, W. F. (1993). Fisiologia médica. 14. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, p 3-342.

GLÖCKNER, K.H. 1981. Lithostratigraphie, Sedimentologie, Tektonik und Metamorphose der proterozoischen Itacolomi-Serie bei Ouro Preto, Minas Gerais, Brasilien. Clausthaler Geowiss. Diss. H. 10, 221 p.

GRAMBELL, R. P. (1994). Trace and toxic metals in wetlands – A Review . Journal Environmental Quality, v. 23, p. 883-891.

HEM, J.D., (1970). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, Geological Survey Water-Supply Paper 1473. Washington. 363p.

HILLMAN, R. S. (1995). Hematopoeitic agents – growth factors, mineral and vitamins. In: HARDMAN, J. G.; LIMBIRD, L. E. (Eds.). Goodman and Gilman's The pharmacological basis of therapeutics. 9th.ed. New York: Mcgraw Hill, p 1317-1325.

JACKSON, J. (1991). Heavy metals and other inorganic toxic substances. In: Guidelines of lake management. Ed. MATSUI,, S. Japan. ILEC. p. 65-80.

JARDIM, W.F. (1983). Metais pesados, um dano irreparável. Ver. Brasil Tecnologia, v. 14, p. 41-45.

JEFFERY, G.H.; BASSETT, J.; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C. (1992). Análise Química Quantitativa. Livros Técnicos e Científicos. 5 ed., Rio de Janeiro.

KRAUSE, M. & Cols. (1998). Alimentos, nutrição e dietoterapia. 2ª Ed. Editora Guanabara - Koogan, Rio de Janeiro.

LACERDA, L. D., PFEIFFER, W. C. & FISZMAN, M. (1987). Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, S.E. Brasil. The Science of the Total Environmental, v. 65, p. 163-173.

LADEIRA, E. A & VIVEIROS, J. F. M.. (1984). Hipótese sobre a Estruturação do Quadrilátero Ferrífero com Base nos Dados Disponíveis. Boletim n. 4 do Núcleo de Minas Gerais da Sociedade Brasileira de Geologia, 24p.

LADEIRA, E. A. (1980). Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Tese de Doutorado. Universidade de Ontário, Canadá. 272p.

LEITE, M.A. (2002). Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do Reservatório Salto Grande, Americana – SP. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

LINDSAY, W. L. 1979. Solid phase-solution equilibrium in soil. In: DOWOY, R. H., RYAN, J. A., VOLK, V. V., BAKER, D. E. (Ed.). Chemistry in the soil environment. Madison: ASA/SSSA, cap.10, P. 183-203.

LUCKEY, T.D., VENUGOPAL, B. (1977). Metal toxicity in mammals: physiologic and chemical basis for metal toxicity. New York: Plenum Press, v.1.

MARSHAK, S. & ALKIM, F. F. (1989). Proterozoic Contraction/ Extension Tectonics of Southern São Francisco Region, Minas Gerais, Brazil. Tectonics, v. 8, n. 3, p. 555-571.

McCUTCHEON, S. C., MARTIN, J. L., BARNWEL, T. O. (1992). Water Quality. In: Handbook of Hydrology. Maidment, D. R.(ed.). Austin McGraw – Hill . Cap. 11.

McKEE, J.E. & WOLF, H.W., (1971). Water Quality Criteria California State. Water Resources Control Board 547p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. (2004). Portaria N^o518, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da

qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, Brasil.

NAF, C., AXELMAN, J., BROMAN, D. (1986). Organic contaminants in sediments of the Baltic Sea: Distribution, behaviour and fate. In: Development and progress in Sediment Quality Assessment: Rationale, Challenges, Techniques & Strategies. Ed. MUNAWAR, M., DAVE, G., p. 15-25.

NETTO, J.M.A.(1987). Técnicas de abastecimento e tratamento de água. São Paulo. 2ª edição. CETESB/ASCETESB. 29 – 106. 549p.

NIELSEN, K. L. (1994) Apud KRAUSE, M. & Cols. (1998). Alimentos, nutrição e dietoterapia. 2ª Ed. Editora Guanabara - Koogan, Rio de Janeiro.

NOCE, C. M. (1995). Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USP. Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, 128p.

NOVOTNY, V. (1995). Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Water. In: Salomons, W., Fostner, U., Mader, R. 1995. Heavy Metals: Problems and Solutions. Springer, Germany, 33-52p.

OLIVEIRA, W. E. (1987). Qualidade, impurezas e características físicas químicas e biológicas das águas. Padrão de potabilidade. Controle da qualidade da água. In: ONIWANWA, P.C., IKADEH, G.C., NWEZE, S.E. (1997). Aluminium contents of some raw and processed Nigerian foods. Food Chemistry, Barking, v.58, n.4, p.351-353.

PÁDUA, H. B. (2001). Águas com dureza e alcalinidade elevada. Observações iniciais na Região de Bonito/MS, Brasil - registro de dados - 2001/2 - alguns conceitos e

comportamentos ambientais (parte 01), 64p. www.jundiai.com.br/abrappesq & www.ruralnet.com.br

PEDREIRA A. J., SILVA S. L. (1996). Sistemas deposicionais do greenstone belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SBG/ Núcleo Bahia, congresso brasileiro de geologia, 39, Sergipe, Anais, 1: 138-140.

PHIPPS, D. A.(1981). Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems. In: Effect of heavy metal pollution on plants. Ed. LEPP. N.W. Applied Science Publishers. p. 1-54.

POMERENE, J. B. (1958). The cercadinho formation. Boletim número 2 da sociedade brasileira de geologia, 7, p. 64-65.

POWELL, S.T., (1964). Quality of Water. In: Handbook of Applied Hydrology.V.T.Chow(Ed.). Section 19. McGraw-Hill, 37p.

RICCOMINI, C. (1989). O rift continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, IGc/USP. 256p. e anexos.

RICHARD, F., C., BOURG, A., C., M., (1991). Aqueous geochemistry of chromium: a review. Water Research, v.25, n. 7, p. 807- 816.

ROBERTS, N.S., CLOUGH, A., BELLIA, J.P., KIM, J.Y. (1998). Increased absorption of aluminium from a normal dietary intake in dementia. Journal of Inorganic Biochemistry, New York, v.69, n.3, p.171-176.

ROCHOW, E.G. (1987). Silicon and silicones: about stone-age tools, antique pottery, modern ceramics, computers, space, materials and how they all got that way. Berlin : Springer-Verlog, p.180.

ROESER, H. 1977. Petrographisch geochemische Untersuchungen der metamorphen Gesteinsserien im südöstlichen Grenzbereich des Eiserenen Vierecks, Minas Gerais, Brasilien. Tese de Doutorado, Univ. Técnica de Clausthal, 341 p

SANTOS, A. C. (1997). Noções de hidrogeoquímica. Cap. 5. In: FEITOSA, F.A.C & JOÃO, M.F. 1997. Hidrologia: conceitos e aplicações. Fortaleza. CPRM, LABHID-UFP. 412p.

SHAW, D. M. (1972). The origem of the Apsley gneiss, Ontário. Canad. J. Earth Sci., 9(1): 18 – 35.

SIMONS, G. C. (1958). The fecho de funil formation. Boletim n.2 da sociedade brasileira de geologia, 7, p. 65-66.

SOMERVAILLER, L. J. , LAIRD, E. E., CHETTLE, D. R., SCOTT, M. C. (1985). Heavy metals in the environmental. Consultants Edinburgh, p.524.

TAVARES, T. M., CARVALHO, F. M. (1992). Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano. Química Nova, v. 15, n. 2, p. 147-153.

TEIXEIRA, W. (1985). A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interações geocronológicas. Tese de Doutorado, Inst. De Geociências, Universidade de São Paulo.

TEIXEIRA, W. (1982). Geotecronology of the southern part of the São Francisco Craton. Rev. Brasileira de geociências, 12, p. 268-277.

UNEP. (1993). Preliminary assessment of the state of poluition of the Mediterranean Sea by zinc, Cooper and their compounds and proposed measures. Mediterranean Action Plan UNEP (OCA)/ MED/ WG.66/Inf.3, Athens, p. 3-7., May, 1993.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1985)
Contaminated Sediment Management Strategy. Washington, USEPA. 1V.

USEPA. 2003. Water Quality Report- What USEPA Says About Drinkin Water.
<http://www.cabq.gov/waterquality/resources/usepasays.html>.

WALLACE, R. M. (1958). The Moeda Formation. Boletim n. 2 da Sociedade Brasileira de Geologia, 7, p. 59-60.

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

WENBERG A., IREGREN A., STRUWE G., CIZINSKY G., HAGMAN M., JOHANSON L. (1991). Manganese exposure in steel smelters a health-hazard to the nervous-system. Scandinavian Journal of Work Environment & Health, v.17, n. 4, p. 255-262.

[WHO] WORLD HEALTH ORGANIZATION. (1999). Concise International Chemical Assessment Documento número 12. Geneva.

[WHO] WORLD HEALTH ORGANIZATION. (1993). Guidelines for drinking water quality. V. 1: Recomendations. ISBN 9241544600.