

## Campus de São Carlos

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS  
ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS  
(NAS PROXIMIDADES DO CANAL), DOS  
RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA  
(MÉDIO TIETÊ SUPERIOR - SP), EM FUNÇÃO  
DAS VARIAÇÕES HIDROLÓGICAS.

Anna Paola Michelano Bubel

Orientadora: Profa. Assoc. Maria do Carmo Calijuri

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**



**ESCOLA DE ENGENHARIA  
DE SÃO CARLOS**

Anna Paola Michelano Bubel

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS (NAS PROXIMIDADES DO  
CANAL), DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA (MÉDIO  
TIETÊ SUPERIOR – SP), EM FUNÇÃO DAS VARIAÇÕES  
HIDROLÓGICAS.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100047253

Tese apresentada à Escola de Engenharia  
de São Carlos da Universidade de São  
Paulo, como parte dos requisitos para a  
obtenção do Título de Doutor em Ciências  
da Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Assoc. Maria do Carmo Calijuri

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP  
**EXEMPLAR REVISADO**  
Data de entrada no Serviço: 22.10.2004  
Ass.: *Leandro Corio*



São Carlos  
2003

Class.	TESE - EESC ✓
Cutt.	L707
Tombo	T09610
Sysno	1367029

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B917c      Bubel, Anna Paola Michelano  
Características físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas (nas proximidades do canal), dos ribeirões do Moqué e Água Clara (médio Tietê superior-SP), em função das variações hidrológicas. -- São Carlos, 2003.

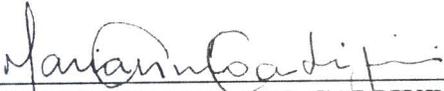
Tese (Doutorado). Escola Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo-USP.  
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Assoc<sup>a</sup>. Maria do Carmo Calijuri.

1. Ecótonos. 2. Interação. 3. Água superficial.  
4. Água subterrânea. 5. Rios. 6. Química da água.  
7. Bacia hidrográfica. I. Título.

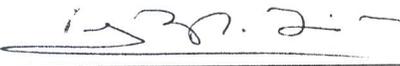
FOLHA DE JULGAMENTO

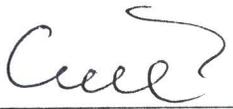
Candidata: Ecóloga ANNA PAOLA MICHELANO BUBEL

Tese defendida e julgada em 17-12-2003 perante a Comissão Julgadora:

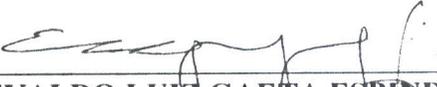
  
Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI (Orientadora)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado

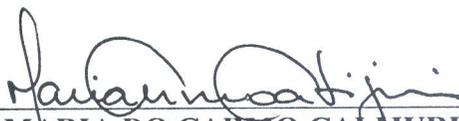
  
Prof. Tit. **RAOUL HENRY**  
(UNESP/Botucatu) APROVADO

  
Dra. **MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA**  
(Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais/IPEF) aprovado

  
Prof. Tit. **WALTER DE PAULA LIMA**  
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP) Aprovado

  
Prof. Dr. **DAVID MANUEL LELINHO DA MOTTA MARQUES**  
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS) APROVADO

  
Prof. Associado **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Ciências da Engenharia Ambiental

  
Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Para minha mãe que tenho como exemplo*

*Para o meu pai...*

## AGRADECIMENTOS

A Profa. Maria do Carmo Calijuri, por me acompanhar desde o mestrado e pelo exemplo nos bons e maus momentos do mundo acadêmico. Seguirei sempre admirando sua determinação.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP pela concessão da bolsa de estudos e da reserva técnica através do processo 99/06821-7. Além, dos diversos projetos concedidos a Profa. Maria do Carmo Calijuri que viabilizaram e viabilizam a existência do BIOTACE.

Aos professores que colaboraram para a realização desse trabalho: Prof. Dr. David da Motta Marques, Prof. Tit. Fazal Hussain Chaudry, Profa. Dra. Maria José de Brito Zákia, Prof. Tit. Raoul Henry e Prof. Tit. Walter de Paula Lima. Sem esquecer de todos os professores da Unesp de Rio Claro e da Escola de Engenharia de São Carlos que contribuíram para a minha formação.

A todos os funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos.

Aos meus companheiros de campo, que mostraram disposição nas mais adversas situações, em especial ao Miro e ao Betão que sempre me acompanharam.

Aos amigos com os quais partilhei as dificuldades e conquistas profissionais e especiais momentos, na boa fase da minha vida que foi e sempre será São Carlos. Sofia, Simone, Roseli, Maura, Jucélia, André, Lara, Mário, Patrícia, Adriana, Luci, Murilo, Karina, Monique, Fernanda, Aurélio, Tibério, Fabio, Iran, Everton, João Fernando, Caito, Caê, Cascia, Fernandão, Paty Pimentinha, Kátia, Maurício, Gina, David, entre tantos.

Aos meus amigos da ANA, em especial, aqueles, que atualmente são obrigados a aturar as minhas frescuras. Caito, Klebber, Márcio, Viviane, José Luiz, Ana Carolina, Sílvia Claudia e Elizabeth.

A Liló mais o Fábio e a Gleyci mais o Juan, sempre lhes desejando toda a felicidade e me desculpando pelas ausências em virtude dessa minha vida tumultuada.

A todos os meus filhotes, presentes e eternos. Bambi, Piaba, Elizabeth, Juquinha e Pedrita.

A aqueles do meu pequeno convívio familiar, a quem devo agradecer pela paciência. Mãe, Alexandre, Baths, Vera, Sheyla.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1 – UMA ABORDAGEM SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS LÓTICOS</b> .....	3
1.1 Transição entre os sistemas aquáticos superficiais e subterrâneos: <i>hyporheic zone</i> .....	06
1.2 - Teorias ecológicas dos sistemas lóticos.....	11
1.3 - Referências bibliográficas.....	16
<b>CAPÍTULO 2 – AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIBEIRÕES MOQUÉM E ÁGUA CLARA – MICRORREGIÃO GEOGRÁFICA DE BOTUCATU/SP</b> .....	21
2.1 - Localização geográfica.....	23
2.2 - Divisão político administrativa e características antrópicas.....	24
2.3 – Características fisiográficas das bacias hidrográficas.....	26
2.4 - Características geológicas das bacias hidrográficas.....	30
2.5 - Características geomorfológicas das bacias hidrográficas.....	31
2.6 - Declividades das bacias hidrográficas.....	32
2.7 – Considerações finais.....	35
2.8 - Referências bibliográficas.....	36
<b>CAPÍTULO 3 – INVENTÁRIO HIDROLÓGICO DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA – MICROREGIÃO GEOGRÁFICA DE BOTUCATU/SP</b> .....	39
3.1 – Material e método..	40
3.1.1 – Escolha dos trechos de estudo .....	40
3.1.2 - Locação e perfuração dos poços.....	41
3.1.3 – Campanhas de Amostragem.....	43
3.1.4 – Nível de água nos poços .....	43
3.1.5 – Restabelecimento do nível de água nos poços .....	44

3.1.6 – Secção transversal, velocidade de escoamento e vazão .....	44
3.1.7 – Material em suspensão .....	45
3.1.8 – Precipitação .....	45
3.2 – Resultados e considerações .....	46
3.3 – Considerações finais .....	63
3.4 -Referências Bibliográficas.....	66
<b>CAPÍTULO 4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE TESTEMUNHOS NAS PROXIMIDADES DOS CANAIS DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA – MICRORREGIÃO GEOGRÁFICA DE BOTUCATU/SP.....</b>	<b>69</b>
4.1 – Material e método.....	70
4.1.1 – Amostragem .....	70
4.1.2 – Variáveis físicas e químicas .....	70
4.1.3 – Manipulação das amostras .....	71
4.1.4 – Análise dos resultados .....	71
4.2 – Resultados e considerações.....	71
4.3 – Considerações finais.....	84
4.3 – Referências bibliográficas.....	85
<b>CAPÍTULO 5 – INVENTÁRIO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUPERFICIAS E SUBTERRÂNEAS (NAS PROXIMIDADES DO CANAL) DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA.....</b>	<b>87</b>
5.1 – Materiais e método.....	88
5.2 – Resultados e considerações – Caracterização física e química mensal.....	91
5.3 – Resultados e considerações – Caracterização física e química sazonal.....	129
5.4 - Considerações finais.....	146
5.5 – Referências Bibliográficas .....	148
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS LÓTICOS - RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA.....</b>	<b>151</b>

## RESUMO

BUBEL, A.P.M. (2003). *Características físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas (nas proximidades do canal), dos ribeirões do Moquém e Água Clara (Médio Tietê Superior – SP), em função das variações hidrológicas.*- Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. (2003)

As teorias sobre o funcionamento dos sistemas lóticos evoluíram nos últimos anos, os condicionantes geológicos/ geomorfológicos como também as regiões de transição têm recebido importância crescente. As regiões de transição merecem destaque uma vez que os sistemas lóticos estabelecem interações de fluxo com os ambientes vizinhos (atmosféricos, terrestres e subterrâneos) e a troca de materiais estabelecida entre esses sistemas é importante para a definição de suas características. As bacias hidrográficas dos ribeirões do Moquém e Água Clara, estudadas no presente trabalho, apresentam: proximidade geográfica além de semelhanças morfológicas e climáticas, porém diferem quanto aos aspectos geológicos e geomorfológicos. A partir desses aspectos, a presente pesquisa investigou as flutuações sazonais nas relações físicas, químicas e hidrológicas entre águas superficiais e subterrâneas (adjacências do canal), na região do baixo curso dos ribeirões já citados. Foram escolhidos dois trechos em cada ribeirão para a realização de: (1) inventário hidrológico mensal, a partir de medidas de velocidade de escoamento, vazão e do nível de água em poços instalados na região marginal dos rios nos trechos de estudo; (2) caracterização física e química de testemunhos da região marginal dos rios, onde foram utilizadas amostras obtidas durante a perfuração dos poços; (3) amostragens das águas superficiais e subterrâneas no mesmo período do inventário para a determinação das características físicas e químicas das mesmas. Os resultados destacaram os seguintes itens. O fluxo de base garantiu vazões regulares e elevadas ao ribeirão Água Clara, ao mesmo tempo que as vazões foram quase insignificantes no ribeirão do Moquém, fato esse que apresenta importância ecológica. A química das águas dos ribeirões estudados é distinta, possivelmente, como resposta às características naturais das bacias. Nos dois trechos de estudo, as águas superficiais e subterrâneas apresentaram diferenças físicas e químicas, o que pode indicar que as trocas entre o canal do rio e suas adjacências são pequenas e/ou lentas. Com base nas observações desta pesquisa, recomenda-se que as características quantitativas e qualitativas, distintas, entre as águas dos ribeirões do Moquém e Água Clara devem ser avaliadas durante a tomada de decisões em processos de gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: ecótonos, interação, água superficial, água subterrânea, rios, química da água, bacia hidrográfica.

## ABSTRACT

Physical and chemical characteristics of the superficial and groundwaters (in the proximities of the channel), of the Moquém and Água Clara streams (Medium Superior Tietê - SP), in function of the hydrological variations. Ph. D Thesis, The School of Engineering São of Carlos, University of São Paulo.

The theories on the operation of the lotic systems developed over the recent years, the geological/geomorphological condicionantes as well as the transition areas have been receiving growing importance. The transition areas deserve prominence once the lotic systems establish flow interactions with the neighboring environment (atmospheric, terrestrial and undergrounds) and the exchange of materials established among those systems is important in order to define their characteristics. The watersheds of the Moquém and Água Clara streams, studied in the present work, present: geographical proximity besides morphologic and climatic similarities, however they differ as far the geological and geomorphological aspects are concerned. From those aspects, the present research investigated the seasonal fluctuations in physical, chemical and hydrological relationships among superficial and groundwaters (adjacencies of the channel), in the area of the low course of already mentioned the streams. It was chosen two reaches in each stream in order to accomplish: (1) monthly hydrological inventory, starting from measures of drainage speed, discharge and water level in wells installed in floodplain of the streams in the studied reaches; (2) physical and chemical characterization of testimonies in floodplain of the rivers, where samples were used obtained during the perforation of the wells; (3) samplings of the superficial and groundwaters in the same period of the inventory in order to determinate the physical and chemical characteristics of same them. The results notice the following items. The base flow guaranteed regular and high discharges in the Água Clara stream, at the same time that the discharges were almost insignificant in the ribeirão of Moquém, a fact that presents ecological importance. The chemistry of the waters of the studied streams is different, possibly, as na answer to the natural characteristics of the watersheds. In the two studied reaches, the superficial and groundwaters presented physical and chemical differences, what can indicate that the changes between the channel of the river and it adjacencies are small and/or slow. Based on this research observations, it is recommended that the quantitative and qualitative, characteristics, between the waters of the Moquém and Água Clara streams should be appraised during the moment the decisions are made on management processes of hidryc resources.

Key-words: ecotones, interaction, superficial water, groundwater, rivers, chemistry of the water, watershed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Secção transversal de um rio, mostrando a relação entre as feições físicas e os períodos de águas altas e baixas. Adaptado de MEYBECK et al. (1996).....	08
Figura 1.2 – Modelos de seções transversais de rios, ilustrando as relações entre o rio, a <i>hyporheic zone</i> , o aquífero, a região não saturada e o substrato impermeável. (Adaptado de Malard et al., 2000).....	09
Figura 1.3 – Influência da presença de LWD – <i>Large Wood Debris</i> nos sistemas lóticos. Adaptado de Piégay e Gurnell (1997).....	12
Figura 2.1 – Bacia hidrográfica do rio do Peixe, e a sua localização no Estado de São Paulo.....	24
Figura 2.2 – Esboço esquemático da localização dos municípios de Anhembi e Porangaba no Estado de São Paulo (sem escala) [MS – Mato Grosso do Sul, PR – Paraná; RJ – Rio de Janeiro, MG – Minas Gerais].....	25
Figura 2.3 – Mapa planialtimétrico da bacia hidrográfica ribeirão Água Clara.....	28
Figura 2.4 – Mapa planialtimétrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Moquém.....	29
Figura 2.5 – Mapa de declividades do ribeirão Água Clara .....	33
Figura 2.6 – Mapa de declividades do ribeirão do Moquém .....	34
Figura 3.1 – Representação dos trechos de estudo e posição dos poços, as distâncias (metros) e alturas (metros) em relação ao poço1. Os valores em preto correspondem aos poços do ribeirão Água Clara enquanto os em verde aos do ribeirão do Moquém.....	42
Figura 3.2 –Vista geral do trecho de estudo do ribeirão do Moquém.....	47
Figura 3.3 – Vista geral do trecho de estudo do ribeirão Água Clara.....	47
Figura 3.4 – Nível de água nos poços do ribeirão Água Clara, de março/00 a junho/01.....	53
Figura 3.5– Nível de água nos poços do ribeirão do Moquém, de março/00 a junho/01.....	54
Figura 3.6 – Seções transversais dos ribeirões Água Clara e do Moquém entre março/00 e junho/01 .....	56

Figura 3.7 – Velocidades de escoamento nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão Água Clara, de março/00 a junho/01.....	57
Figura 3.8- Velocidades de escoamento nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão do Moquém, de março/00 a junho/01.....	58
Figura 3.9 – Vazões nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão Água Clara, de maio/00 a junho/01.....	59
Figura 3.10 – Vazões nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão do Moquém, de maio/00 a junho/01.....	60
Figura 3.11 – Concentrações de sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas seções transversais de entrada e saída, do ribeirão Água Clara, de março/00 a junho/01.....	61
Figura 3.12 – Concentrações de sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nas seções transversais de entrada e saída, nos ribeirões Água Clara e Moquém, de março/00 a junho/01.....	62
Figura 4.1- Concentrações de nitrogênio orgânico ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	72
Figura 4.2 – Concentrações de nitrogênio orgânico ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	72
Figura 4.3- Concentrações de fósforo ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	73
Figura 4.4 – Concentrações de fósforo ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	74
Figura 4.5 – Concentrações de Ferro ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	75
Figura 4.6 – Concentrações de Ferro ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	75
Figura 4.7 – Concentrações de Magnésio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	76
Figura 4.8 – Concentrações de Magnésio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	76

Figura 4.9 – Concentrações de Sódio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	77
Figura 4.10 – Concentrações de sódio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	77
Figura 4.11 – Concentrações de Potássio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	78
Figura 4.12 – Concentrações de Potássio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	78
Figura 4.13 – Concentrações de Cálcio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	79
Figura 4.14 – Concentrações de cálcio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	79
Figura 4.15 – Composição granulométrica dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.....	82
Figura 4.16 – Composição granulométrica dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.....	83
Figura 5.1 – Valores de pH das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	91
Figura 5.2 – Valores de pH das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.....	92
Figura 5.3. – Valores de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.	94
Figura 5.4. – Valores de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 e julho/01.....	94
Figura 5.5 – Valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	96
Figura 5.6 – Valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.....	97
Figura 5.7. – Concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	98

Figura 5.8 – Concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	99
Figura 5.9. – Saturação de oxigênio (%) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	100
Figura 5.10 – Saturação de oxigênio (%) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	100
Figura 5.11 – Alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	103
Figura 5.12 – Alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	103
Figura 5.13 – $\text{CO}_2$ total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	104
Figura 5.14 – $\text{CO}_2$ total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	105
Figura 5.15 – $\text{CO}_2$ livre ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	105
Figura 5.16 – $\text{CO}_2$ livre ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	106
Figura 5.17 – $\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	106
Figura 5.18 – $\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a junho/01.....	107
Figura 5.19 – Concentrações de nitrito ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	108
Figura 5.20 – Concentrações de nitrito ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	108
Figura 5.21 – Concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	110
Figura 5.22 – Concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	110

Figura 5.23 – Concentrações de nitrato ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	112
Figura 5.24 – Concentrações de nitrato ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	112
Figura 5.25 – Concentrações de nitrogênio orgânico total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	114
Figura 5.26 – Concentrações de nitrogênio orgânico total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	115
Figura 5.27 – Concentrações de fosfato inorgânico ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	117
Figura 5.28– Concentrações de fosfato inorgânico ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	117
Figura 5.29 – Concentrações de fosfato total dissolvido ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	119
Figura 5.30– Concentrações de fosfato total dissolvido ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	119
Figura 5.31– Concentrações de fósforo total ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	120
Figura 5.32– Concentrações de fósforo total ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	121
Figura 5.33 –Concentrações de silicato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.....	122
Figura 5.34 – Concentrações de silicato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué, de maio/00 a julho/01.....	123
Figura 5.35 – Valores medianos, máximos e mínimos de pH dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	129
Figura 5.36 – Valores medianos, máximos e mínimos de pH dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	130
Figura 5.37 – Valores médios, máximos e mínimos de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	130

Figura 5.38 – Valores médios, máximos e mínimos de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	131
Figura 5.39 – Valores médios, máximos e mínimos de alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	131
Figura 5.40 – Valores médios, máximos e mínimos de alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	132
Figura 5.41 – Concentrações médias, máximas e mínimas de $\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	132
Figura 5.42 – Concentrações médias, máximas e mínimas de $\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	132
Figura 5.43 – Concentrações médias, máximas e mínimas de $\text{CO}_2$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) livre dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	133
Figura 5.44 – Concentrações médias, máximas e mínimas de $\text{CO}_2$ livre ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	133
Figura 5.45 – Valores médios, máximos e mínimos de salinidade (%) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	134
Figura 5.46 – Valores médios, máximos e mínimos de salinidade (%) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001...	134
Figura 5.47 – Valores médios, máximos e mínimos de temperatura $^{\circ}\text{C}$ dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	135

Figura 5.48 – Valores médios, máximos e mínimos de temperatura °C dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.....	135
Figura 5.49 – Concentrações médias, máximas e mínimas de oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	135
Figura 5.50 – Concentrações médias, máximas e mínimas de oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.....	136
Figura 5.51 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrogênio amoniacal (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	136
Figura 5.52 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrogênio amoniacal (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.....	137
Figura 5.53 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrito (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	137
Figura 5.54– Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrito (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.....	137
Figura 5.55 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrato (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	138
Figura 5.56 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrato (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.....	138
Figura 5.57 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato inorgânico (µg.L <sup>-1</sup> ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	138

Figura 5.58 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	139
Figura 5.59 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	139
Figura 5.60 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	139
Figura 5.61 – Concentrações médias, máximas e mínimas de silicato reativo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de janeiro de 2001.....	140
Figura 5.62 – Concentrações médias, máximas e mínimas de silicato reativo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moqué e Água Clara no mês de julho de 2001.....	140
Figura 5.63 – Dendograma da análise de agrupamento das médias das variáveis físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e do Moqué, durante a amostragem concentrada de janeiro/01. (1 – Seção transversal de entrada do ribeirão Água Clara; 2 – Seção transversal de saída; 3 – Poço 1; 4 – Poço 2; 5 – Poço3; 6 – Poço 4; 7 – Poço 5; 8 - Seção transversal de entrada do ribeirão do Moqué; 9 – Seção transversal de saída; 10 – Poço 1; 11 – Poço 2; 12 – Poço 3; 13 – Poço 4; 14 – Poço 5.).....	142
Figura 5.64 – Dendograma da análise de agrupamento das médias das variáveis físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e do Moqué, durante a amostragem concentrada de julho/01. (1 – Seção transversal de entrada do ribeirão Água Clara; 2 – Seção transversal de saída; 3 – Poço 1; 4 – Poço 2; 5 – Poço3; 6 – Poço 4; 7 – Poço 5; 8 - Seção transversal de entrada do ribeirão do Moqué; 9 – Seção transversal de saída; 10 – Poço 1; 11 – Poço 2; 12 – Poço 3; 13 – Poço 4; 14 – Poço 5.).....	143

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Características dos habitats e principais processos de perturbação nas diferentes regiões de um sistema lótico. Adaptado de Montgomery (1999).	14
Tabela 2.1 – Cartas Planialtimétricas das bacias hidrográficas dos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	26
Tabela 2.2 – Áreas (km <sup>2</sup> ) das classes de declividade dos ribeirões Água Clara e do Moquéim.....	32
Tabela 3.1 – Profundidade dos poços de amostragem de águas subterrâneas.....	43
Tabela 3.2 – Postos pluviométricos da Rede Básica do Estado de São Paulo.....	46
Tabela 3.3 – Características dos trechos de estudo dos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	48
Tabela 3.4a – Alturas de chuvas registradas nos anos de 2000 no Posto Pluviométrico E5-016 Bofete. As datas grifadas representam os dias de amostragem.....	50
Tabela 3.4b – Alturas de chuvas registradas nos anos de 2001 no Posto Pluviométrico E5-016 Bofete. As datas grifadas representam os dias de amostragem.....	51
Tabela 3.5 – Alturas de chuvas registradas no ano de 2000 no Posto Pluviométrico D5-009A. As datas grifadas representam os dias de amostragem.....	52
Tabela 3.6 – Coeficiente de correlação $r$ de Pearson entre o nível de água nos poços os totais mensais de chuvas e o máximo mensal.....	55
Tabela 3.7 – Vazões de restabelecimento dos níveis dos poços nos ribeirões Água Clara e do Moquéim.....	56
Tabela 3.8 – Estatística descritiva das concentrações de sólidos suspensos (mg.L <sup>-1</sup> ) nos ribeirões do Moquéim e Água Clara, de março/00 a junho/01.....	62
Tabela 3.9 – Coeficiente de correlação $r$ de Pearson entre os sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos, os totais de chuva, os máximos mensais e as vazões...	63

Tabela 4.1 - Variáveis físicas e químicas determinadas nos testemunhos dos perfis de sondagem na planície de inundação dos ribeirões Água Clara e do Moqué	70
Tabela 4.2 Teores médios, coeficiente de variação (em itálico) de fósforo nitrogênio, ferro, magnésio, sódio, potássio e cálcio nos testemunhos do ribeirão Água Clara.....	80
Tabela 4.3 Teores médios, coeficiente de variação (em itálico) de fósforo nitrogênio, ferro, magnésio, sódio, potássio e cálcio nos testemunhos do ribeirão do Moqué	81
Tabela 5.1 - Variáveis físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas e técnicas de determinação .....	90
Tabela 5.2 – Mediana, amplitude, máximo e mínimo dos valores de pH, nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	92
Tabela 5.3 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	95
Tabela 5.4 – Média, amplitude, máximo, mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão dos valores de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	97
Tabela 5.5 – Média, amplitude, máximo, mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão das concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	99
Tabela 5.6 – Média, amplitude, máximo, mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão da saturação de oxigênio (%) nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	101
Tabela 5.7 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores de alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	104
Tabela 5.8 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrito ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moqué.....	109

Tabela 5.9 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	111
Tabela 5.10 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrato ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	113
Tabela 5.11 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrogênio orgânico total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	115
Tabela 5.12 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de fosfato inorgânico ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	118
Tabela 5.13 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de fosfato total dissolvido ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	120
Tabela 5.14 – Média, amplitude, máximo, mínimo e desvio padrão das concentrações de fósforo total ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	121
Tabela 5.15 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de silicato reativo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.....	123
Tabela 5.16 – Concentrações de potássio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquéim, no período de maio/00 a julho/01.....	126
Tabela 5.17 – Concentrações de sódio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquéim, no período de maio/00 a julho/01.....	126
Tabela 5.18 – Concentrações de magnésio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquéim, no período de maio/00 a julho/01.....	127

Tabela 5.19 – Concentrações de cálcio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquém, no período de maio/00 a julho/01.....	127
Tabela 5.20 – Concentrações de ferro ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquém, no período de maio/00 a julho/01.....	128

## INTRODUÇÃO

Uma bacia fluvial é constituída pelo conjunto de terrenos drenados por um curso de água principal e seus tributários, no qual toda a água que atinge a área, na forma de precipitação, encontra diversos caminhos. Essa água pode ser devolvida à atmosfera pela evaporação e pela evapotranspiração, pode fluir subterraneamente às bacias vizinhas ou ao oceano, e finalmente escoar superficial e subsuperficialmente através da seção de desembocadura do curso de água principal da mesma.

Em função de apresentarem-se como sistemas de dinâmica diferenciada, os rios, as águas subterrâneas e os sistemas terrestres, na grande maioria dos estudos, são considerados entidades distintas. Mas os estudos isolados dos sistemas descartam fatores importantes, tais como: as interações e a dinâmica no tempo e no espaço. Pode-se destacar ainda, a ocorrência de trocas de água significantes entre os sedimentos saturados ao redor e abaixo do canal (zona hiporrêica) e as águas superficiais. Em função dos diferentes processos bioquímicos que ocorrem nessa região e no canal ativo dos rios, essas trocas representam um potencial de mudança nas características químicas e físicas da água. Além disso, a contribuição do metabolismo dessa região é diversa de rio para rio.

É possível definir essas áreas como ecótonos que constituem regiões onde os processos ecológicos são mais intensos e os recursos mais diversificados. São também, regiões que reagem rapidamente a influências humanas e mudanças em variáveis ambientais. As interfaces, ou ecótonos, entre os sistemas aquáticos e terrestres e/ou entre as águas superficiais e subterrâneas, tem um papel essencial no movimento da água e dos materiais através da paisagem.

Deste modo, o presente trabalho propõe como principal objetivo, investigar as relações físicas, químicas e hidráulicas entre as águas superficiais e subterrâneas (nas adjacências do canal), em um trecho de dois diferentes ribeirões: do Moquém e Água Clara (afluentes do rio do Peixe na região do Médio Tietê Superior - SP), em função do regime hidrológico. Como hipótese inicial do trabalho é considerada a semelhança de características dos sistemas nas duas bacias hidrográficas.

O desenvolvimento dos capítulos divide-se nas etapas que constituem a pesquisa. O primeiro capítulo reúne informações sobre o estado da arte do funcionamento dos sistemas lóticos. O segundo descreve as características das bacias hidrográficas estudadas. O terceiro apresenta os resultados do inventário hidrológico superficial e subterrâneo realizado entre março de 2000 e junho de 2001. No quarto capítulo, temos a caracterização física e química dos testemunhos dos perfis dos poços de amostragem da água subterrânea nos trechos de estudo. No quinto, as características físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas no período de maio de 2000 a julho de 2001. O sexto capítulo sintetiza as considerações do trabalho e alia os resultados do terceiro e quinto capítulos, visando avaliar especificamente as flutuações hidrológicas associada às características das águas superficiais e subterrâneas.

## CAPÍTULO 1 – UMA ABORDAGEM SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS LÓTICOS.

Para a geomorfologia, o termo "rio" é aplicado para definir "corrente canalizada, confinada", e para a geologia "o tronco principal de um sistema de drenagem" (SUGUIO e BIGARELLA, 1979, p.3). Assim, a partir da dinâmica de canalização da água, que escoar em uma área determinada, tem-se a formação da rede de drenagem como a evolução de um processo erosivo, que impõe caminhos para o transporte de materiais dos continentes para os lagos, rios e estuários adicionando, gradualmente, uma dinâmica própria à paisagem.

A principal característica dos ecossistemas lóticos é o fluxo, cujo resultado se constitui no fator mais importante de um ecossistema de águas correntes: o transporte horizontal. Os rios são ecossistemas abertos (HYNES, 1970), em constante interação com o sistema terrestre e a atmosfera circundante. Para Margalef (1991), os rios são sistemas de transporte e o estudo das características físicas, químicas e biológicas de seus canais tem também a finalidade de chamar a atenção para as características do ecossistema terrestre e das águas subterrâneas.

O canal principal de um rio recebe o fluxo dos tributários com diferenças químicas, físicas e biológicas. Esses tributários são redes que, juntas, expressam a totalidade dos compartimentos que drenam. Portanto, um rio deve ser visto como parte de uma rede de drenagem, além de um elo para o entendimento do comportamento de outros elementos do sistema, como a geologia, geomorfologia, hidrologia, clima e vegetação (DAVIES e WALKER, 1986).

Dessas considerações surge o conceito de bacia hidrográfica, como: a área total drenada por um rio e seus tributários (MAGLIOCCA, 1987). Para Chorley<sup>1</sup> apud Lima (1998), a bacia de drenagem é a unidade geomórfica fundamental, expressando os processos que operam no ambiente através de suas formas.

---

<sup>1</sup>CHORLEY, R.J.(1969). The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In: CHORLEY, R.J. (Org.) Water, Earth and Man. Londres, Methuen. Apud LIMA, A.G. (1998). Avaliação do controle geológico estrutural no comportamento da rede de drenagem do rio das Pedras, Guarapuava - PR.143p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, UNESP.

A dissolução das rochas é, em geral, a maior determinante local da química da água de um rio, onde fatores como geologia, declividade, profundidade e permeabilidade dos solos são decisivos (HYNES, 1975 e ALLAN, 1995). Existem ainda outros tipos de entradas como as águas de chuva (importantes em regiões de rochas pouco solúveis), a atividade vulcânica e materiais provenientes de atividades antrópicas (ALLAN, op. cit.). Segundo Meybeck et al. (1996), o clima, geomorfologia e a geoquímica, não só da bacia hidrográfica, mas também do aquífero subterrâneo, determinam as características físicas e químicas dos corpos de água. Esse mesmo autor afirma que a origem dos elementos carreados pelos rios é bastante diversa de um local para outro. As principais fontes de elementos para os rios são: a interação química das águas com as rochas, as entradas atmosféricas, a lixiviação de solos orgânicos e as atividades antropogênicas. A interação química das águas com as rochas resulta do ataque dos minerais formando os principais cátions (cálcio, magnésio, sódio e potássio), a sílica dissolvida e os bicarbonatos, além de outros que variam com as características dos minerais da rocha. As entradas atmosféricas em regiões continentais são dominadas por produtos da erosão eólica continental (cálcio, bicarbonatos e sulfatos) e da deterioração ou decomposição da vegetação (compostos de nitrogênio). A lixiviação de compostos orgânicos acrescentam as águas compostos nitrogenados e matéria orgânica dissolvida. Complementarmente, para Leinz e Amaral (1969), as distintas formações geológicas possuem capacidade variável de armazenamento e condução da água em função da diferença de porosidade e permeabilidade de suas rochas. Assim, como em resposta a natureza petrográfica e ao grau de alteração intempérica de suas rochas, a composição química dos solutos presentes na água será diferenciada. Danelon e Moreira-Nordermann (1991), observaram que a entrada de materiais através das chuvas é importante em áreas próximas ao litoral e também em áreas industrializadas. Moreira-Norderman (1981) avaliou as concentrações de sais dissolvidos e os principais cátions (sódio, cálcio, potássio e magnésio) em rios no estado da Bahia que apresentavam diferentes características climáticas ou geológicas, e observou que as concentrações de sais dissolvidos foram conseqüências diretas do clima semi-árido. Quanto aos cátions, o sódio foi o

que apresentou concentrações mais elevadas (com exceção as áreas calcárias) e o potássio foi encontrado em menores concentrações.

A composição química das águas dos rios oscila sazonalmente, para Leinz e Amaral (1969), no período de chuvas há a predominância de águas superficiais e precipitadas e, no de seca ocorre a predominância de águas subterrâneas ou de águas de alimentação que tiveram maior tempo de contato com a litologia. Para Keller et al. (1990), as ligações entre os rios e o sistema de águas subterrâneas são determinantes dos regimes dos rios (rios perenes ou intermitentes) e exercem controle nos picos de cheia e vazante. A contribuição das águas subterrâneas nos rios pode ser avaliada através do hidrograma, que relaciona a descarga em função do tempo (MANOEL FILHO, 1997). A relação das vazões em função do tempo (hidrograma) é uma resposta da bacia hidrográfica às chuvas que caem sobre ela (RIGHETTO, 1998).

Segundo Manoel Filho (1997), em muitas situações as águas de superfície e subterrâneas não são recursos independentes; em muitos casos existem ligações entre corpos de água superficiais e aquíferos. Como exemplo, pode-se considerar os aquíferos aluviais e as áreas de descarga de água de fontes em regiões de encosta. As águas superficiais e subterrâneas estão ligadas não somente em termos de quantidades como também em termos de qualidade. Assim, existe a necessidade de inclusão dos dois recursos em estudos e, também, no planejamento da gestão dos recursos hídricos.

A geomorfologia controla o comportamento da água subterrânea; ao mesmo tempo, a água subterrânea é um componente do desenho da superfície terrestre (COATES, 1990). A água subterrânea exerce influência na forma e nos processos do canal fluvial relacionando-se, especialmente, com a zona ripária e com a biota aquática (KELLER et al., 1990 e TABACCHI et al., 1998).

### 1.1 Transição entre os sistemas aquáticos superficiais e subterrâneos.

Hynes (1983), enfatizou a importância da contribuição de águas subterrâneas na composição das águas superficiais: primeiro, porque em muitos rios, na época das águas baixas, o fluxo de base constitui a maior parte da água que flui no canal; e segundo, porque a água que percola através da zona não saturada irá, com o tempo, ser incorporada ao sistema superficial. Assim, o tempo de residência influi nas características dessa água. Hynes (op. cit.) estabeleceu a ligação entre a água subterrânea e o canal do rio, na denominada zona hiporrêica (do grego: *rheo* –fluxo e *hypo* – abaixo). A primeira menção a zona hiporrêica foi feita por Orghidan\* apud Nomazzi et al. (1999), como uma zona distinta de transição entre as águas dos rios e a água subterrânea. Dahm e Valett (1996) definiram a zona hiporrêica como um ecótono natural entre a água de superfície e a água subterrânea: são as águas encontradas abaixo do canal ativo e da superfície na zona ripária da maior parte dos canais, com fronteiras temporais e espaciais dinâmicas (Figura 1.1). A interface entre a água superficial e subterrânea exerce influência na dinâmica do fluxo de nutrientes e materiais, no sentido lateral (entre o rio, a planície de inundação e as terras altas) e no longitudinal (montante e jusante) (DAHM et al., 1998). Para Brunke e Gonser (1997), o conceito do corredor hiporrêico, complementa os conceitos que para explicar o funcionamento dos rios centram-se nos processos superficiais (laterais e longitudinais). Os mesmos autores ainda colocam que é difícil delimitar a zona hiporrêica e que suas características físicas e químicas são resultados de diversos processos: diferenças entre as águas superficiais e subterrâneas, tempo de retenção (função das características dos sedimentos) e das transformações bioquímicas.

Gibert (1991), entende que a zona hiporrêica é uma das interfaces entre as águas superficiais e subterrâneas, assim como: fontes em aquíferos porosos ou cársticos e interfaces entre os solos e os aquíferos cársticos. Do ponto de vista ecológico, as águas subterrâneas que estabelecem ligações com as superficiais são as mais importantes.

\* ORGHIDAN, T. (1959). Ein neuer lebensraum des unterirdischen wassers: der hyporheische biotop. *Hydrobiologia*, v.55, p. 392-414 apud NOMAZZI, M.; FRANCISCO, G.F.; WECHUAN, Q. (1999). Physical and chemical characteristics (hydraulic head, interstitial flow, temperatures, oxygen saturation, conductivity, nutrients) as forming factors of the hyporheic habitat. <http://www.bsl.oew.ac.at/station/unesco/98u10.html> (10, Maio)

Jones e Holmes (1996) consideram que a estrutura física dos sistemas superficiais e subterrâneos é a maior responsável pela diferenciação dos metabolismos dos mesmos. Os sistemas superficiais são caracterizados por: (1) interação com os sistemas terrestres e com a atmosfera, assim a troca de oxigênio é constante e o metabolismo predominantemente aeróbio; (2) a produção primária pode ser elevada quando a luz alcança a lâmina de água; (3) os materiais alóctones (provenientes da vegetação) podem ser importantes fontes de matéria e energia; e (4) o fluxo permite (sem impedimentos) o transporte dos materiais. Ao mesmo tempo os sistemas subterrâneos (incluindo a *hyporreic zone*) apresentam: (1) ausência de luz e, conseqüentemente, de produção primária; (2) as concentrações de oxigênio são um resultado da interação entre o consumo de oxigênio para a decomposição de detritos e o abastecimento externo; o ambiente pode tornar-se anóxico, o que redireciona os principais processos bioquímicos; (3) o fluxo é limitado, e (4) forte dependência de matéria orgânica alóctone.

Amoros et al. (1996), afirmaram que dois conceitos podem ser utilizados quando ocorre uma área de fronteiras: o **ecótone** e a **conectividade**. Para os autores, o **ecótone** é definido como uma base de diversas feições que são unicamente definidas pelas escalas espaciais e temporais como também pela relação com os sistemas ecológicos adjacentes; eles funcionam como membranas entre os sistemas ecológicos que determinam a magnitude de suas trocas. A **conectividade** está relacionada a ligação entre as subpopulações, e não se constitui de uma ligação simplesmente estrutural (que envolve conexões físicas entre as unidades), existindo componentes da paisagem que não são adjacentes e podem apresentar alta conectividade.

Meybeck et al. (1996), esquematizou a dinâmica do fluxo de drenagem da água em uma seção transversal de um rio. Assim, este fluxo seria o produto do escoamento superficial e as relações com a água subterrânea (Figura 1.1).

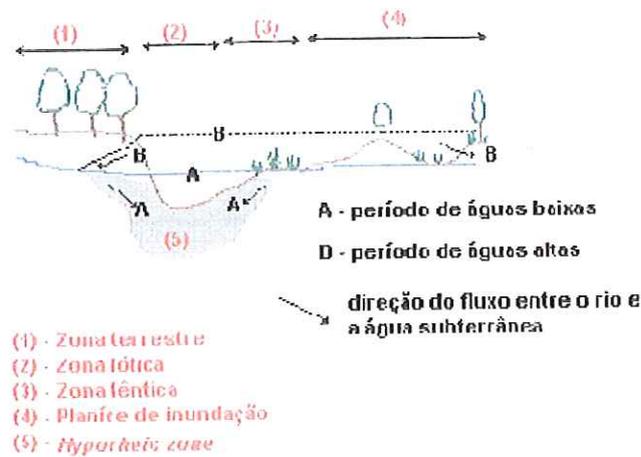


Figura 1.1- Seção transversal de um rio, mostrando a relação entre as feições físicas e os períodos de águas altas e baixas. Adaptado de Meybeck et al. (1996)

Para Malard et al. (2000), a relação de um rio com a zona hiporrêica pode ocorrer de cinco maneiras, como descrito abaixo e apresentado na figura 1.2:

- A) a ausência da zona hiporrêica em rios com substratos impermeáveis;
- B) a zona hiporrêica contendo somente água infiltrada do canal acima de um substrato impermeável;
- C) a zona hiporrêica desenvolvendo-se abaixo do leito não existindo a zona parafluvial, pois a infiltração do canal é suficiente para criar um nível saturado entre o leito do rio e a água subterrânea;
- D) a zona hiporrêica desenvolvendo-se nas camadas superiores e apresentando somente água proveniente do canal;
- E) a zona hiporrêica contendo uma mistura de água do canal e água subterrânea

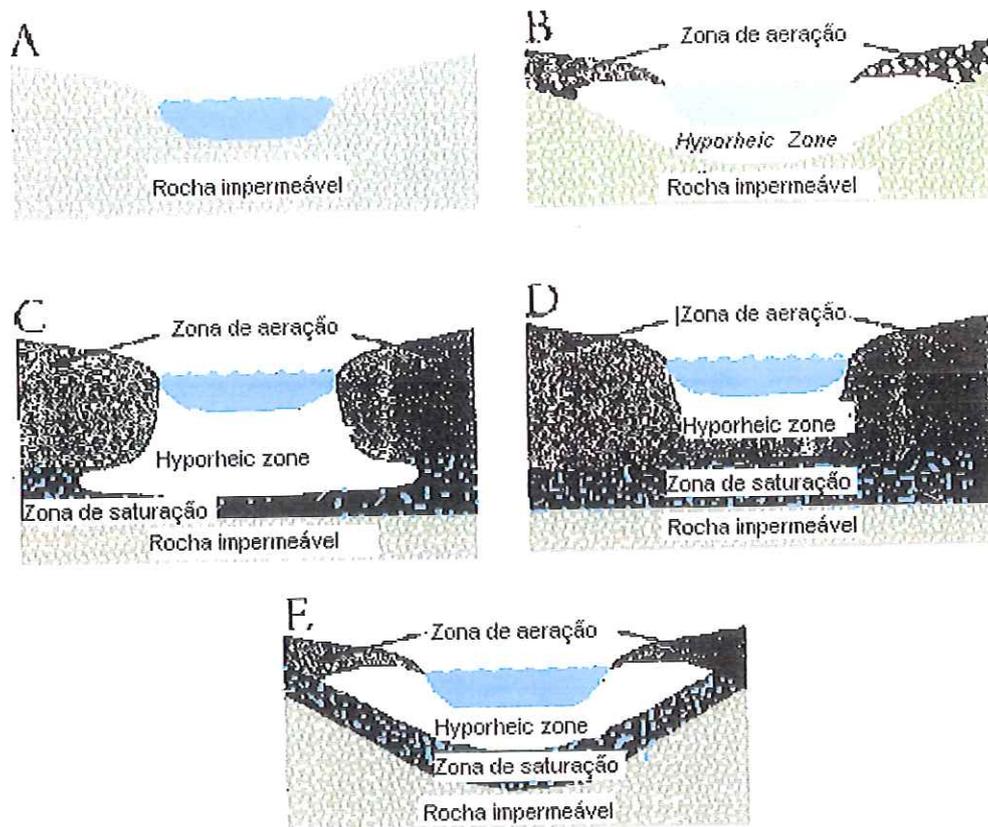


Figura 1.2 – Modelos de seções transversais de rios, ilustrando as relações entre o rio, a zona hiporrêica, o aquífero, a região não saturada e o substrato impermeável. (Adaptado de MALARD et al., 2000).

Para Leite et al. (1999) as interações bioquímicas ocorrem onde a água fica armazenada (maior tempo de residência), sendo estas essencialmente condicionadas pelo fluxo. Como o fluxo superficial é mais rápido do que os subterrâneos é nestes últimos que a água realiza a maior parte das trocas químicas que irão determinar suas características.

Segundo Boulton et al. (1998) e Boulton (2000), as trocas de águas entre a zona hiporrêica ocorrem em regiões de recarga e descarga que se alternam no canal do rio como uma reposta a diferentes feições que alteram o fluxo de água, como: a permeabilidade e a rugosidade dos sedimentos do leito, a declividade, a profundidade, a forma e a largura do canal e obstáculos (como a presença de vegetação ou macrófitas aquáticas no canal). As interações e a grandeza das trocas, hidrológicas e biogeoquímicas, entre a água superficial e a subterrânea são controladas, especialmente, pela morfologia do canal e confinamento topográfico, pela condutividade hidráulica dos sedimentos do

leito e da zona ripária (composição litológica), e por variações na taxa de recarga (DAHM et al., 1998; WROBLICKY et al., 1998).

O conhecimento das trocas entre as águas dos rios e as da zona hiporrêica são importantes porque os processos biológicos e químicos são diferentes nos dois sistemas, influenciando, diretamente, na química das águas superficiais. A quantidade de oxigênio e as diversas transformações bioquímicas influenciam no balanço de nutrientes dos rios (FINDLAY, 1995; NOMAZZI, et al.1999).

Leite et al. (1999) caracterizaram, através da determinação das concentrações dos principais cátions e silicato, as águas da região de topo do solo em diferentes posições de um vale e observaram que ocorria um enriquecimento das águas no sentido do divisor para o fundo do vale. Os autores atribuíram o fato ao fundo de vale receber as contribuições de toda a encosta e permitir um maior tempo de residência da água.

Krebs et al. (1999), determinaram as concentrações de nutrientes (N, P, K) nas águas subterrâneas em prados do rio Meuse (França). Utilizando-se da água obtida através de uma rede de 20 piezômetros instalados em locais que se diferenciavam pelo tipo de vegetação e o nível de água, avaliaram a influência dessas variáveis nas concentrações de nutrientes biodisponíveis na água. Os autores concluíram que baixas concentrações de nutrientes foram resultado do alto nível de água e não função do tipo de vegetação superficial.

Stanley e Boulton (1995), estudando os processos hiporreicos no Deserto do Sonoran, observaram que os baixos fluxos e a seca influenciaram as características químicas da água, pois a perda de água aumentou a nitrificação. Além disso, as condições anóxicas predominaram na *zona hiporrêica* quando o volume de água no rio foi menor, como uma resposta direta a precipitação e ao escoamento superficial. Falter e Sansone (2000), sugeriram que as concentrações de oxigênio dissolvido em uma coluna de 70 cm nas águas intersticiais de sedimentos permeáveis são um bom indicador do metabolismo e da natureza física do sedimento. Estes autores também observaram que a composição química dessas águas foi perturbada imediatamente, em função do aumento dos fluxos.

## 1.2 - Teorias ecológicas dos sistemas lóticos

Com a proposição do “Contínuo Fluvial” (*River Continuum Concept* - RCC) Vannote et al. (1980), iniciou-se uma nova etapa nos estudos dos ecossistemas lóticos, que objetivava principalmente obter trabalhos de caráter predictivos em substituição aos descritivos. Para esse conceito, os rios são sistemas que apresentam uma série de gradientes físicos formando um contínuo, ao longo de seus cursos, aos quais a comunidade biológica estaria associada. Dessa maneira, existiria uma forte dependência pelos processos “rio abaixo” dos processos ocorridos “rio acima”. Ao longo do curso do rio haveria a passagem de um sistema predominantemente heterotrófico para um sistema autotrófico. Esse contínuo seria proveniente de processos geomorfológicos, da gênese do curso de água, que trabalham em escala geológica, e visam o aproveitamento total e uniforme da energia da corrente.

Das discussões sobre o conceito do contínuo fluvial (VANOTTE et al., 1980), surgiram diversos estudos sobre o funcionamento dos ecossistemas lóticos. Para Newbold (1996) – *Nutrient spiralling* - os organismos e as transformações bioquímicas são os responsáveis pelo processamento de nutrientes nos sistemas lóticos, assim como nos demais sistemas aquáticos e terrestres; porém, nestes ambientes em particular, o fluxo desempenha um papel relevante adicionando um vetor longitudinal a ciclagem de nutrientes, dessa maneira esta última adquire um formato espiral. De acordo com Ward e Stanford (1983; 1995) – *The serial discontinuity concept* - rios sujeitos a represamentos apresentam seu contínuo longitudinal rompido, o que resulta em alterações nos processos bióticos e abióticos rio abaixo, estas alterações podem ser avaliadas através da “distância da descontinuidade”. Segundo Junk et al. (1989) – *The Flood Pulse Concept* - nas regiões do baixo curso de grandes rios as interações laterais (entre o canal e as planícies de inundação) devem ser destacadas, os autores sugerem que em sistemas com essas características o funcionamento é determinado, principalmente, por pulsos de inundação (batelada) e não por processos contínuos longitudinais como sugerido pelo RCC.

O processamento do material orgânico é um dos pontos centrais da teoria do RCC. Nessa linha de pensamento surgiram trabalhos que tratam das características físicas, da acumulação e das alterações morfológicas

provocadas pela introdução nos ambiente lóticos de árvores mortas e demais detritos de grande porte, denominados de LWD -*Large Wood Debris*. Conforme esquematizado na figura 1.3, a presença de detritos no canal do rio é dependente de fatores externos como a presença de vegetação ciliar e possibilidade de fornecimento de material pela mesma. A associação da capacidade de carga do rio, das características do leito das margens e das regiões de transição estabelece a distribuição longitudinal do material provenientes das fontes e, conseqüentemente a estruturação dos habits.

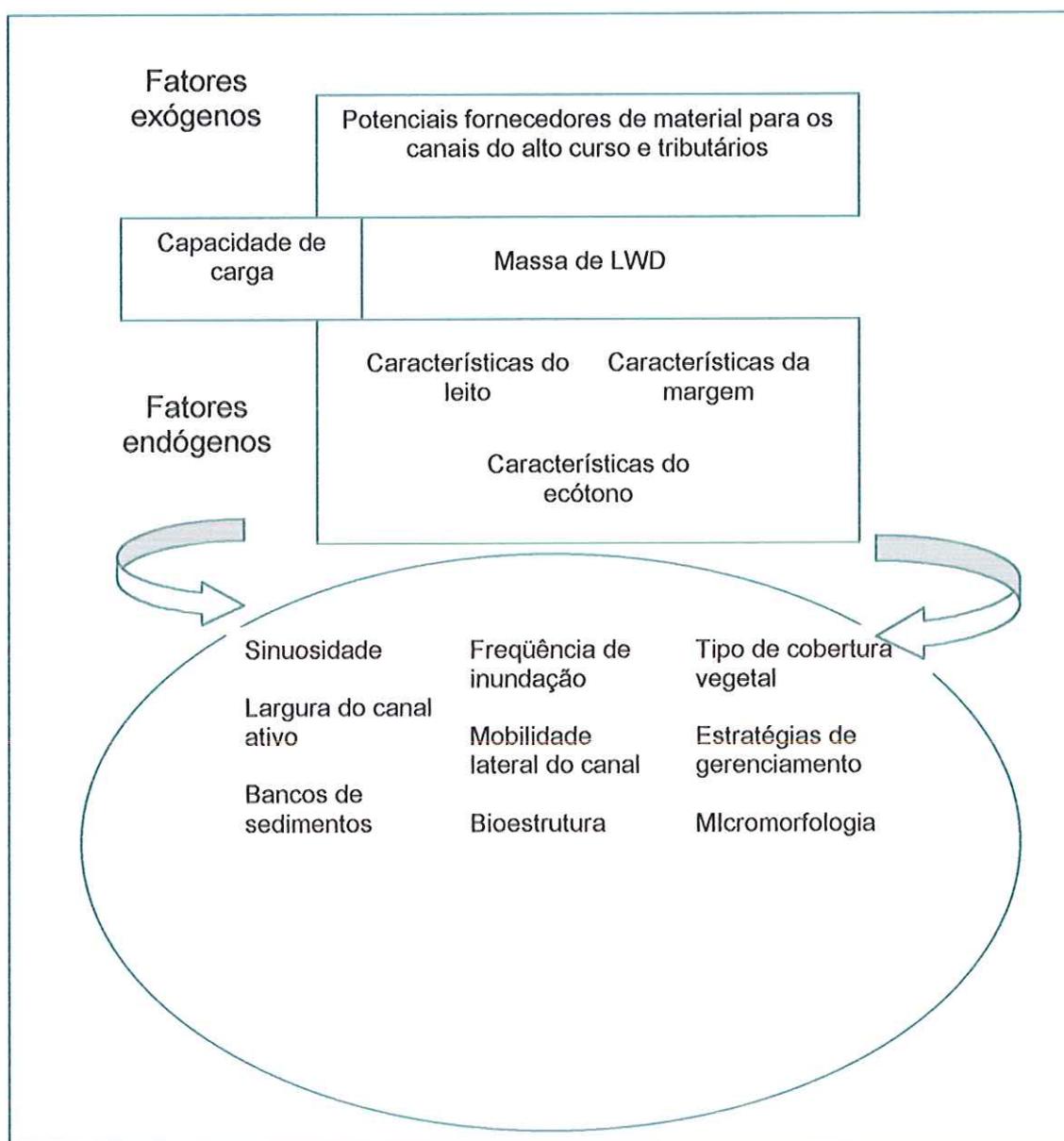


Figura 1.3 – Influência da presença de LWD- *Large Wood Debris* nos sistemas lóticos. Adaptado de Piégay e Gurnell (1997).

De acordo com Piégay e Gurnell (1997), os trabalhos que tratam desse tema dividem-se em três principais assuntos: (1) a influência dos LWD na capacidade de carga dos rios (transporte e deposição de materiais), (2) a mudança das características do canal (largura/ profundidade), e (3) formação de habitats e biodiversidade.

O conceito proposto por Vanotte et al. (1980), não considera as interações entre as águas superficiais e subterrâneas, mas as discussões que surgiram após a proposição deste conceito enfatizam as trocas laterais (entre o ecossistema aquático e o terrestre) e o papel da zona ripária. Mais recentemente, os trabalhos sobre rios também estão incorporando as trocas verticais (entre as águas superficiais e as localizadas abaixo do canal e da zona ripária). As trocas na região hiporrêica surgiram da observação de Hynes (1983), que salientou a necessidade de inclusão do papel das águas subterrâneas na compreensão do funcionamento dos ecossistemas de águas correntes; essa posição é reforçada por Stanford e Ward (1988). Partindo dessas considerações Stanford (1998) considera que os rios devem ser vistos em três dimensões espaciais: lateral (entre o canal, as planícies e os terraços), vertical (entre o canal e a água abaixo dele) e longitudinal (entre jusante e montante). Além das escalas propostas pelo autor, a escala temporal é de fundamental importância para a compreensão dos processos e a interação do sistema aquático com o terrestre.

Châtelliers (1991), observou variações na contribuição das águas superficiais e subterrâneas para as camadas freáticas e vice-versa, ao longo do eixo longitudinal do Canal de Miribel (França). Na região de degradação do canal os processos de descarga do aquífero predominam, enquanto na região de deposição o canal funciona como uma área de infiltração. Em cada região os processos são favoráveis para o estabelecimento de diferentes comunidades.

A presença dos conceitos geomorfológicos foi enfatizada pelo conceito de Domínio de Processos (*Process Domains Concept* - PDC) proposto por Montgomery (1999). De acordo com esse autor o RCC seria complementado se considerasse a segmentação do canal do rio em três regiões: cabeceira, canal confinado e planície de inundação (Tabela 1.1). O PDC considera que a variabilidade espacial e temporal dos processos geomorfológicos governam: a

qualidade e a disponibilidade dos habitats, as perturbações e a recuperação dos sistemas lóticos e ripários.

Tabela 1.1 – Características dos habitats e principais processos de perturbação nas diferentes regiões de um sistema lótico

	<b>Características dos habitats</b>	<b>Processos de Perturbação</b>
<b>Cabeceira</b>	Baixa frequência Alta magnitude de perturbação Zona hiporrêica estável	Alta declividade Cavidades Vento e/ou fogo Desmoronamentos Início do fluxo de seixos
<b>Canal confinado</b>	Mobilidade do leito limitada Perturbações de grande magnitude pouco frequentes. Habitat hiporrêico limitado Simplicidade de habitats no canal	Inundação Fluxo de seixos e deposição
<b>Planície de inundação</b>	Baixa variação de descarga Alta mobilidade do leito Mudança da posição do canal Complexidade e abundância de habitats hiporrêicos Complexidade de habitats no canal	Inundação Migração do canal Aprofundamento do canal

Adaptado de Montgomery (1999).

Malard et al. (2000), propuseram um modelo para o comportamento da zona hiporrêica ao longo do contínuo fluvial, onde um rio hipotético é segmentado em três regiões: cabeceira, trecho estrangulado e planície de inundação, onde diferentes tipos de zona hiporrêica, ilustradas na figura 1.2, alternam-se no eixo longitudinal. A zona hiporrêica desenvolve-se ou não de maneira distinta ao longo do perfil longitudinal do rio. Na cabeceira não existem condições para a formação de regiões hiporrêicas, no trecho estrangulado o seu desenvolvimento ocorre abaixo do canal e estende-se por um pequeno trecho lateral da zona de saturação, na região do baixo curso a zona hiporrêica desenvolve-se abaixo e nas laterais do canal na região de aeração.

Os estudos em sistemas fluviais desenvolveram-se muito nos últimos anos, destacando a importância do "Contínuo Fluvial" Vannote et al. (1980). As discussões sugerem: (1) que o funcionamento dos rios em termos de processamento de materiais e organização das comunidades é um tema que necessita da compreensão de inúmeras ciências (Biologia, Química, Geologia, Geografia, Hidrologia) percorrendo suas diferentes áreas e, (2) esses ambientes devem ser observados simultaneamente em quatro dimensões (longitudinal, lateral, vertical e temporal). Partindo dessas considerações são necessários estudos tanto em ambientes preservados, como naqueles submetidos a influências antrópicas. Uma vez que os rios são os ambientes sujeitos a múltiplos usos e que disponibilizam e distribuem com maior acessibilidade a água - recurso essencial para a sobrevivência e desenvolvimento humano.

### 1.3 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAN, J.D. (1995). Stream Ecology - structure and function of running waters. London, Chapman & Hall.
- AMOROS, C.; GIBERT, J.; GREENWOOD, M.T. (1996) Interactions between units of the fluvial hydrosystem. In: PETTS, G.E.; AMOROS, C. Fluvial Hydrosystems. Chapman & Hall, London. Cap. 9.
- BOULTON, A J.; FINDLAY, S.; MARMONIER, P.; STANLEY, E.H.; VALEET, H.M.(1998). The functional significance of the hyporheic zone. Annual Review of Ecology and Systematics. V. 29, p. 59-81.
- BOULTON, A.J. (2000) The functional role of the hyporheos. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie. v. 27, p. 51-63.
- BRUNKE, M.; GONSER, T. (1997). The ecological significance of exchange processes between river and groundwater. Freshwater Biology, v. 37, p. 1-33.
- CHÂTELLIERS, M.D. des (1991) Geomorphological processes and discontinuities in the macrodistribution of the interstitial fauna. A working hypothesis. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie. v. 27 p. 1609-1612.
- COATES, D.R. (1990). Geomorphic controls of groundwater hydrology. In: HIGGINS, C.G.; COATES, D.R., ed. Groundwater geomorphology. The role of subsurface water in earth surface processes and landforms. Special papers 252. The geological Society of America. Cap. 16
- DAHM, C.N.; GRIMM, N.B.; MARMONIER, P.; VALETT, H.M.; VERVIER, P. (1998). Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwater. Freshwater Biology, v.40, p.427-451.
- DAHM, C.N.; VALLET, H.M. (1996) Hyporeic Zones. In: HAUER, F.R.; LAMBERT, G.A. Methods in Stream Ecology. Academic Press, London. Cap 6, p. 107-119
- DANELON, O M.; MOREIRA-NORDERMANN, L. (1991). Ocorrência natural e antropogênica de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na bacia do rio Quilombo (Cubatão-SP). Revista Brasileira de Geociências. v. 21, n.1, p. 96-101, março.

- DAVIES, B.R.; WALKER, K.F.. (1986). River Systems as ecological units. Na introduction to the ecology og river systems. In: DAVIES, B.R.; WALKER, K.F. ed. Ecology of the river systems. The Netherlands, Dr.W.Junk Publishers.
- FALTER, J.L.; SANSONE, F.J. (2000). Hydraulic control of pore water geochemistry within the oxic-suboxic zone of a permeable sediment. Limnology and Oceanography. V. 45, n. 3, p. 550-557.
- FINDLAY, S. (1995) Importance of surface-subsurface exhcnge in stream ecosystems: the hyporheic zone. Limnology and Oceanography., v.40, n.1, p.159-164.
- GIBERT, J. (1991) Groundwater systems their boundaries: Conceptual framework and prospects in groundwater ecology. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie. v. 24, p. 1605-1608. Jun.
- HYNES, H.B.N. (1970). The ecology of running waters. Liverpool, University Press.
- HYNES. H.B.N. (1975) Edgardo Baldi Memorial Lecture: The stream and is valley. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie, vol. 19, p. 1-15.
- HYNES, H.B.N. (1983) Groundwater and stream ecology. Hydrobiologia. 100, 93-99
- JONES, J.B.; HOLMES, R.M. (1996). Surface-subsurface interactions in stream ecosystems. Trends of Ecology and Evolution. v. 11, n. 6, p. 239-242.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D.P. ed. Proceedings of International Large River Symposium. Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., n. 106, p. 110-127.
- KELLER, E.A.; KONDOLF, G.M.; HARGERTY, D.J. (1990). Groundwater and fluvial processes, selected observation. In: HIGGINS, C.G.; COATES, D.R., ed. Groundwater geomorfology. The role of subsurface water in earth surface processes and landformes. Special papers 252. The geological Society of America. Cap. 15.

- KREBS, L.; CORBONNOIS, J.; MULLER, S. (1999) The impact of hydrological fluctuation on shallow groundwater hydrochemistry under alluvial meadows. Hydrobiologia, n. 410, p. 195-206.
- LEINZ, V.; AMARAL, S.E.do (1969) Geologia geral. 3.ed. São Paulo, Editora Nacional. 487p.
- LEITE, A. F.; SILVEIRA, C.S.; NETTO, A.L.C. (1999) Hidrogeoquímica em uma bacia montanhosa florestada: uma abordagem geo-hidrológica. In: Forum Geo-bio-hidrologia – Estudos em Vertentes e Microbacias Hidrográficas, Curitiba – PR, Anais, p. 190-200.
- MAGLIOCCA, A. (1987) Glossário de Oceanografia. São Paulo, EDUSP. 355p.
- MALARD, F.; WARD, J.A.; ROBINSON, C.T. (2000) An expanded perspective of the hyporheic zone. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie.v. 27, p. 431-437. April.
- MANOEL FILHO, J. (1997). Água subterrânea: Histórico e Importância. In: FEITOSA, F.A.C. ; MANOEL FILHO, J. (coord.) Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações CPRM, LABHID-UFPE. Fortaleza. Cap 1, p.3-12.
- MARGALEF, R (1991). Teoría de los sistemas ecológicos. Publicacions Universitat de Barcelona.
- MEYBECK, M.; FRIEDRICH, G.; THOMAS, R.; CHAPMAN, D. (1996). Rivers. In: CHAPMAN, D.. Water Quality Assessments: Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2ed. Chapman & Hall Editors. Cap 6, p.243-318.
- MOREIRA-NORDERMAN, L.M. (1981) Geochemistry of some brazilian rivers. Revista Brasileira de Geociências, v. 11, n. 3, p. 153-158, setembro.
- MONTGOMERY, D.R. (1999). Process Domains and the river continuum. Journal of the American Water Resources Association, v.35, n.2, p. 397-410, abril.
- NEWBOLD, J.D. (1996) Cycles and spiral of nutrients. In: PETTS, G.; CALOW, P. (ed.) River Flow and Channel Forms. Blackweell Science, Uk. Cap. 7, p. 130-159.

- NOMAZZI, M.; FRANCISCO, G.F.; WECHUAN, Q. (1999) Physical and Chemical characteristics (hydraulic head, interstitial flow, temperature, oxygen saturation, conductivity, nutrients) as forming factors of the hyporheic habitat. <http://www.bsl.oeaw.ac.at/station/unesco/98u10.html> (10.05.1999)
- PIÉGAY, H.; GURNELL, A.M (1997) large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England. Geomorphology, v.19, p.99-116.
- RIGHETTO, A.M. (1998). Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos, EESC – USP. 819p.
- STANFORD, J.A.; WARD, J.V. (1988) The hyporheic habitat of river ecosystems. Nature. v.335, n. 1, p.64-66.
- STANFORD, J.A. (1998). Rivers in the landscape: introduction to special issue on riparian and groundwater ecology. Freshwater Biology, v.40, p. 402-406.
- STANLEY, E.H.; BOULTON, A. J. (1995). Hyporheic processes during flooding and drying in a Sonoran Desert stream. I – Hydrologic and chemical dynamics. Arch. Hydrobiol. v. 134, n.1, p. 1-26, July.
- SUGUIO, K.; BIGARELA, J. J.(1979). Ambiente Fluvial (Ambientes de sedimentação sua interpretação e importância). Curitiba, Editora Universidade Federal do Paraná. 183p.
- TABACCHI, E.; CORRELL, D.L.; HAUER, R.; PINAY, G.; PLANTY-TABACCHI, A-N.; WISSMAR, R.C. (1998). Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. Freshwater Biology. v. 40, p. 497-516.
- VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E.. (1980). The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. v. 37, n 1, p-130-137.
- WARD, J.V. ; STANFORD, J.A. (1983) The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In. FONTAINE, T.D.; BARTELL, S.M. (ed.) Dynamic of lotic ecosystems. Ann. Abor. Science, USA. p. 29-49.
- WARD, J.V. ; STANFORD, J.A. (1995). The Serial Discontinuity Concept: Extending the Model to Floodplain Rivers. Regulated Rivers: Research & Management. v.11. p.1-10.

WROBLICKY, G.J.; CAMPANA. M.E.; VALETT; H.M.; EAHM, C.N. (1998)  
Seasonal variation in surface - subsurface water exchange and lateral  
hyporheic area of two stream-aquifer systems. Water Resources Research,  
v.34, n.3, p.317-328, march.

## CAPÍTULO 2 – AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIBEIRÕES MOQUÉM E ÁGUA CLARA – MICRORREGIÃO GEOGRÁFICA DE BOTUCATU/SP

Como muitos rios, ribeirões e córregos da região Sudeste, ou melhor, do Brasil, os ribeirões do Moquém e Água Clara constituem-se de uma fonte de água superficial para consumo humano, dessedentação animal, irrigação e a recreação das populações, diluição de efluentes, possibilitando o desenvolvimento econômico e social em suas bacias hidrográficas. Esse cenário destaca, ainda, os múltiplos usos de um recurso natural – a água.

De maneira simplificada, quando a demanda pela água supera a oferta surgem conflitos de uso. Uma analogia pode ser traçada com o conceito ecológico de competição em interações populacionais. Tal situação pode acarretar, ainda, no comprometimento dos seus usos múltiplos. Nessa situação o Estado deverá agir como regulador e surge a necessidade de implantação de um sistema de gestão ambiental. De acordo com Freitas (2000) a gestão de um recurso natural, como a água, visa atingir o desenvolvimento sustentável a partir de uma política estabelecida que irá reger o uso, controle e proteção da mesma e inclui a participação dos agentes envolvidos. Segundo Souza (2000) esse processo é alcançado com a compatibilização entre a capacidade suporte do ambiente e as necessidades sociais e governamentais.

No Brasil o gerenciamento da água é direcionado pela Lei n.9433 de 8 de janeiro de 1997, Institui Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Essa lei tem como um de seus fundamentos: “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (Art. 1º, I). Entre suas diretrizes gerais de ação está “a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país” (Art. 3º, II). E seus instrumentos: “os planos de recursos hídricos” (Art. 5º, I); “o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água” (Art. 5º, II); “a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos” (Art. 5º, III); “a cobrança pelo uso de recursos hídricos” (Art. 5º, IV); “o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos” (Art. 5º, VI)

O estudo das características de bacias hidrográficas tem crescido nos últimos anos como resposta à demanda crescente pela água associada à deterioração desse recurso. Esses estudos são fundamentais para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, uma vez que, fornecem dados quantitativos e qualitativos de bacias hidrográficas em diferentes regiões do país, que poderão ser utilizados na elaboração dos Planos de Bacia. Como exemplo, temos os trabalhos realizados na bacia do rio Gramame (região litorânea do sul da Paraíba) que são apresentados no livro intitulado: Bacia do Rio Gramame; Hidrologia e Aspectos Ambientais dos Recursos Hídricos, organizado por Silva et al. (2002). O rio Gramame é o principal manancial de cinco municípios que apresentam um total de 900.000 habitantes e é exemplo de bacia litorânea do nordeste do Brasil. As bacias hidrográficas selecionadas nesses estudos, de maneira geral, apresentam importância sócio-econômica ou são representativas de determinados aspectos ambientais naturais ou antrópicos. Medri et al. (2002) reuniram trabalhos realizados na bacia do rio Tibagi no Paraná, abordando as características sociais, biológicas, físicas e químicas das bacias.

Além disso, a legislação ambiental trata padrões ambientais para corpos de água através da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA número 20/86, dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional (BRASIL, 1986). Essa resolução estabelece valores máximos ou mínimos de parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Como referência a ser utilizada na presente pesquisa, destaca-se que a Classe II, segundo a Resolução CONAMA nº 20/86, é relativa a águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário;
- d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Dentro desse contexto deve-se questionar e avaliar a diversidade natural nas características das bacias hidrográficas que são refletidas nas água e, conseqüentemente, apresentarão influência no processo de gestão dos recursos hídricos.

Beltrame (1994) propôs o "Diagnóstico do meio físico como instrumento para preservação de recursos naturais em bacias hidrográficas" como um meio de avaliar a degradação dos recursos naturais. A autora considerou quatro fatores: vegetação, clima, além de características geológicas, pedológicas e do relevo.

Assim, neste capítulo estão sistematizadas informações sobre as bacias hidrográficas dos ribeirões do Moquém e Água Clara, envolvendo as questões antrópicas e naturais que contribuem para a determinação das características físicas, químicas, ecológicas e hidrológicas dos sistemas lóticos.

### **2.1 - Localização geográfica**

As bacias hidrográficas dos ribeirões do Moquém e Água Clara estão inseridas na microrregião geográfica de Botucatu no Estado de São Paulo. Esses ribeirões são afluentes do rio do Peixe que é um dos sistemas que contribui para a formação do Reservatório de Barra Bonita. O rio do Peixe é afluente da margem esquerda do rio Tiête, na região denominada Médio-Tiête-Superior (Figura 2.1).

O ribeirão Moquém localiza-se entre as coordenadas:  $48^{\circ}02'$ - $48^{\circ}08'W$  e  $23^{\circ}01'$ - $23^{\circ}10'S$ , flui no sentido SW-NE na região do médio curso e na margem direita do rio do Peixe. Essa região favorece o desenvolvimento de redes de drenagem, pois se encontra sobre os domínios geomorfológicos da Depressão Periférica Paulista. O ribeirão Água Clara, localizado entre as coordenadas:  $48^{\circ}08'$ -  $48^{\circ}15' W$  e  $22^{\circ}54'$ -  $22^{\circ}59' S$ , flui de leste para oeste e encontra o rio do Peixe pela margem esquerda na região do médio para o baixo curso.

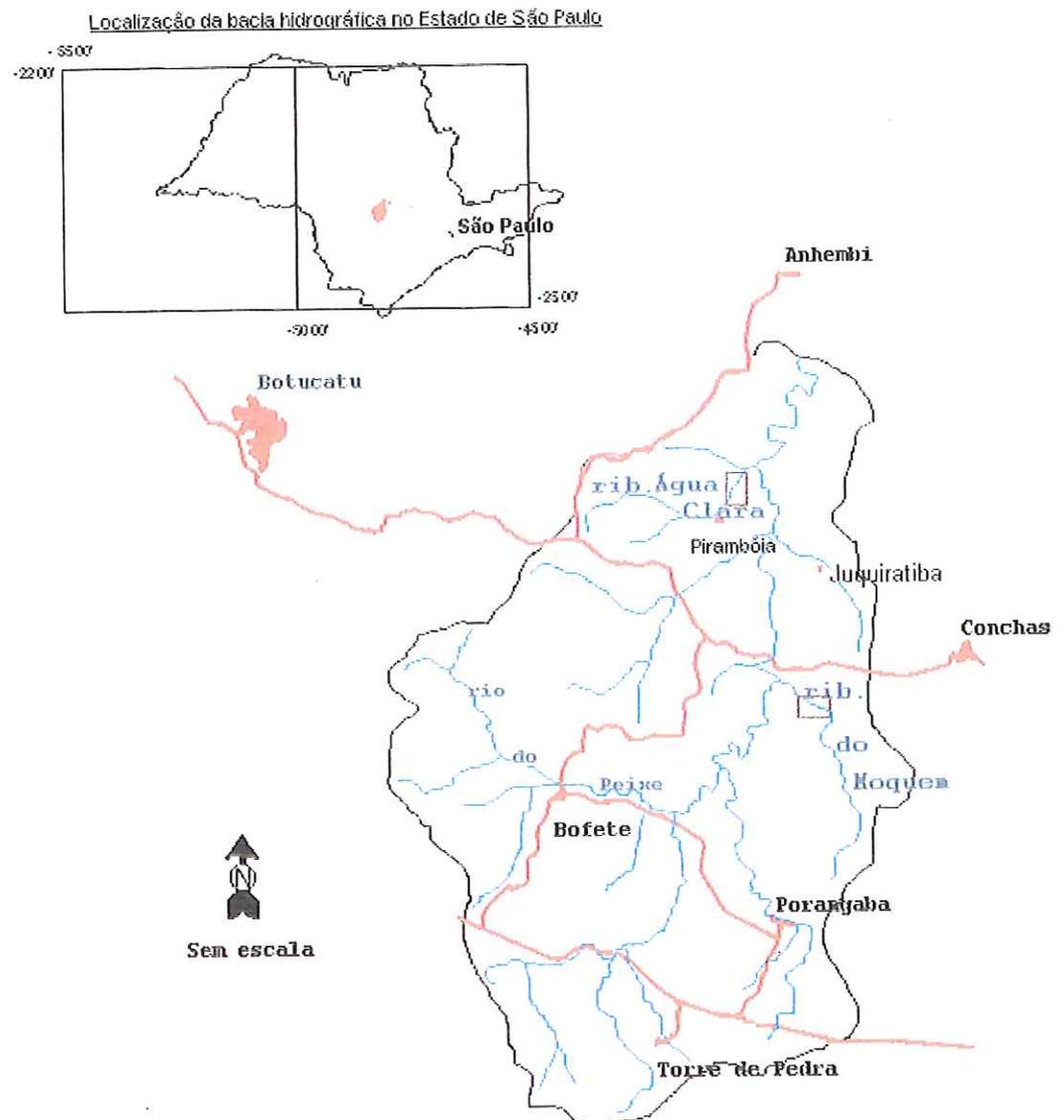


Figura 2.1 – Bacia hidrográfica do rio do Peixe, e a sua localização no Estado de São Paulo.

## 2.2 - Divisão político administrativa e características antrópicas

As bacias hidrográficas do ribeirão do Moquém e Água Clara estão localizadas nos municípios de Porangaba e Anhembi, respectivamente (Figura 2.2). De acordo com (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2002), a população do município de Porangaba é de aproximadamente 6600 pessoas, enquanto o município de Anhembi tem aproximadamente 4535 habitantes. Particularmente, o ribeirão Água Clara encontra-se nas proximidades da área urbana do distrito de Pirambóia; no ribeirão do Moquém existem pequenas aglomerações humanas nas proximidades do corpo de água.

O saneamento ambiental da região é bastante precário. Os municípios depositam seus resíduos sólidos em locais inadequados e somente a cidade de Porangaba tem seus esgotos tratados, mas como a população humana é pequena os impactos ao meio ambiente são moderados (COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO e FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – CESP e FBDS 1997,1998).

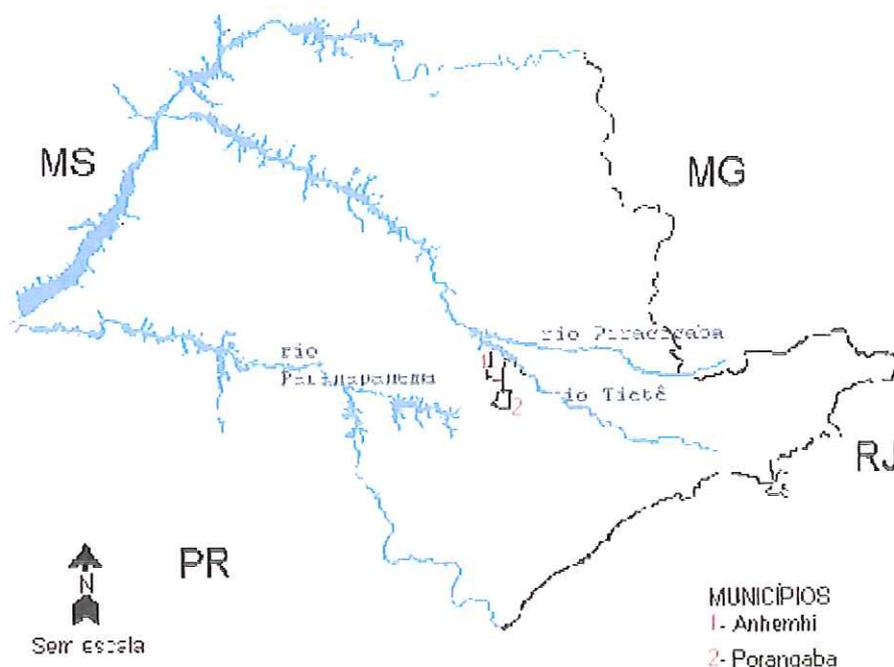


Figura 2.2 – Esboço esquemático da localização dos municípios de Anhembi e Porangaba no Estado de São Paulo (sem escala) [MS – Mato Grosso do Sul, PR – Paraná; RJ – Rio de Janeiro, MG – Minas Gerais].

A paisagem de ambas bacias hidrográficas é dominada por áreas de pastagens. Além disso, são encontradas na bacia do Água Clara reflorestamento com espécies exóticas, mineração de areia (cava e portos de areia) e granjas; na do Moquém: tem-se a exploração de argila, olarias, cerâmicas e granjas.

### 2.3 – Características fisiográficas das bacias hidrográficas

Segundo Villela e Mattos (1975), o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas é um reflexo de suas características físicas, tais como: área, forma, relevo, sistema de drenagem, perfil longitudinal, entre outras. Para Christofolletti (1980), como os cursos de águas são elementos essenciais na esculturação da paisagem, a análise de elementos da bacia hidrográfica auxilia na interpretação dos padrões geomorfológicos.

As bacias hidrográficas foram individualizadas e digitalizadas a partir das cartas planialtimétricas listadas na tabela 2.1 (IBGE, 1970a, 1970b, 1970c). As cartas planialtimétricas, digitalizadas dos ribeirões Água Clara e do Moquém, estão apresentadas nas figuras 2.3 e 2.4 respectivamente, e serviram de base para a obtenção de características das bacias hidrográficas no *software* IDRISI 32 desenvolvido pela *Clark Universty*.

Tabela 2.1 – Cartas Planialtimétricas das bacias hidrográficas dos ribeirões Água Clara e Moquém

Código da Carta	Nome	Escala	Bacia hidrográfica
SF-22-R-IV-3	Botucatu	1:50.000	rib. Água Clara
SF-22-Z-B-VI-4	Anhembi	1:50.000	rib. Água Clara
SF-22-Z-D-III-2	Conchas	1:50.000	rib. do Moquém

A bacia hidrográfica do ribeirão do Moquém possui 87,49 Km<sup>2</sup> de área e 63,75 km de perímetro, onde se distribuem 63 canais que totalizam 93,77 Km (Densidade de drenagem = 1,07Km/Km<sup>2</sup>). Ligeiramente menor, a do ribeirão Água Clara tem 79,58 Km<sup>2</sup> de área e um perímetro de 50,27 km, com um total de 77 canais que percorrem 79,68 Km (Densidade de drenagem = 0,99 km/km<sup>2</sup>). A densidade de drenagem é determinada a partir da razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia. Beltrame (1994), Villela e Mattos (1975) e Crhtistofolletti (1980) destacaram a densidade de drenagem, como um elemento importante para comparação entre bacias hidrográficas, quanto menor a permeabilidade maior o escoamento superficial e, conseqüentemente, a quantidade de canais.

Seguindo o método de Strahler para a determinação da hierarquia fluvial, descrito em Crhistofoletti (1980), o canal principal de ambos os ribeirões atinge quarta ordem. De acordo com Ward (1998) os maiores rios do mundo atingem a vigésima ordem ou mais.

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), descrito em Vilella e Mattos (1975), corresponde à relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Esse coeficiente é utilizado para avaliar a regularidade da forma da bacia. O coeficiente igual a unidade corresponderia a um círculo perfeito e quanto mais se afasta da unidade mais irregular é o formato da bacia. As bacias hidrográficas do ribeirão Água Clara e do Moquém apresentam coeficientes de compacidade de 1,58 e 1,91, nessa ordem. A forma da bacia influi no regime de escoamento do curso de água principal: bacias estreitas e alongadas apresentam maior tempo de concentração quando comparadas com bacias compactas e arredondadas.

A amplitude altimétrica representa a diferença entre a altitude do ponto mais alto da bacia hidrográfica e a altitude na região de desembocadura do corpo de água. O ponto mais alto da bacia hidrográfica do ribeirão Água Clara tem aproximadamente 626 m, enquanto a região de sua desembocadura apresenta em torno de 460 m, conferindo uma amplitude altimétrica de 166 m. Na bacia do ribeirão do Moquém a amplitude altimétrica é de 112 m, conferida pela diferença entre 590 m no ponto mais alto e 478 m na região com menor altitude.

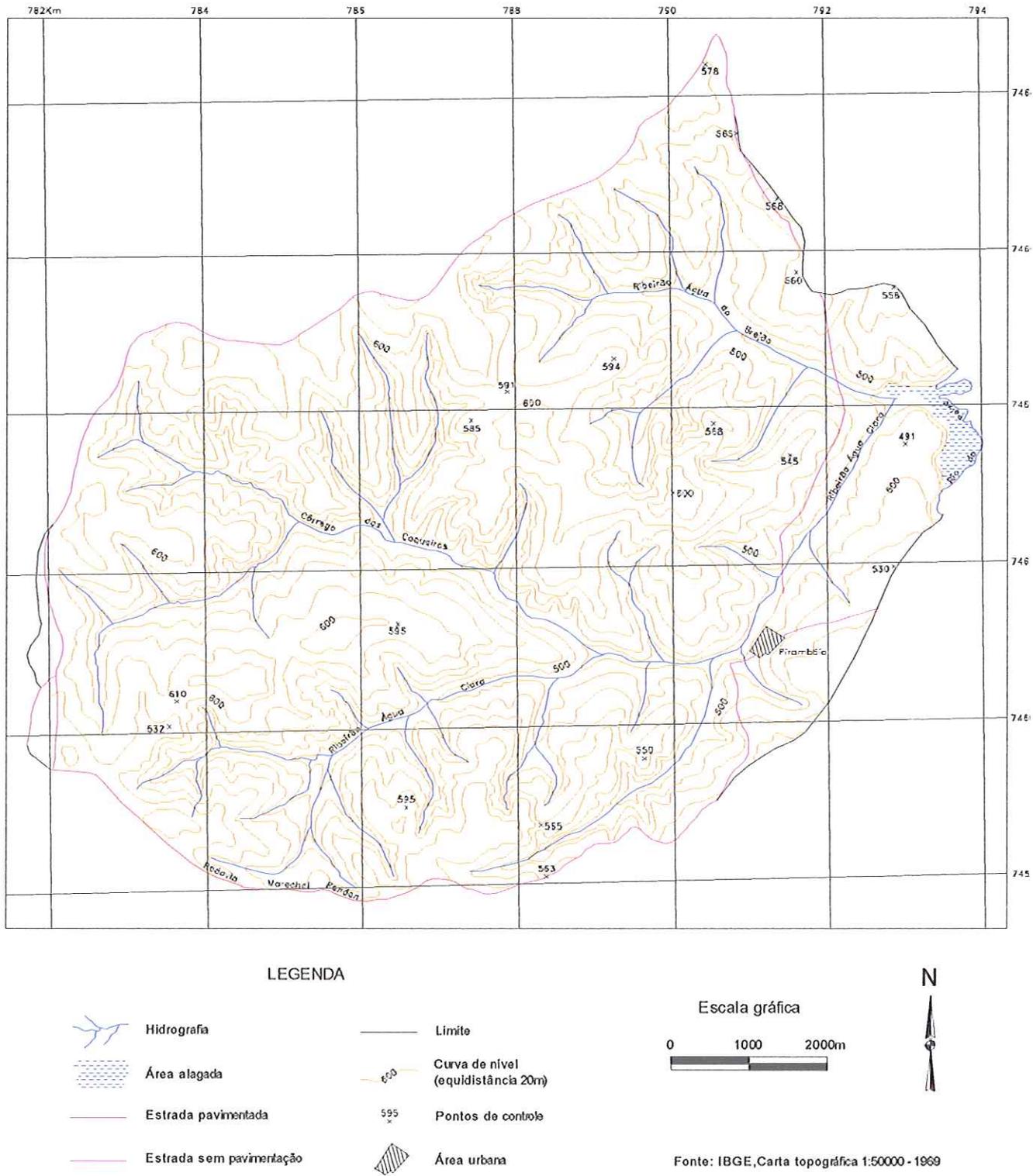


Figura 2.3 – Mapa planialtimétrico da bacia hidrográfica do ribeirão Água Clara (Fonte: IBGE, 1970a e b).

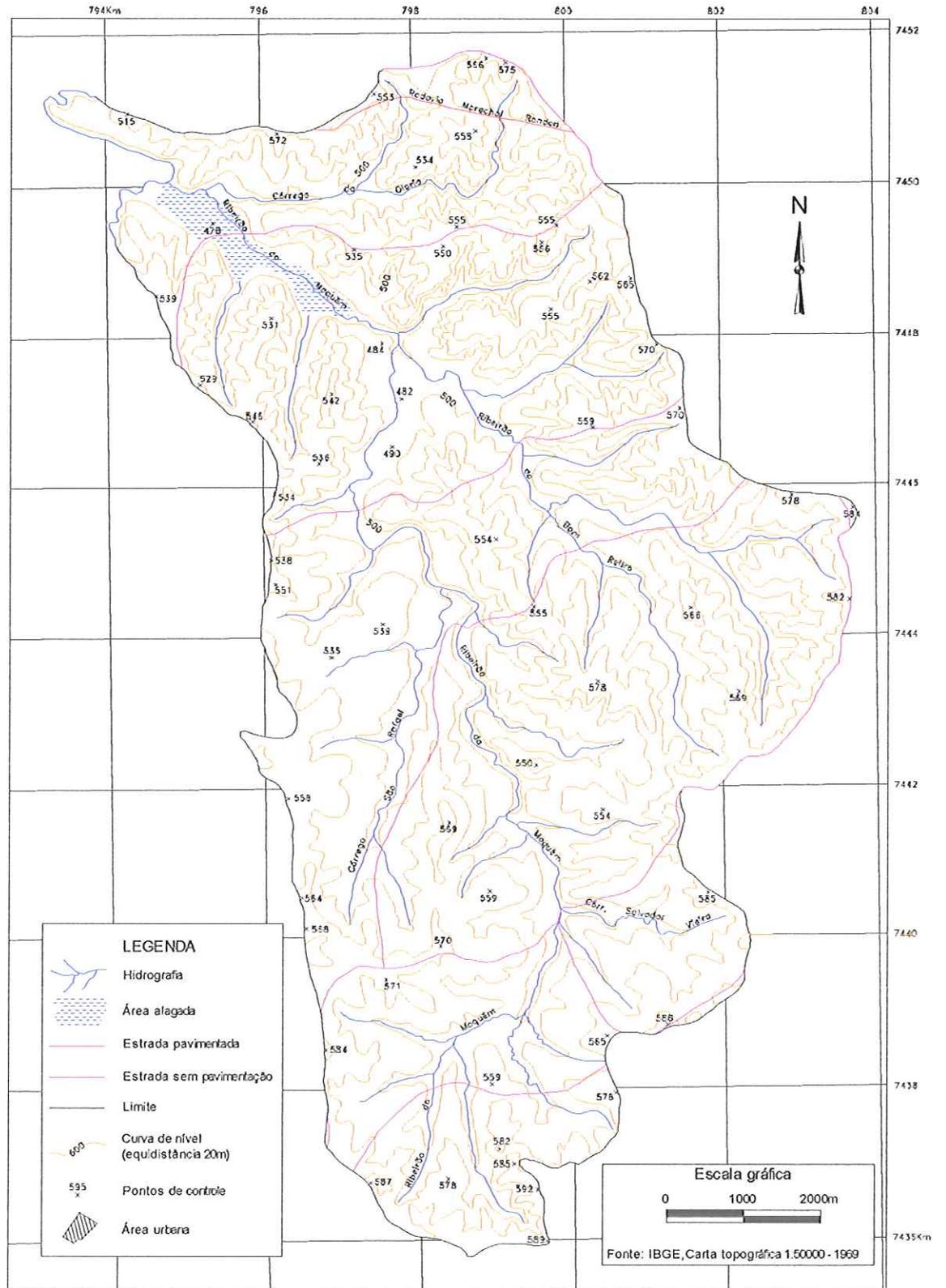


Figura 2.4 – Mapa planialtimétrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Moquém (IBGE, 1970c).

## 2.4 - Características geológicas das bacias hidrográficas

De acordo com o Mapa Geológico da Bacia do Médio Tietê (1:500.000) apresentado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e pelo Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo (IPT e DAEE, 1991) a geologia da bacia hidrográfica do rio do Peixe (onde estão inseridos os ribeirões do Moquém e Água Clara) é caracterizada predominantemente por rochas sedimentares, como segue:

### Cenozóico

Sedimentos Aluviais

### Mesozóico

#### Grupo São Bento

Formação Serra Geral

Formação Botucatu

Formação Pirambóia

### Paleozóico

#### Grupo Passa Dois

Formação Teresina

Formação Irati.

As formações Botucatu e Serra Geral estão presentes na área de cabeceiras do rio do Peixe e de seus afluentes do alto curso (IPT e DAEE, 1991; CESP e FBDS, 1998) não ocorrendo nas bacias do ribeirão Água Clara e do Moquém que são afluentes do médio curso do rio do Peixe.

A maior parte da bacia hidrográfica do ribeirão Água Clara é dominada por sedimentos da formação Pirambóia (mesozóico - triássico), estando recoberta em alguns trechos, especialmente nos terraços fluviais, por sedimentos arenosos inconsolidados de idade terciário a quaternário CESP e FBDS (1998). De acordo com Petri e Fúlfaro (1988, p. 209), a formação Pirambóia é constituída de "arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, síltico argilosos, com granulação de média a muito fina. Ocorrem finas intercalações de argilitos e siltitos. Afloram em São Paulo, ao longo das encostas da Serra Geral. As estruturas sedimentares mais comuns são estratificações cruzadas acanaladas e estratificações plano-paralelas nas porções síltico-argilosas".

De acordo com o Mapa Geológico da Bacia do Médio Tietê (IPT e DAEE, 1991), na bacia hidrográfica do ribeirão do Moqué, afloram sedimentos da formação Teresina. Para Petri e Fúlfaro (1988), Teresina e Serrinha são fácies da formação Estrada Nova em Santa Catarina e no Paraná. Em São Paulo, as fácies Teresina e Serrinha não são individualizadas recebendo, então, a denominação de formação Corumbataí. A formação Corumbataí “possui litologia constituída de siltitos e argilitos roxos, verdes, castanhos e chocolates, com algumas intercalações de arenitos finos a calcarenitos” (PETRI e FÚLFARO op. cit. ,p. 132).

Sedimentos aluvionares quaternários encontram-se próximos aos cursos dos rios de ambas as bacias hidrográficas.

## **2.5 - Características geomorfológicas das bacias hidrográficas**

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981) a bacia hidrográfica do rio do Peixe localiza-se sobre duas províncias geomorfológicas, a das “Cuestas Basálticas” em uma pequena parte da região de cabeceiras e a da “Depressão Periférica Paulista” em quase toda a sua área, o que lhe confere segundo ENGEA (1990) baixa declividade, a menor de toda a porção do Médio Tietê Superior.

De acordo com IPT e DAEE (1995), na região do ribeirão Água Clara o relevo é classificado como ondulado a forte ondulado; no ribeirão do Moqué, ondulado a suave ondulado. Planícies aluviais constituem as feições geomorfológicas de proximidades do curso principal do rio do Peixe no encontro com o ribeirão do Moqué.

## 2.6 - Declividades das bacias hidrográficas

As bases digitalizadas foram utilizadas para a elaboração dos mapas de declividades das bacias hidrográficas dos ribeirões Água Clara e do Moqué m que estão apresentados nas figuras 2.5 e 2.6 respectivamente. Observando os mapas de declividade observamos que ambas as bacias hidrográficas apresentam declividades baixas com a maior parte das áreas entre 01 e 12°. Na bacia do ribeirão do Moqué m as maiores declividades ocorrem no ribeirão do Bom Retiro e após a confluência desse último com o ribeirão do Moqué m. Essa irregularidade na distribuição pode diferenciar tempo de concentração entre as sub-bacias desse ribeirão, considerando que a água percorre com maior velocidade os trechos que apresentam maior declividade. Na bacia do ribeirão Água Clara não ocorrem diferenciações na declividade entre as sub-bacias.

As áreas de cada classe de declividade dos ribeirões Água Clara e do Moqué m estão apresentadas na tabela 2.2, o principal destaque é a área de 23,79 Km<sup>2</sup> na classe que apresenta declividades inferiores a 1° no ribeirão Água Clara.

Tabela 2.2 – Áreas (km<sup>2</sup>) das classes de declividade dos ribeirões Água Clara e do Moqué m.

Classe de declividade	Área (km <sup>2</sup> )	
	ribeirão Água Clara	ribeirão do Moqué m
<1°	23,79	5,02
1-6°	21,55	55,49
6-12°	27,29	23,17
12-20°	6,13	3,32
20-45°	0,81	0,50
>45°	0,00	0,00

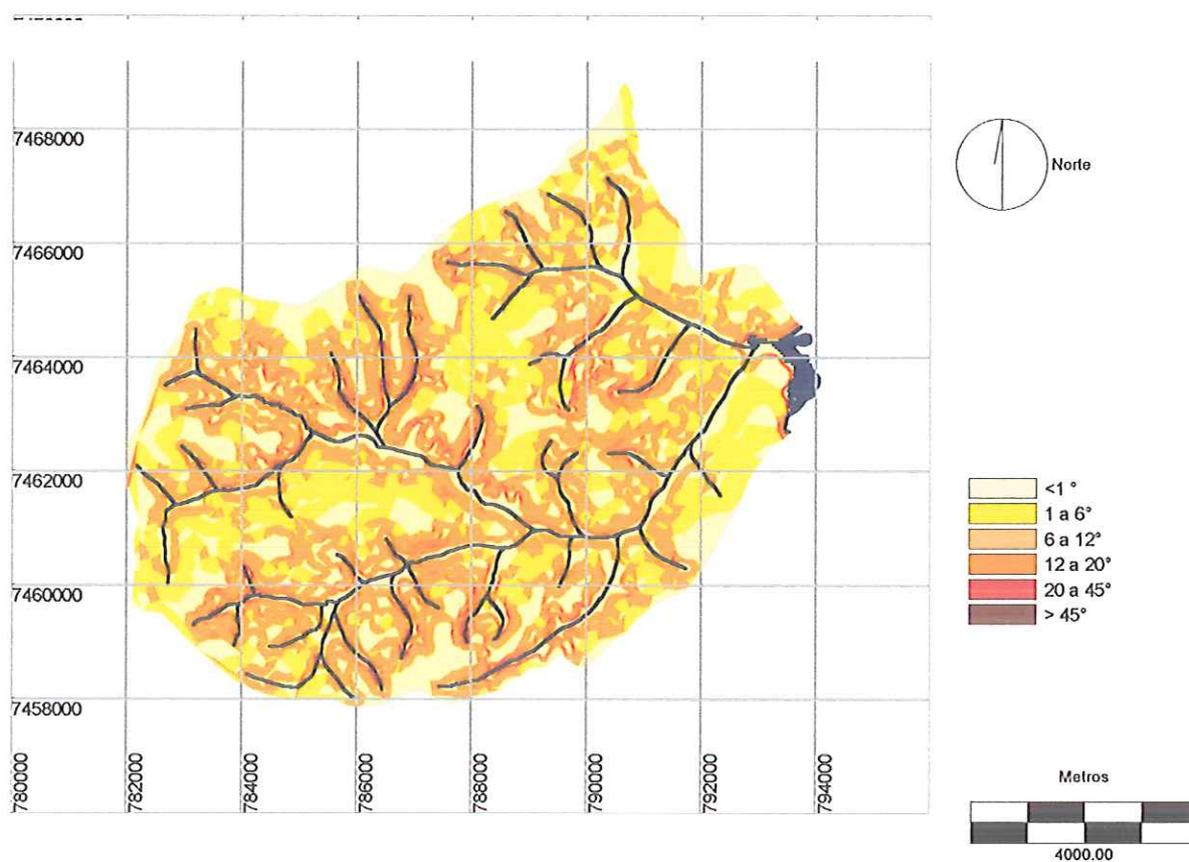


Figura 2.5- Mapa de declividades do ribeirão Água Clara.

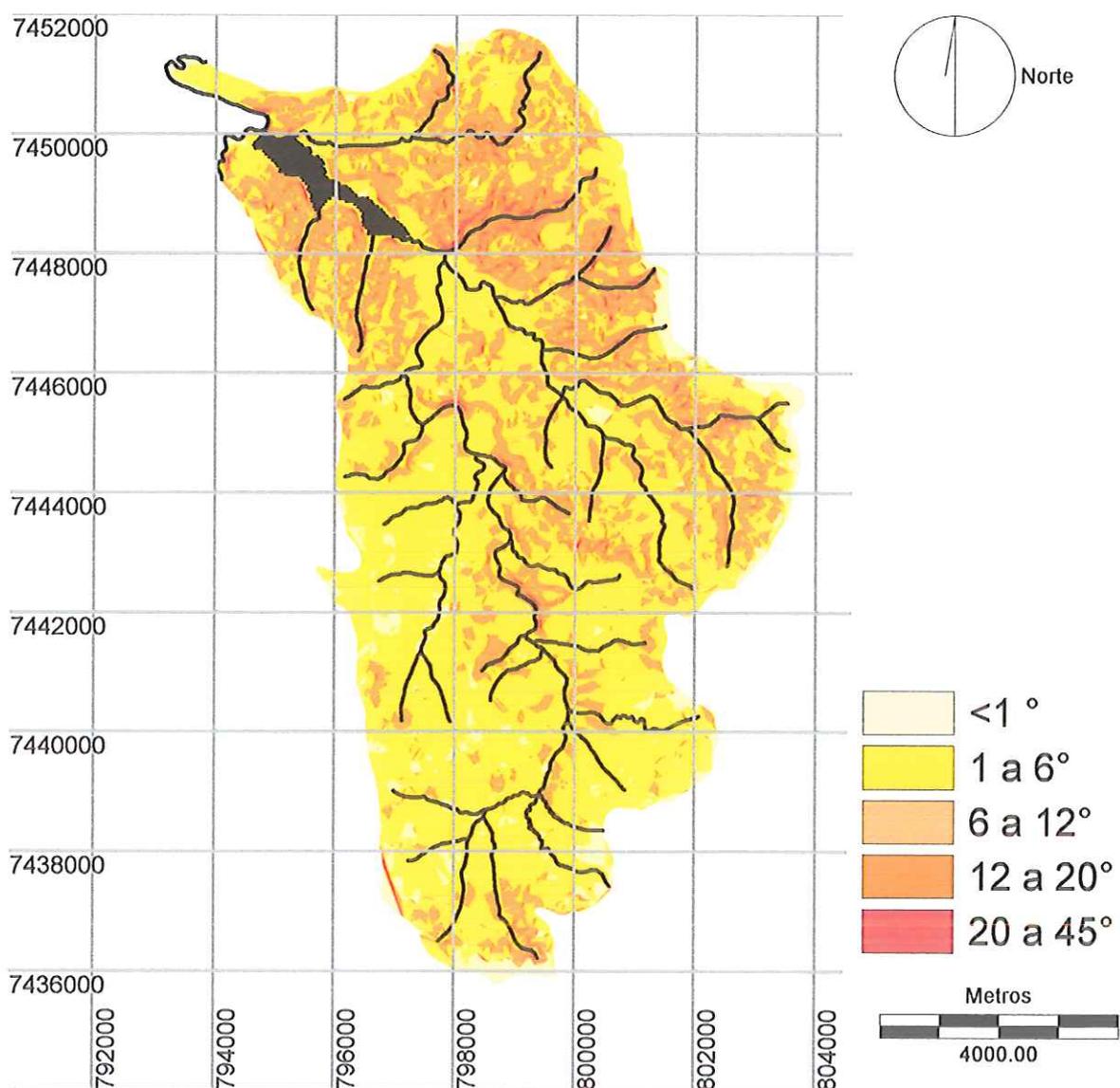


Figura 2.6- Mapa de declividades do ribeirão do Moquém.

## 2.7 – Considerações finais

A principal característica que diferencia as duas bacias hidrográficas analisadas neste trabalho é o embasamento geológico sobre o qual elas se desenvolveram. Esta distinção aparece, inicialmente, refletida em suas características fisiográficas. A bacia do ribeirão do Moquém apresenta comparativamente a do ribeirão Água Clara: (1) maior densidade de drenagem que indica menor permeabilidade; (2) menor amplitude altimétrica; (3) formato alongado o que resulta em um maior coeficiente de compacidade e, possivelmente, em tempos de concentração mais elevados; (4) declividades distribuídas irregularmente e declividades elevadas no trecho final da bacia hidrográfica, peculiaridade esta que pode influenciar também no tempo de concentração da água na bacia.

As atividades econômicas desenvolvidas nas duas bacias também são reflexo direto de suas características geológicas, mineração de areia no ribeirão Água Clara e de argila e olarias no ribeirão do Moquém.

Como são duas bacias hidrográficas pequenas e contribuintes de um mesmo rio (rio do Peixe) sob o ponto de vista da gestão ambiental e, mais especificamente de recursos hídricos, seus representantes deverão compartilhar um mesmo fórum de discussões. Assim, a caracterização ambiental seguida do zoneamento, deve estar inserida nos Planos de Recursos Hídricos de uma região, pois somente com o uso desses instrumentos será assegurado o aproveitamento racional e livre de conflitos de recursos hídricos.

## 2.8 - Referências bibliográficas

- BRASIL (1997). Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 jan. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/politica/legislacao/lei9433/html>. Acesso em 14/04/2003.
- BRASIL (1986) Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente- CONAMA 20/1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 30 jul. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 14/04/2003.
- BELTRAME, A. Da V. (1994). Diagnóstico do Meio Físico de Bacias Hidrográficas – Modelo e Aplicação. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 112p.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO e FUNDAÇÃO BRASILEIRA PRA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CESP e FBDS (1997) Diretrizes para o manejo integrado da bacia hidrográfica do rio do Peixe. /Apresentado ao Convênio CESP & FBDS - Plano de recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio do Peixe./ Relatório.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO e FUNDAÇÃO BRASILEIRA PRA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CESP e FBDS (1998) Manejo integrado da Bacia Hidrográfica do rio do Peixe - Grupos temáticos urbano e rural. /Apresentado ao Convênio CESP e FBDS - Plano de recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio do Peixe./Relatório.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980) Geomorfologia. 2 ed. Editora Edgard Blüncher Ltda. São Paulo, 188p.
- ENGEA (1990) Levantamento e análise dos quadros ambientais e proposições físico territoriais de zoneamento ambiental para a APA de Corumbataí - Botucatu - Tejupá (perímetro de Botucatu): Produto 1 - Avaliação do quadro ambiental, São Paulo, v.3., ENGEA.

- FREITAS, A.J. de (2000) Gestão de Recursos Hídricos. In: SILVA, D.D.da; PRUSKI, F.F.(eds.) Gestão de Recursos Hídricos – Aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Ministério do Meio Ambiente-Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Viçosa, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Brasília. Cap 1, p. 1-120.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (1970a) Região Sudeste do Brasil - Anhembi (SP). Editora do IBGE. Escala 1:50.000, Projeção Universal Transversa de Mercator. Folha SF-22-Z-13-IV-4.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1970b) Região Sudeste do Brasil - Botucatu (SP). Editora do IBGE. Escala 1:50.000, Projeção Universal Transversa de Mercator. Folha SF-22-R-IV-3.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE (1970c) Região Sudeste do Brasil – Conchas (SP). Editora do IBGE. Escala 1:50.000, Projeção Universal Transversa de Mercator. Folha SF-22-Z-D-III-2.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE (2002). Cidades@. <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. (29/06/2002).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS e DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA – IPT e DAEE (1991). Orientações para o combate a erosão no Estado de São Paulo - Bacia do Médio Tietê - Caracterização geral do meio físico. v. 1. Relatório Técnico nº 29.004.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS e DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA – IPT e DAEE (1995). Mapa de erosão do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. 1ª ed. São Paulo, Imprensa Oficial do Estado S.A. IMESP.
- MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATA, O.A.; PIMENTA, J.A. (eds) (2002) A bacia do rio Tibagi. Londrina Paraná.
- PETRI, S. e FÚLFARO, V.J. (1988). Geologia do Brasil. EDUSP, São Paulo. 631p.
- PONÇANO, W.L.; et al. (1981). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT/ Divisão de Minas e Geologia Aplicada.
- SILVA, T.C. da; SILAN, A.M.B.P. de; CADELHA, C.L.M. (2002) Bacia do rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos. Editora Universitária, João Pessoa/Paraíba. 196p.

- SOUZA, M.P. de (2000) Instrumentos de Gestão Ambiental: Fundamentos e Prática. Editora Riani Costa, São Carlos. 108p.
- VILLELA, S.M. e MATTOS, A. (1975). Hidrologia Aplicada. Editora McGraw- Hill Ltda., São Paulo, 245p.
- WARD, J.V. (1998) Riverine landscapes: biodiversity patterns disturbance regimes and aquatic conservation. Biological Conservation, Great Britain, v.83, n.3, p. 269-278.

### **CAPÍTULO 3 – INVENTÁRIO HIDROLÓGICO DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA – MICROREGIÃO GEOGRÁFICA DE BOTUCATU/SP**

O processo de circulação da água entre os compartimentos da superfície terrestre e da atmosfera é denominado de ciclo hidrológico. Esse fenômeno é fechado em nível global e regido, de maneira geral, por três fatores associados: a energia solar, a força da gravidade e a rotação terrestre (SILVEIRA, 2001). De acordo com Manoel Filho (1997), no solo e subsolo as funções de força dominantes são: a ação da gravidade, as características da cobertura vegetal, e as origens geológicas; enquanto na atmosfera e nas superfícies líquidas as condições climáticas predominam sobre as demais funções.

A dinâmica do ciclo hidrológico é estudada através da quantificação dos fluxos e dos armazenamentos de água em diferentes fases: precipitação, interceptação, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial. A bacia hidrográfica é, geralmente, utilizada como a unidade de observação desses processos, sendo que, suas características influenciam a distribuição das vazões (MANOEL FILHO, 1997; SILVEIRA, 2001). Para Tucci (2001) a interação dos elementos do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica é representada pela relação das precipitações com as vazões, bem como as suas distribuições e ocorrências.

As feições de um canal fluvial são respostas das condições locais ao fornecimento de água e de detritos a montante. Dessa maneira, o canal sofrerá alterações somente quando ocorrerem mudanças significativas desses fatores. Uma seção transversal pode ser caracterizada por algumas variáveis e atributos, tais como: largura do canal, profundidade, velocidade do fluxo, volume, gradiente de energia, relação entre largura e profundidade, área, perímetro úmido, raio hidráulico, concentração de sedimentos, granulometria e rugosidade do leito (CRHISTOFOLETTI, 1980 e 1981).

As variações espaciais nas características da água que, em geral, diferenciam os sistemas aquáticos, são um reflexo de diversos fatores entre eles as características hidrodinâmicas. Em sistemas lóticos, especialmente, a velocidade, a vazão e o tempo são fatores que contribuem para a variação das características físico-químicas da água. Como as características

hidrodinâmicas variam espacialmente, os corpos de água, não devem ser caracterizados apenas em um local, e sim através de uma rede de estações de amostragem (MEYBECK e HELMER, 1996).

Harris et al. (2000) estabeleceram a significância ecológica para diferentes magnitudes do fluxo. **Grandes inundações** causam perturbações que levam a uma reestruturação do sistema canal-planície de inundação. **Inundações** promovem distúrbios, mas constituem-se em uma importante fonte de recursos em função da conectividade lateral. **Fluxo moderado** permite a manutenção das condições para a manutenção da vida aquática. **Baixo fluxo** provoca a formação de mosaicos de habitats, as margens dos rios ficam expostas e, dificulta o armazenamento de água na planície de inundação.

Conforme foi destacado no capítulo 2 as bacias hidrográficas dos ribeirões do Moquém e Água Clara têm semelhanças quanto ao tamanho, e proximidade geográfica, mas diferem, essencialmente, quanto à geologia e, conseqüentemente, a geomorfologia e características fisiográficas.

Neste capítulo foram observados aspectos hidrológicos (superficiais e subterrâneos) em um trecho do canal principal dos ribeirões Água Clara e do Moquém, considerando as flutuações no tempo; visando avaliar as semelhanças e distinções entre os dois ribeirões.

### **3.1 - – Material e métodos**

#### **3.1.1 - Escolha dos trechos de estudo**

Os canais principais das duas bacias hidrográficas estudadas foram divididos, com base nas cartas planialtimétricas, ao longo do eixo longitudinal, em três regiões: alto curso (zona de produção), médio curso (zona de transferência), baixo curso (zona de deposição). Esta divisão do rio em zonas, proposta por Schumm (1977), é função de caracteres geomorfológicos, e tem como principal objetivo destacar os processos dominantes em cada uma das regiões de um curso de água, uma vez que processos erosivos, de transferência e deposicionais ocorrem em todas elas.

Na região entre o médio e baixo curso, de cada um dos ribeirões, foi localizado um trecho de aproximadamente quinhentos metros sem tributários ou fontes pontuais, características potenciais para o desenvolvimento do trabalho, de acordo com os critérios citados por Dahm e Vallet (1996).

A primeira etapa do trabalho, consistiu de uma análise prévia do ponto de vista morfológico e hidrológico da área, e da determinação dos trechos de estudo em cada um dos ribeirões (determinação das seções transversais iniciais e finais). Assim, foram selecionados (dentro dos trechos inicialmente escolhidos), em cada um dos ribeirões as seções transversais que delimitariam os trechos de estudo. Essas seções foram escolhidas de modo a permitir a medição da vazão.

### **3.1.2- Locação e perfuração dos poços**

Para permitir observações das águas subterrâneas, foram perfurados poços nas proximidades do canal em cada um dos ribeirões (planície de inundação). Inicialmente foi escolhido um transecto transversal ao canal dentro do trecho de estudo, e determinados os locais para a perfuração de três poços levando-se em consideração a largura da planície de inundação. Após uma avaliação inicial desses poços e considerando que o poço mais próximo do canal tem maior contato com o mesmo, foram perfurados mais dois poços paralelos ao canal do rio, formando um conjunto de cinco poços em cada um dos ribeirões. A instalação de poços vizinhos, formando transectos, é sugerida por Dahm e Valett (1996). Antes da perfuração dos poços foi realizado um nivelamento trigonométrico entre os os locais de perfuração dos poços (com auxílio de teodolito, mira falante e trena).

A presença da mata ciliar não foi observada para a instalação dos poços, porém no ribeirão do Moquém os poços 1,4 e 5 foram instalados na faixa de mata.

A figura 3.1 apresenta o posicionamento dos poços de amostragem com relação ao leito dos rios, suas distâncias e alturas, tendo como referencial o poço 1.

Os poços foram perfurados com o auxílio de trados manuais de 2 e 6 polegadas. A profundidade dos poços (tabela 3.1) variou em função do nível de

água e da resistência do material à perfuração. Após a perfuração, foram instalados tubos de PVC rígido (110 mm) de 4 polegadas. Estes tubos foram perfurados na extremidade inferior onde foram fechados com CAPs (soldável 110mm), revestidos com telas de nylon de diferentes malhas, permitindo a entrada de água e impedindo a de material parental. Após a inserção dos tubos, o buraco do poço foi preenchido com areia grossa inerte e com parte do material retirado durante a perfuração. Essas medidas de acabamento são tomadas para garantir o desempenho dos poços.

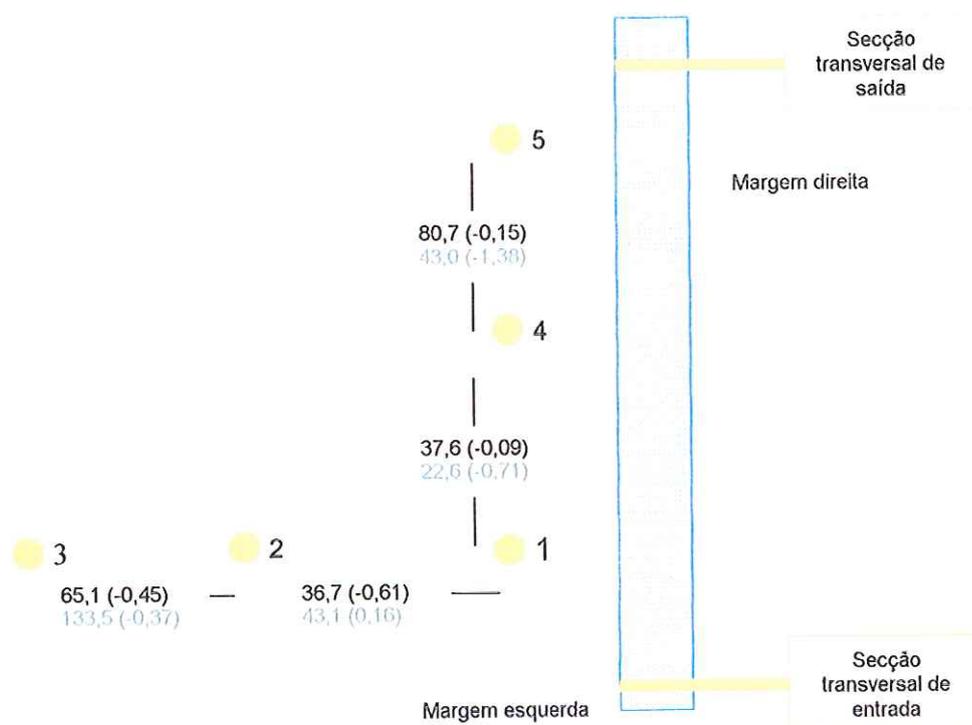


Figura 3.1 – Representação dos trechos de estudo e posição dos poços, as distâncias (metros) e alturas (metros) em relação ao poço 1. Os valores em preto correspondem aos poços do ribeirão Água Clara enquanto os em verde, aos do ribeirão do Moquém.

Para Cederstrom (1964), a perfuração de poços com trado é recomendada onde o nível de água é superficial e as formações são suaves; ainda segundo esse autor, esses poços fornecem amostras representativas. Por esses motivos a perfuração dos poços com trados foi adequada com os objetivos desse trabalho.

Os poços passaram por um processo de limpeza antes do início da amostragem de água, que consiste no esgotamento contínuo, procedimento este sugerido por Barcelona e Gibb (1988).

Tabela 3.1 – Profundidade dos poços de amostragem de águas subterrâneas.

Poço	Profundidade (m)
Ribeirão Água Clara	
1	2,36
2	2,37
3	2,16
4	2,63
5	2,90
Ribeirão do Moquém	
1	5,30
2	6,20
3	4,71
4	5,83
5	4,83

### 3.1.3 - Campanhas de amostragem

Após a determinação das seções transversais e da perfuração dos poços foram realizadas campanhas de amostragem mensais (durante 16 meses consecutivos – março/2000 à junho/2001 nas águas superficiais e nos poços 1-3; a partir de maio/00 também nos poços 4 e 5) quando foram efetivadas as medições das características do canal (para a determinação das áreas das seções transversais), das velocidades de escoamento (para o cálculo das vazões), e do nível de água nos poços.

### 3.1.4 – Nível de água nos poços

Os níveis de água nos poços foram tomados através da diferença dos valores apresentados pela marca de água e pela superfície do terreno no local do poço, em uma trena metálica inserida dentro dos mesmos.

### 3.1.5 – Restabelecimento do nível de água nos poços

Para a estimativa da capacidade de transmitir água dos poços, foi realizada uma medida do restabelecimento do nível de água nos poços, através do seguinte procedimento: bombeamento da água dos poços e observação da elevação do nível conforme o tempo. Com o volume preenchido e o tempo, a descarga pode ser estimada. Essas medições foram realizadas somente em uma das campanhas de amostragem.

Essas estimativas auxiliaram na discussão de possíveis diferenças na condutividade hidráulica dos sedimentos nos trechos de estudo. De acordo com Righetto (1998), mesmo as medidas de condutividade hidráulica (parâmetro de infiltração) quando pontuais, devido a sua alta variabilidade, não podem ser utilizadas para representar a bacia hidrográfica. Deste modo, as considerações relativas a esse parâmetro das bacias hidrográficas são feitas com base na diferenciação geológica das duas bacias hidrográficas.

### 3.1.6 – Seção transversal, velocidade de escoamento e vazão

As vazões foram calculadas a partir da determinação das áreas de segmentos dos transectos e suas respectivas velocidades de escoamento, medidas com o auxílio de um molinete hidrométrico (medida de velocidade-área), de acordo com Wisler e Brater (1964). A opção de determinação das vazões, através de medidas realizadas com o molinete hidrométrico, foi feita em função da disponibilidade do equipamento, do menor custo, e de representar uma medição fátivel em canais naturais onde a natureza do leito, a presença de vegetação e a variação do nível da água devem ser consideradas.

Para Wisler e Brater (1964), a escolha da seção transversal para a realização de medidas de vazão através do método dos dois pontos deve considerar os seguintes aspectos:

- ✓ o canal deve ser reto, uniforme e desobstruído (cinco vezes a largura do rio a montante e duas a jusante);
- ✓ leito uniforme;
- ✓ margens estáveis;

- ✓ corrente normal à seção;
- ✓ velocidades maiores que  $0,30 \text{ m.s}^{-1}$  e menores que  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ ;
- ✓ inexistência de seção larga de transbordamento.

Esses tópicos são importantes, em especial, na determinação da área da seção transversal (etapa onde ocorrem os maiores erros), o que justifica, novamente, as medições pontuais.

Essas medidas podem ser utilizadas na discussão entre as diferenças de alturas entre as águas superficiais e subterrâneas (BOULTON, 1993). Todos esses procedimentos foram sugeridos por Grimm (1996), pois o conhecimento dos valores de vazão e dos parâmetros morfométricos (forma do leito, gradiente, largura, profundidade) podem ajudar na compreensão das trocas entre os sistemas superficiais e subterrâneos.

### **3.1.7 – Material em suspensão**

Foram coletadas amostras das águas superficiais nas seções transversais selecionadas para a determinação das concentrações de sólidos suspensos, conforme método descrito em Teixeira et al. (1965).

### **3.1.8 – Precipitação**

Para a caracterização do regime de chuvas nos períodos de amostragem utilizaram-se os valores de alturas de chuvas registrados diariamente durante os anos 2000 e 2001, na estação pluviométrica E5-016 Bofete (para o ribeirão do Moquém) e, do ano 2000 na estação D5-083/D5-009A Pirambóia (para o ribeirão Água Clara) (tabela 3.2). Ambas fazem parte da Rede Básica do Estado de São Paulo. Infelizmente, a estação de Pirambóia não apresentou registro de dados para o ano 2001. Ainda, para comparação, foram tomados os valores de chuvas máximas mensais e os totais anuais dos dois postos, durante os respectivos períodos de registro apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Postos pluviométricos da Rede Básica do Estado de São Paulo.

Nome do posto	Prefixo	Período de dados	Bacia	Latitude	Longitude
Bofete	E5-016	1970 até 1999	Peixe	23°06'S	48°16'W
Pirambóia	D5-083	1973 até 1999	Peixe	22°56'S	48°10'W

Fonte de dados: <http://www.dae.sp.gov.br>

### 3.2 – Resultados e considerações

Os trechos de estudo, cujas características estão apresentadas na tabela 3.3, foram inicialmente delimitados por duas seções transversais (inicial e final) em cada um dos ribeirões. O ribeirão do Moquém possui o canal do rio encaixado (maior profundidade), com seu fundo composto por material grosseiro, e apresenta uma estreita faixa de vegetação ciliar nativa, constituindo estas as principais distinções entre ele e o ribeirão Água Clara (figuras 3.2 & 3.3). Com exceção da presença da vegetação ciliar, que é um fator que deve ser atribuído diretamente a ações antrópicas, essa diferenciação inicial pode ser fruto das diferenças litológicas e geomorfológicas.

Uma consequência tanto da presença da vegetação ripária como do fundo do rio ser caracterizado por material grosseiro no ribeirão do Moquém é a existência de áreas onde a água fica represada (alteração da dinâmica do fluxo), fato este que pode contribuir para um maior tempo de contato entre a água e os materiais.



Figura 3.2 – Vista geral do trecho de estudo do ribeirão do Moquém



Figura 3.3 – Vista geral do trecho de estudo do ribeirão Água Clara.

Tabela 3.3 – Características dos trechos de estudo dos ribeirões Água Clara e Moquém.

Característica	ribeirão Água Clara	ribeirão do Moquém
Tipo de canal	Meandrante	Meandrante encaixado
Comprimento linear (entre os transsectos)	239,5 metros	204,1 metros
Topografia do leito	Presença de dunas formadas pela corrente	Variação no trecho Depressões e soleiras
Vegetação ciliar	Gramíneas	Faixa estreita de vegetação árborea
Vegetação no canal	Gramíneas próximas as margens	Ausente
Sombreamento	Pequena área sombreada	Grande área sombreada
Tipo de fundo	Predominância de areias finas e areias médias	Cascalhos, areia média, areia fina, silte e argila
Planície de inundação	Presente	Presente

BESCHTA e PLATTS (1986) afirmam que a presença de feições morfológicas como depressões, soleiras e bancos no leito do rio são importantes para a formação de habitats. Para estes autores as depressões são importantes habitats durante as épocas de seca; as soleiras, que aparecem também nas épocas de baixo fluxo são as porções mais produtivas do canal. As presenças dessas feições representam um balanço entre a frequência e a magnitude dos fluxos, transporte de sedimentos e outras características do canal (obstruções, áreas de agradação e degradação).

Wing e Skaugset (2002) trabalharam em rios no estado de Oregon (EUA) e consideraram o pressuposto de que a presença de detritos provenientes da mata ciliar contribui para a saúde do ecossistema aquático. Esses autores investigaram a existência de relações entre a presença de detritos no canal e as propriedades e usos do solo (morfologia do canal ativo, geologia, uso do solo, proprietários das áreas, tipo de vegetação ripária, granulometria do leito) e, concluíram que as características geomorfológicas do canal do rio (gradiente do rio e a largura do canal) foram as variáveis que desempenharam papel mais significativo na variação das quantidades de detritos. A geomorfologia teve destaque somente quando as áreas florestadas foram consideradas na análise.

As alturas de chuvas diárias da estação pluviométrica de Bofete dos anos de 2000 e 2001 estão apresentadas na tabela 3.4a e 3.4b, nesta ordem. A estação de Pirambóia não registrou dados no ano de 2001, portanto a tabela 3.5 apresenta somente as alturas de chuvas do ano de 2000.

A altura máxima de chuva registrada no período de 1970 até 1999 no posto pluviométrico de Bofete foi de 161,7mm, sendo o maior total mensal de 554,9mm. O posto Fazenda Santa Terezinha, que apresenta registros entre 1970 e 1999, registrou 156,6mm de altura de chuva máxima e o maior total mensal de 456,5mm.

Na tabela 3.4a pode-se observar que durante o ano de 2000, dos meses de abril, maio e junho os totais de chuvas foram baixos, com variações de 1,2mm em abril a 15,9mm em junho. O maior valor de chuva acumulado em um mês ocorreu em dezembro (303,7mm). No ano de 2001 (tabela 3.4b), o período seco não foi tão diferenciado quanto o de 2000, o menor valor total mensal de chuvas acumulado foi de 22,5mm também no mês de abril e o maior foi em fevereiro (243,3mm). Os totais de chuvas acumulados em 2000 e 2001 foram semelhantes (1596,7 e 1511,6 mm, respectivamente). No período total de registro do posto, somente 40% dos totais de chuva anual foram superiores a 1500 mm e, com relação aos totais mensais, aproximadamente 10% dos registros foram superiores a 270mm. Exetutando-se o período de estiagem, no início das amostragens, os anos de 2000 e 2001 podem ser considerados úmidos.

Tabela 3.4a – Alturas de chuvas registradas nos anos de 2000 no Posto Pluviométrico E5-016 Bofete. As datas grifadas representam os dias de amostragem.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,5	13,1	0,0	0,0	0,0	4,5	5,2	0,0	1,5	0,0	0,0	1,0
2	5,2	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,4	0,0	0,0	0,0
3	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,5	0,0
4	27,3	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0
5	66,2	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	5,6
6	1,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0
7	0,5	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	55,3	0,0	2,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	49,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	5,4
11	0,0	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	2,4	4,3
12	0,8	24,6	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	0,2	2,5	0,0
13	0,0	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	0,0	34,3	0,0
14	0,0	20,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	5,6	45,5
15	27,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,4	5,6
16	5,6	0,0	11,2	0,0	0,0	0,0	23,0	6,8	16,9	0,0	0,0	23,9
17	5,2	7,7	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,5
18	14,5	1,5	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	0,0	0,6	0,8	0,4
19	3,0	0,0	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0
20	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	16,0	16,8	0,0
21	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
22	0,0	0,0	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,8
23	0,0	2,5	17,7	0,0	0,0	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	3,0	0,6
24	0,0	5,5	0,7	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,7	0,0	4,6	4,6
25	0,0	29,7	9,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	33,0	76,6	34,8
26	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	32,9	3,0
27	70,8	0,0	4,0	0,0	3,7	0,0	0,0	3,2	0,0	0,2	0,0	17,6
28	0,3	19,4	3,5	0,0	0,0	7,6	0,0	31,1	0,0	1,6	0,0	92,3
29	0,0	35,1	23,9	0,0	0,0	0,1	0,0	13,3	0,0	0,0	4,3	12,0
30	0,0	*	0,3	0,0	0,0	1,9	0,0	0,2	0,0	0,0	3,8	0,4
31	0,0	*	0,0	*	0,0	*	0,0	8,3	*	0,0	*	9,4
TOTAL	301,8	263,0	141,3	1,2	10,6	15,9	45,5	85,2	158,4	54,4	215,7	303,7
MÁX	70,8	49,2	35,0	1,2	5,0	7,6	23,0	31,1	69,4	33,0	76,6	92,3

Tabela 3.4b – Alturas de chuvas registradas nos anos de 2001 no Posto Pluviométrico E5-016 Bofete. As datas grifadas representam os dias de amostragem.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,0	4,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	14,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	28,5	0,0	0,0
3	0,0	2,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
4	0,0	7,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
5	0,0	5,6	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
6	5,8	55,6	14,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8
7	4,6	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	7,4
8	5,6	1,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0	3,9
9	0,0	14,3	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	0,0	4,7
10	0,0	8,5	70,8	0,0	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	6,5
11	0,4	3,4	23,4	0,0	8,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	14,6
12	0,0	9,6	0,2	0,0	5,4	0,0	6,5	0,0	0,0	5,2	48,5	16,7
13	27,7	24,1	1,0	0,0	38,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
14	22,6	7,8	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	25,0	30,0
15	7,3	22,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	0,0	6,7	14,5
16	6,5	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,8
17	0,0	70,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
18	0,0	0,8	56,6	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	14,6	0,2	0,0
19	0,0	2,0	0,2	0,0	0,2	15,9	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0
21	0,0	0,2	3,9	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,3	0,3	0,0	4,9
22	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	7,7	3,7	5,1	0,0	10,0
23	0,0	0,0	0,0	4,8	1,2	0,0	0,0	5,1	2,0	0,2	0,0	13,4
24	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	9,4	9,1	0,0	1,3	26,7
25	11,6	0,0	0,0	2,6	0,0	0,1	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0
26	27,6	1,5	0,0	0,0	0,0	0,3	14,8	3,4	1,7	0,0	0,0	0,0
27	0,1	0,0	2,8	0,0	13,5	27,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	41,1	0,0	44,6	0,0	53,3	0,0	19,5	9,5	1,6	0,0	0,7	0,0
29	29,5	*	29,3	0,0	0,3	0,0	0,1	8,9	0,0	0,0	39,4	20,5
30	2,6	*	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,3	6,3
31	0,0	*	0,1	*	0,0	*	0,2	0,0	*	1,8	*	0,0
TOTAL	194,5	243,3	271,6	22,5	138,1	57,0	43,7	47,7	55,3	100,0	124,9	213,0
MÁX	41,1	70,0	70,8	14,7	53,3	27,4	19,5	9,5	23,4	28,5	48,5	30,0

Tabela 3.5 – Alturas de chuvas registradas no ano de 2000 no Posto Pluviométrico D5-009A. As datas grifadas representam os dias de amostragem.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,1	0,0	25,8	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
2	0,4	8,5	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,8	0,0	0,0	0,0
3	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	0,0	0,0	0,0
4	38,5	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	3,2	25,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	22,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	35,5
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	1,7	45,5	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	25,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	0,0	30,8	25,5
14	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	22,5
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5
16	3,8	18,2	6,5	0,0	0,0	3,2	39,5	2,9	0,0	0,0	45,2	11,3
17	6,2	6,5	23,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0	10,8
18	20,4	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,1	28,5
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,5	9,5
23	0,0	0,0	18,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5	0,0
25	55,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,8	8,5
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	0,0	4,8	0,0	9,3
28	43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,9	0,0	0,0	0,0	17,2
29	0,0	0,0	74,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	15,5
30	0,0	*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	19,8
31	0,0	*	0,0	*	0,0	*	0,0	0,0	*	0,0	*	0,0
TOTAL	241,0	155,4	175,4	0,0	12,5	4,4	65,0	35,5	90,2	4,8	259,0	225,4
MÁX	55,5	45,5	74,5	0,0	9,5	3,2	39,5	23,9	39,8	4,8	45,2	35,5

Na tabela 3.5 observa-se, como no Posto Pluviométrico do Bofete, que os menores valores acumulados de chuvas ocorreram nos meses de abril, maio e junho. O mês que apresentou maior total acumulado de chuvas foi novembro (259mm) e, 55,5mm foi a maior altura de chuva diária registrada durante o ano de 2000 (mês de janeiro). No período total de registro, o posto de Pirambóia registrou uma chuva diária máxima de 136,7mm e o maior total mensal de 425,6mm, ou seja, valores superiores aos apresentados em 2000. O total anual de chuvas no ano de 2000 foi de 1268,6 mm, valor este que apresenta-se dentro de 65% dos valores registrados.

O nível de água absoluto nos poços do ribeirão Água Clara elevou-se com o aumento dos totais de chuvas, onde se destacaram os meses de março/00, novembro/00, dezembro/00 e março/01. Apesar de agosto/00 e setembro/00 não apresentarem uma seca destacada, o nível das águas subterrâneas não se modificou com relação aos meses anteriores. No ribeirão do Moquém, o efeito das chuvas na elevação do nível das águas subterrâneas foi aparentemente mais lento; o nível das águas elevou-se a partir de novembro/00 alcançando os maiores valores em fevereiro/01 e março/01.

Nos meses em que os níveis foram menores encontrava-se água em torno de 1 metro abaixo da superfície no ribeirão Água Clara e 2 metros no ribeirão do Moquém. Os níveis mais elevados estiveram próximos de  $-0,4$  e  $-1$  metros, respectivamente (figuras 3.4 e 3.5).

Tood (1967) discutiu as variações seculares e sazonais do nível das águas subterrâneas e, afirmou que a precipitação pluviométrica não pode ser relacionada diretamente com as mudanças de nível das águas subterrâneas, e que outros fatores tais como a intensidade e a distribuição das chuvas e, o escoamento superficial devem ser considerados. O autor destacou que os níveis de águas subterrâneas tendem a apresentar flutuações sazonais.

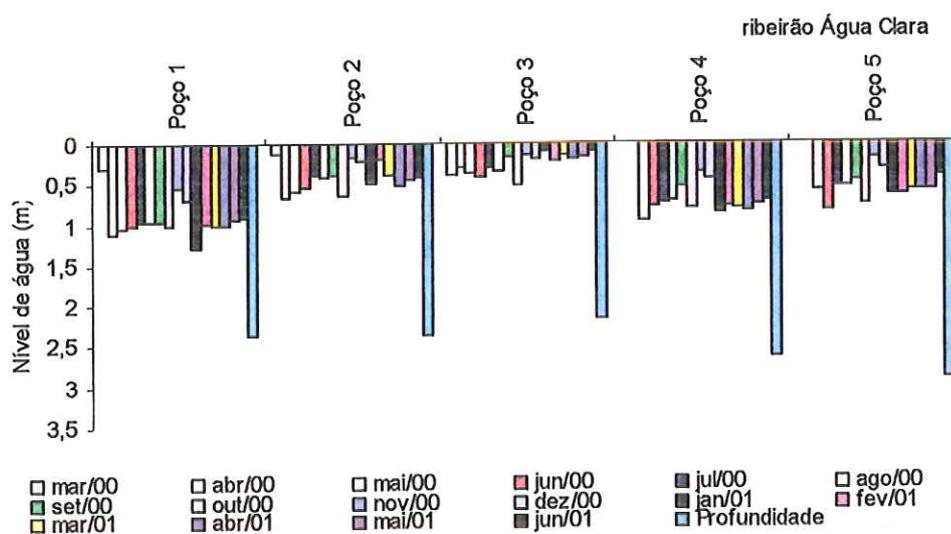


Figura 3.4 – Nível de água nos poços do ribeirão Água Clara, de março/00 a junho/01.

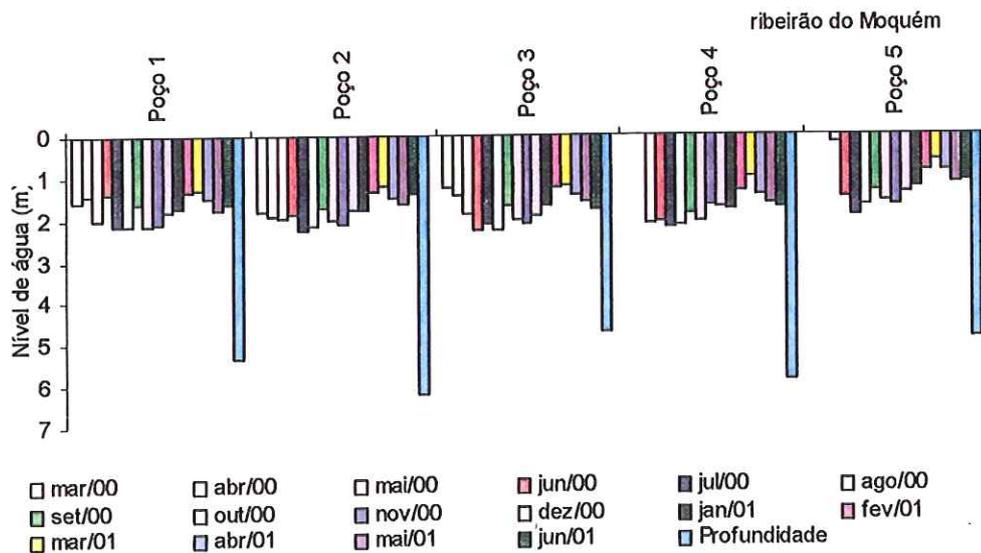


Figura 3.5– Nível de água nos poços do ribeirão do Moquém, de março/00 a junho/01.

Medições de nível de água nos poços mensais ou semanais são necessárias para avaliar recargas sazonais. O armazenamento de água subterrâneo é diferente conforme o tipo de aquífero, aqueles em contato com o rio irão flutuar em resposta a mudança de nível no canal e de fluxo através dos bancos e margens; a extensão dessas mudanças depende da magnitude da flutuação dos níveis no rio, da permeabilidade do leito e do material do aquífero. Uma maneira de avaliar essa relação é através da observação das hidrógrafas dos rios e dos aquíferos (BRASSINGTON, 1998).

As análises de correlação entre os níveis de água nos poços, os totais de chuvas e as chuvas máximas realizadas utilizando o coeficiente  $r$  de Pearson, apresentaram correlação positiva para os poços do ribeirão Água Clara com exceção do poço 3, talvez em função do posicionamento desse último (mais elevado em relação aos demais). Na análise realizada com os poços do ribeirão do Moquém, os coeficientes não indicaram correlação (tabela 3.6). A análise confirma a afinidade entre as chuvas e os níveis de água nos poços do ribeirão Água Clara, bem como a ausência desta no ribeirão do Moquém.

Os níveis de água nos poços mais próximos do ribeirão Água Clara (Poços 1, 4 e 5) foram mais baixos que os demais. Mais uma vez, o posicionamento dos poços deve ser levado em consideração, uma vez que, devido à proximidade com o rio e a altura relativa entre os poços, esses se encontravam sobre o dique marginal.

No ribeirão do Moquém, o poço 4 destacou-se dos demais por encontrar-se instalado em uma depressão, explicando o coeficiente de correlação superior aos demais poços deste ribeirão (tabela 3.6).

Infelizmente, na presente pesquisa não foram instaladas régua nas seções transversais. Esse procedimento auxiliaria na inferência do gradiente hidráulico entre as águas superficiais e subterrâneas, e classificar o rio como influente (perdendo água para as águas subterrâneas) ou efluente (ganhando água).

Tabela 3.6 – Coeficiente de correlação  $r$  de Pearson entre o nível de água nos poços, os totais mensais de chuvas e o máximo mensal.

r de Pearson	ribeirão Água Clara		ribeirão do Moquém		
	Chuvas	Total mensal	Máximo mensal	Total mensal	Máximo mensal
Nível poço 1		0,85	0,87	0,17	0,03
Nível poço 2		0,91	0,92	0,37	0,30
Nível poço 3		0,66	0,39	0,30	0,16
Nível poço 4		0,92	0,81	0,62	0,53
Nível poço 5		0,91	0,87	0,05	-0,09

No ribeirão Água Clara, os níveis de água nos poços foram restabelecidos por vazões da ordem de  $0,1-0,2 \text{ L.s}^{-1}$ . No ribeirão do Moquém, de maneira geral as descargas dos poços foram inferiores às do ribeirão Água Clara (menor valor =  $0,04 \text{ L.s}^{-1}$ ) no poço 4, excluindo-se os poços 1 e 3 que apresentaram valores altos em relação aos demais (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Vazões de restabelecimento dos níveis dos poços nos ribeirões Água Clara e do Moquém

Vazão de restabelecimento dos poços		
Ribeirão Água Clara	Poço1	0,16
	Poço2	0,20
	Poço3	0,13
	Poço4	0,12
	Poço5	0,13
Ribeirão do Moquém	Poço1	0,11
	Poço2	0,02
	Poço3	0,17
	Poço4	0,04
	Poço5	0,02

As seções transversais dos ribeirões Água Clara e do Moquém estão apresentadas na figura 3.6. Observa-se através do formato das figuras entre as seções de cada ribeirão, que a seção de saída do ribeirão Água Clara e a de entrada do ribeirão do Moquém são mais encaixadas. Nota-se essa mesma relação entre os ribeirões, o ribeirão do Moquém apresenta o leito mais encaixado; os aumentos de áreas são, com maior ênfase, função do aumento de profundidade (fevereiro e março/01).

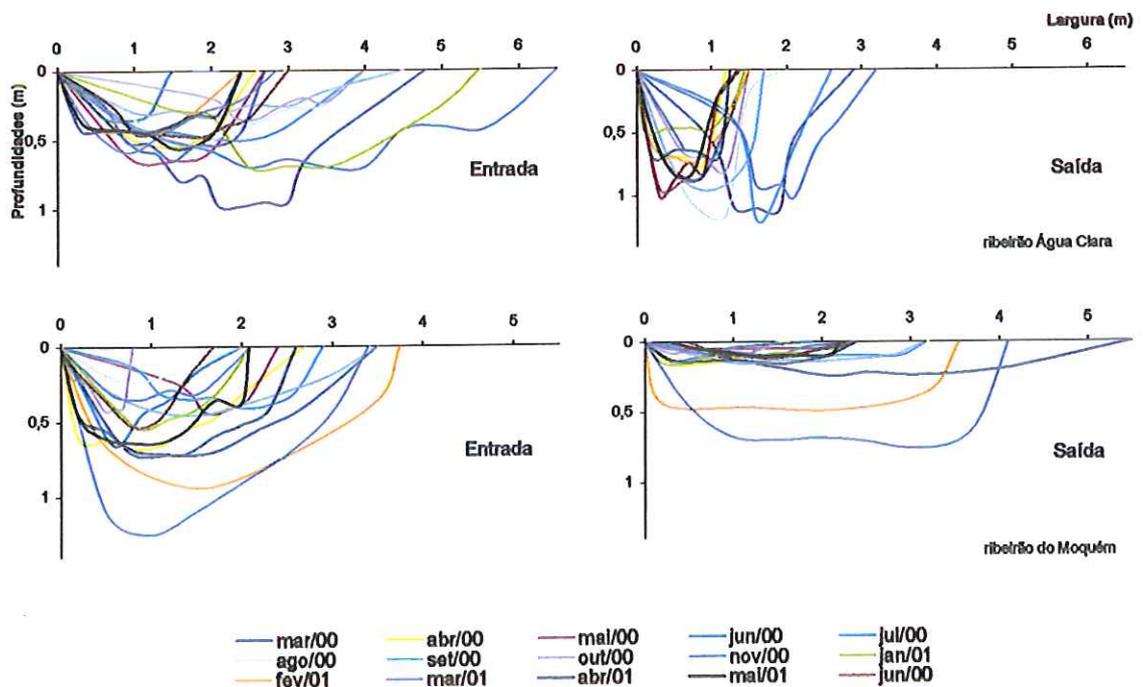


Figura 3.6 – Seções transversais molhadas dos ribeirões Água Clara e do Moquém, de março/00 a junho/01.

A forma do canal do ribeirão Água Clara facilita a ocorrência de extravasamento das águas para o leito menor e maior (que aqui consideramos como a planície de inundação). Esse fato é evidenciado na seção transversal de saída, como pode ser observado nos meses de março e dezembro/00, além do mês de novembro onde não foi possível realizar as medições em função do transbordamento do canal. Na seção de entrada do mesmo ribeirão, possivelmente em função das maiores larguras, esse efeito foi menos evidente, pois essa seção apresenta evidências de assoreamento. No ribeirão do Moquém, durante os trabalhos de campo, não foram registrados transbordamentos mas a ocorrência desses foi confirmada pelas populações locais, como eventos de curta duração.

A maior velocidade média de escoamento nas seções transversais do ribeirão Água Clara ocorreu na saída e foi de  $0,75 \text{ m.s}^{-1}$  no mês de março/00; a mínima, que ocorreu na entrada, foi de  $0,24 \text{ m.s}^{-1}$  em maio/00. Excluindo-se as amostragens de setembro e outubro, a seção de saída apresentou as maiores velocidades, o que pode ocorrer devido ao formato da seção transversal (figura 3.7).

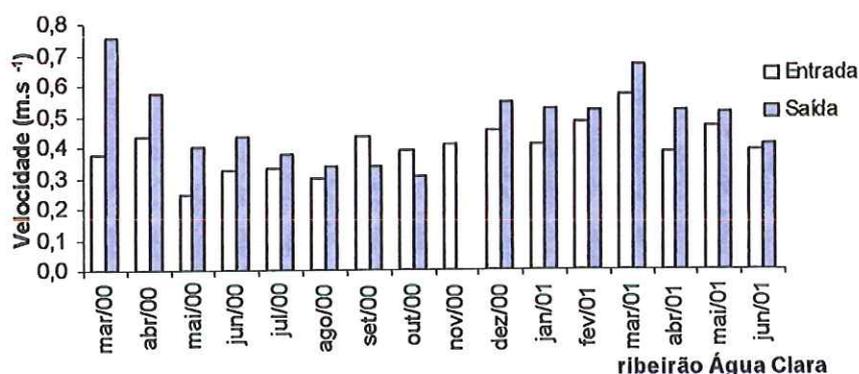


Figura 3.7 - Velocidades de escoamento nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão Água Clara, de março/00 a junho/01.

No ribeirão do Moquém, a velocidade média de escoamento diferenciou-se entre as seções transversais (figura 3.8), sendo mais elevada na seção de saída (com exceção ao mês de fevereiro). A seção de entrada apresentou velocidades de escoamento baixas (mínima de  $0,01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  -jun/00 e máxima de  $0,4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – fev/01), possivelmente devido às irregularidades do canal fluvial e a presença de detritos provenientes da vegetação circundante. Cabe ressaltar que as baixas velocidades de escoamento registradas nesse ribeirão podem diminuir a precisão dos cálculos de vazão.

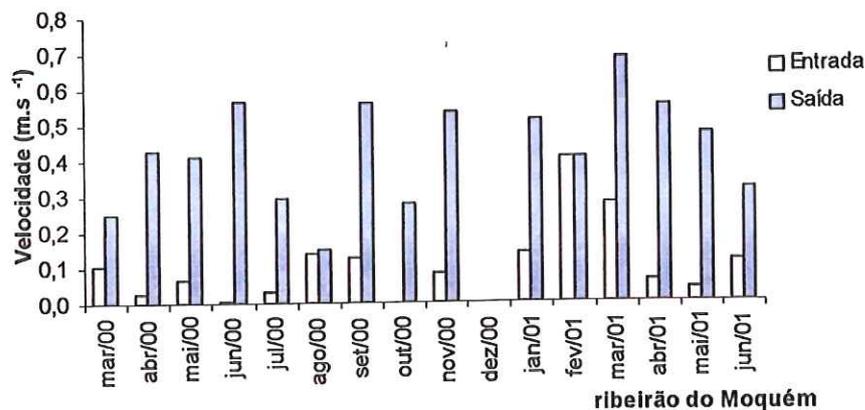


Figura 3.8- Velocidades de escoamento nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão do Moquém, de março/00 a junho/01.

No ribeirão Água Clara os valores máximos de vazão ocorreram nos meses de novembro/00 ( $1,20\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) e dezembro/00 ( $0,74\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ), ambos registrados na seção transversal de entrada. Observa-se que não foi realizada medida de vazão na seção transversal de saída no mês de dezembro, uma vez que, o rio estava transbordando no local. A vazão mínima no período foi de  $0,19\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  na seção transversal de saída e de  $0,25\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  na de entrada, no mês de outubro/00 (figura 3.9).

Os valores máximos de vazão no ribeirão do Moquém ocorreram em dezembro/00, fevereiro/01 e março/01 ( $1,67\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  na seção de saída). Vale ressaltar que no mês de dezembro/00 a medição de vazão foi impossibilitada devido às profundidades elevadas. A menor vazão medida foi de  $0,02\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  em outubro/00, na seção transversal de saída; na seção de entrada, encontraram-se valores menores, e em determinados meses, a água não apresentou velocidade suficiente para o registro no aparelho, fato que, mais

uma vez, ocorreu devido a represamentos de água no trecho de estudo (figura 3.10).

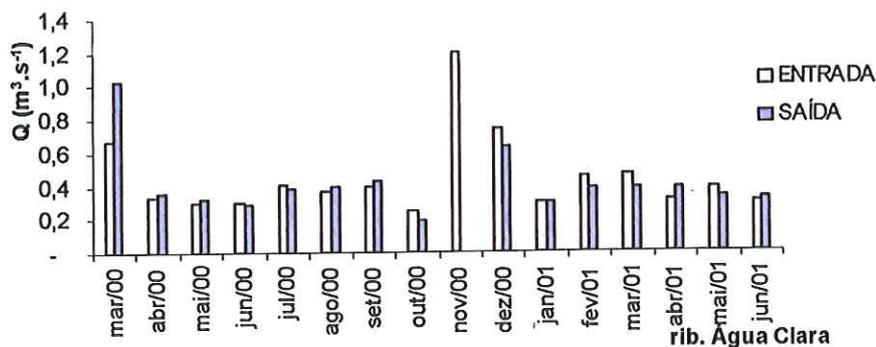


Figura 3.9 – Vazões nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão Água Clara, de março/00 a junho/01.

Apesar de, na maior parte dos meses de estudo os valores de vazão terem sido menores no ribeirão do Moquém, este ribeirão também apresentou os valores máximos de vazão, ou seja, apresentou as maiores amplitudes. Tal fato pode ser atribuído a uma resposta diferencial das bacias hidrográficas às chuvas (escoamento superficial e infiltração) em função de diferenças fisiográficas e geológicas (conforme apresentado no capítulo 2). Como destacou Beltrame (1994), a permeabilidade dos sedimentos de uma bacia hidrográfica relaciona-se com a quantidade de canais formados e com o escoamento superficial. O fato do ribeirão do Moquém apresentar um canal mais encaixado pode também reforçar essa diferença. Além disso, é possível observar nas figuras 3.9 e 3.10 uma diferenciação na distribuição da vazão com o tempo entre os dois ribeirões.

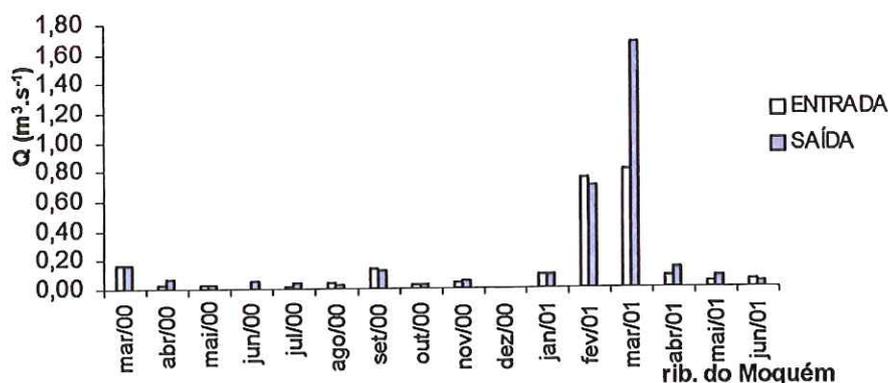


Figura 3.10 – Vazões nas seções transversais que delimitam o trecho de estudo no ribeirão do MoquéM, de março/00 a junho/01.

Estudos anteriores em tributários do rio do Peixe (CONVÊNIO CESP-FBDS – Caracterização limnológica do rio do Peixe) (CESP E FBDS, 1998), entre os anos de 1998 e 1999, encontraram os valores de  $4,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  como valores médios nos períodos de chuva e seca no ribeirão do MoquéM. Para o ribeirão Água Clara os respectivos valores foram de  $1,8$  e  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Como as medições de vazão no presente trabalho são discretas não foram realizadas análises de correlação entre estas últimas e as chuvas. Correlações entre vazões e precipitação não são diretas, pois como assinalou Righetto (1998), os valores de vazão são influenciados por variáveis determinísticas e aleatórias, tais como: abastecimento de água subterrânea, intensidade e duração das precipitações e, teor de umidade no solo. Segundo esse mesmo autor, a avaliação das transformações de chuva em vazão consideram diferenças geológicas e geomorfológicas das bacias hidrográficas estudadas, pois são fatores que afetam a infiltração, a velocidade de escoamento e, a dimensão das cheias entre outras.

Através da diferença entre as vazões de entrada e saída observadas no ribeirão Água Clara, observa-se que o mês de março/00 destacou e o ribeirão nesse mês apresentou características de rio efluente, a mesma situação é observada no mês março/01 no ribeirão do MoquéM. Ao mesmo tempo esses foram os meses, com os mais altos níveis de água nos poços.

A figura 3.11 apresenta as concentrações de sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos, nas seções transversais de entrada e saída do ribeirão Água Clara enquanto a figura 3.12, os dados referentes ao ribeirão do Moquém. É possível observar que a maior parcela dos sólidos suspensos encontrava-se na forma inorgânica, e ainda que o ribeirão Água Clara apresentou concentrações de sólidos suspensos maiores do que o do Moquém.

Os picos de concentrações não ocorreram na mesma época nos dois ribeirões. No ribeirão do Moquém, os máximos ocorreram no mês de dezembro/00 e no Água Clara no mês de janeiro/01.

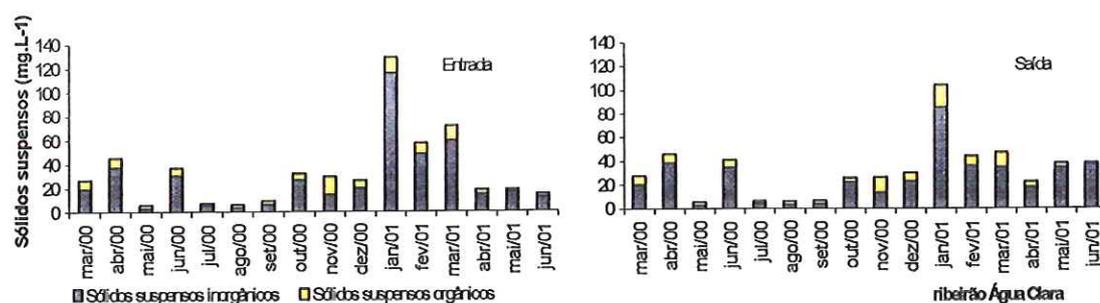


Figura 3.11 – Concentrações de sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas seções transversais de entrada e saída, do ribeirão Água Clara, de março/00 à junho/01.

Na tabela 3.8 estão apresentadas as concentrações médias, máximas, mínimas e os desvios padrões dos sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos, respectivamente. A concentração média de sólidos suspensos inorgânicos no ribeirão Água Clara foi da ordem de  $25 \text{ mg.L}^{-1}$ ; e no ribeirão do Moquém de  $12 \text{ mg.L}^{-1}$ .

As médias das concentrações de sólidos suspensos orgânicos foi em torno de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  no ribeirão do Moquém. No ribeirão Água Clara, a concentração média na seção transversal de entrada foi de  $6,1 \text{ mg.L}^{-1} \pm 4,5$ ; e na de saída, de  $6,4 \text{ mg.L}^{-1} \pm 5,1$ .

A presença dos sólidos totais em águas naturais é, entre outros fatores, diretamente ligada a processos de desgaste das rochas e percolação (PORTO

et al., 1991). Para Meybeck et al. (1996), as concentrações de sólidos aumentam diretamente com o aumento das vazões. Os sólidos suspensos nos ribeirões do Moquém e Água Clara responderam não somente as características naturais (vazão e diferenças geológicas) como também as características antrópicas (uso do solo e atividades de mineração). A topografia do trecho de estudo (presença de depressões), possivelmente auxiliou as menores concentrações de sólidos em suspensão no ribeirão do Moquém, uma vez que as velocidades diminuem e os processos de deposição de materiais são favorecidos.

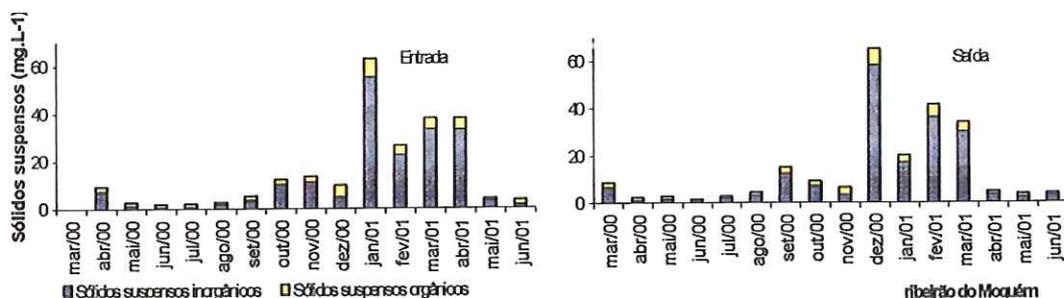


Figura 3.12 – Concentrações de sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nas seções transversais de entrada e saída, nos ribeirões Água Clara e Moquém, de março/00 a junho/01.

Tabela 3.8 – Estatística descritiva das concentrações de sólidos suspensos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nos ribeirões do Moquém e Água Clara, de março/00 a junho/01.

Inorgânicos	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	Coef. Var
ribeirão Água Clara - Entrada	26,7	113,1	115,8	2,7	30,6	1,1
ribeirão Água Clara - Saída	25,0	81,9	84,6	2,7	21,7	0,9
ribeirão do Moquém - Entrada	13,2	54,8	55,2	0,4	16,6	1,3
ribeirão do Moquém - Saída	12,8	57,3	58,0	0,6	17,1	1,3
Orgânicos	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	Coef. Var
ribeirão Água Clara - Entrada	6,1	12,9	14,7	1,8	4,5	0,7
ribeirão Água Clara - Saída	6,4	17,4	18,8	1,4	5,1	0,8
ribeirão do Moquém - Entrada	2,8	6,8	7,6	0,8	2,0	0,7
ribeirão do Moquém - Saída	2,5	6,5	7,2	0,7	1,9	0,8

As relações entre as concentrações de sólidos suspensos, os totais e os máximos mensais de chuvas, e as vazões através do coeficiente de correlação  $r$  de Pearson, indicam que somente no ribeirão do Moquém os aumentos das

chuvas e das vazões estiveram correlacionados com a quantidade de sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos (tabela 3.9).

Tabela 3.9 – Coeficiente de correlação  $r$  de Pearson entre os sólidos suspensos inorgânicos e orgânicos, os totais de chuva, os máximos mensais e as vazões.

r de Pearson		Chuvas		Vazão
		Total mensal	Máximo mensal	
Inorgânicos	ribeirão Água Clara - Entrada	-0,13	-0,37	-0,15
	ribeirão Água Clara - Saída	-0,11	-0,36	-0,24
	ribeirão do Moqué m - Entrada	0,83	0,73	0,89
	ribeirão do Moqué m - Saída	0,81	0,73	0,91
Orgânicos	ribeirão Água Clara - Entrada	0,59	0,21	0,52
	ribeirão Água Clara - Saída	0,65	0,25	0,33
	ribeirão do Moqué m - Entrada	0,91	0,84	0,81
	ribeirão do Moqué m - Saída	0,89	0,84	0,85

### 3.3 – Considerações finais

O regime de chuvas nas estações pluviométricas de Pirambóia e Bofete, no ano de 2000, foi semelhante. A distribuição temporal das vazões nos ribeirões do Moqué m e Água Clara foi distinta. Esse comportamento era esperado, uma vez que as duas bacias hidrográficas apresentam características físicas distintas que determinam as taxas de infiltração, as velocidades de escoamento e a dimensão de cheias. Contudo, as diferenças absolutas entre as vazões foram altas, tanto do período mais seco como no chuvoso, provavelmente, isto deveu-se ao baixo fluxo de base e a uma menor infiltração no ribeirão do Moqué m.

Para Whiting e Stamm (1995), rios onde as águas subterrâneas são preponderantes, apresentam flutuações no fluxo relativamente menores, quando comparados com rios onde o escoamento superficial é predominante. Os primeiros teriam vazões resultantes de uma mesma chuva atenuada quando comparados com os segundos. De acordo com essa classificação, o ribeirão Água Clara pode ser denominado como um rio onde as águas suterrâneas são dominantes e, o ribeirão do Moqué m onde as águas superficiais. Para Sear et al. (1999) a estabilidade do regime hidrológico é

usada para representar a dominância da água subterrânea, que pode ser representada também por uma menor rede de drenagem (densidade de drenagem).

De maneira geral, pode-se observar que os poços de amostragem do ribeirão Água Clara eram mais rasos se comparados aos do Moquém. A profundidade dos poços está relacionada com o nível da água subterrânea e com a altura total do leito do rio, sendo esta última mais elevada no ribeirão do Moquém, uma vez que, esse apresenta o leito profundo e encaixado. De acordo com Tood (1967), quando os níveis de aquíferos não confinados são altos podem ocorrer perdas devido à evaporação. Essas perdas geram variações diurnas nos níveis. Assim, uma pequena diminuição do nível por evaporação pode ter ocorrido nos poços do ribeirão Água Clara.

Martí et al. (2000) estudaram as ligações hidrológicas entre o canal ativo e a zona ripária, os autores constataram que os aumentos nos níveis de água ocorriam imediatamente após um pico de inundação, e que nem todos os fluxos tinham resposta similar, uma vez que, existia uma dependência da ocorrência dos fluxos consecutivos. Esses autores, ainda, atribuíram a um movimento lateral da água a diminuição das vazões em um trecho de 400 m; esse fluxo aumentaria os níveis de água na zona ripária. No presente trabalho essa movimentação lateral, aparentemente, alternou-se durante o período de amostragem, sendo mais nítido o comportamento efluente em um mês, distinto, em cada ribeirão.

A velocidade de escoamento que foi determinada pela topografia do leito, provavelmente, foi o fator que mais contribuiu para as maiores concentrações de sólidos suspensos no ribeirão Água Clara, pois a velocidade de escoamento esta diretamente relacionada com a competência de um rio (VILLELA e MATTOS, 1975).

De maneira geral, os dois trechos dos ribeirões enfocados apresentaram respostas distintas às variáveis estudadas, tanto em termos absolutos como quanto às amplitudes, como provável reflexo das distintas características de suas bacias hidrográficas, que afetam fundamentalmente a infiltração e o escoamento superficial, conforme descrito no capítulo 2. As diferenças hidrológicas evidenciadas são fundamentais, também, para a determinação das características físicas e químicas dos sistemas lóticos.

Com base nos resultados descritos é possível destacar:

- o fluxo de base garantiu vazões regulares e elevadas ao ribeirão Água Clara nos períodos de menores precipitações;
- no ribeirão do Moquém o fluxo de base é pequeno, e as vazões são desprezíveis nos períodos de menores precipitações;
- durante o período de chuvas, o escoamento superficial e a precipitação direta contribuíram com a maior parte do fluxo em ambos os ribeirões estudados, porém essa contribuição foi proporcionalmente superior no ribeirão do Moquém;
- a flutuação das vazões também diferenciou os dois ribeirões, o ribeirão Água Clara pode ser classificado, segundo critérios hidrológicos, como um rio onde predominam as águas subterrâneas;
- os níveis dos poços no ribeirão Água Clara responderam mais rapidamente as precipitações, ocorrência esta não observada no ribeirão do Moquém, possivelmente, em função das diferentes características das bacias hidrográficas;
- no ribeirão do Moquém, os fluxos baixos permitem a formação de mosaicos de habitats no leito do rio, fenômeno não observado no ribeirão Água Clara, esse comportamento diferencia os ribeirões em termos ecológicos;
- a diferenças absolutas das vazões dos dois ribeirões podem apresentar implicações de ordem prática, em termos de disponibilidade da água para uso e gestão desse recurso;
- a diferenciação entre a dinâmica hidrológica dos ribeirões estudados pode apresentar reflexos nas características físicas e químicas da águas, conforme avaliado no capítulo 5; como também nas características ecológicas.

### 3.4 -Referências Bibliográficas

- BARCELONA, M.J.; GIBB, J.P. (1988) Development of Effective Ground-Water Sampling Protocols. IN: COLLINS, A. G. & JOHNSON, A.I. (eds.) Ground-Water Contamination – Field Methods. Baltimore, ASTM .p.17-26.
- BELTRAME, A. Da V. (1994). Diagnóstico do Meio Físico de Bacias Hidrográficas – Modelo e Aplicação. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 112p.
- BESCHTA, R.L.; PLATTS, W.S. (1986) Morphological features of small streams: significance and function. Water Resources Bulletin, v. 22, n. 3, p. 369-379.
- BOULTON, A.J. (1993). Stream ecology and surface-hyporheic hydrologic exchange: Implications, techniques and limitations. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, vol 44, p 553-564.
- BRASSINGTON, R. (1998) Field Hydrogeology. 2. Ed. John Wiley & Sons, New York, 248p.
- CEDERSTROM, D.J. (1964). Água Subterrânea – Uma introdução. Centro de Publicações Técnicas da Aliança – Missão Norte-Americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil (USAID), Rio de Janeiro. 280p.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO e FUNDAÇÃO BRASILEIRA PRA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CESP e FBDS (1998) Manejo integrado da Bacia Hidrográfica do rio do Peixe - Grupos temáticos urbano e rural. /Apresentado ao Convênio CESP e FBDS - Plano de recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio do Peixe./Relatório.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980) Geomorfologia. 2.ed. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 188p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1981) Geomorfologia Fluvial. v.1 (O Canal Fluvial). Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 313p.
- DAHM, C.N.; VALLET, H.M. (1996) Hyporeic Zones. In: HAUER, F.R.; LAMBERT, G.A. Methods in Stream Ecology. Academic Press, London. Cap 6. p.107-119.
- GRIMM, N.B. (1996) Surface-Subsurface Interactions in Streams. In: HAUER, F.R.; LAMBERT, G.A. Methods in Stream Ecology. Academic Press, London. Cap 30, p. 625-646

- HARRIS, N.M.; GURNELL, A.M.; HANNAH, D.M.; PETTS, G.E. (2000) Classification of rivers regimes: a context for hydroecology. Hydrological Processes. v. 14, p. 2831-2848.
- MANOEL FILHO, J. (1997). Água subterrânea: Histórico e Importância in FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (coord.) Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações CPRM, LABHID-UFPE. Fortaleza. Cap. 1, p. 3-12.
- MARTÍ, E.; FISHER, S.G.; SCHADE, J.D.; WELTER, J.R.; GRIMM, N.B. (2000). Hydrological and chemical linkages between the active channel and the riparian zone in an arid land stream. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie. v 27, p. 442-447, April.
- MEYBECK; M.; HELMER, R. (1996). An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. Water Quality Assessments: Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2ed. Chapman & Hall Editors. Cap. 1, p. 1-22.
- MEYBECK, M.; FRIEDRICH, G.; THOMAS, R.; CHAPMAN, D. (1996). Rivers. In: CHAPMAN, D.. Water Quality Assessments: Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2ed. Chapman & Hall Editors. Cap. 6, p.243-318.
- PORTO, et al. (1991). Caracterização e alterações da qualidade da água - Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, et al. Hidrologia Ambiental. São Paulo, EDUSP. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). Parte I, Cap. 2, p. 27-68
- RIGHETTO, A.M. (1998). Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos, EESC – USP. 819p.
- SCHUM, S.A. (1977). The Fluvial System. New York, John Wiley & Sons.
- SEAR, D.A.; ARMITAGE, P.D.; DAWSON, F.H. (1999) Groundwater dominated rivers. Hydrological Processes. v. 13, p. 255-276.
- SILVEIRA, A.L.L. da (2001) Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. IN: TUCCI C.E.M. (org). Hidrologia – Ciência e aplicação. 2º ed. Porto Alegre, Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4). Cap. 2, p.35-51.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTNER, M.B. (1965). Plankton Studies in Mangrove II, the Standing-stock and some ecological factors. Boletim do Instituto Oceanográfico, v. 24, p. 23-31.

- TOOD, D.K. (1967) Hidrologia de Águas Subterrâneas. Trad. por Porf. Araken Silveira e Profa. Evelyn Bloem Souto Vieira, Rio de Janeiro – Editora edgard Blucher - LTDA.
- TUCCI, C.E.M. (2001) Escoamento Superficial. IN: TUCCI C.E.M. (org). Hidrologia – Ciência e aplicação. 2º ed. Porto Alegre, Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4). Cap. 11, p.391-441.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975). Hidrologia Aplicada. Editora McGraw- Hill Ltda., São Paulo, 245p.
- WHITING, P.J.; STAMM, J. (1995) The hydrology and form of spring-dominated channels. Geomorphology. v.12, p.233-244.
- WING, G.M.; SKAUGSET, A. (2002) Relationships of channel characteristics, land ownership, and land use patterns to large woody debris in western Oregon streams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. v. 59, p-796-807.
- WISLER, C.O.; BARTER, E.F.(1964).Hidrologia. SEDEGRA, Rio de Janeiro.

## **CAPÍTULO 4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS EM TESTEMUNHOS (SOLO/ROCHA) DAS PROXIMIDADES DOS CANAIS DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA – MICRORREGIÃO GEOGRÁFICA DE BOTUCATU/SP.**

Os solos, as rochas e os sedimentos dos rios de uma bacia hidrográfica apresentam características físicas e químicas relacionadas. Essas características influenciam diretamente o tipo e quantidade de materiais dissolvidos nas águas superficiais e subterrâneas.

Segundo Lewin (1996), estudar as áreas de planície de inundação é importante para compreender o funcionamento dos sistemas lóticos, pois durante as inundações a água invade as planícies e na seca, o fluxo de base que passa por ela é o principal componente da descarga. O autor ainda coloca que partes dos materiais que formam essas regiões são provenientes de um processo de deposição do material suspenso no fluxo ou em águas represadas.

Nelson et al. (1993) encontraram diferenças significativas nas concentrações de Carbono Orgânico Dissolvido (DOC) dos solos de duas bacias hidrográficas adjacentes australianas, este fato foi atribuído à presença, em uma das bacias, de uma parcela de solos com origem distinta. Segundo os autores, as concentrações de DOC em rios são altas quando a água entra em contato direto com a vegetação ou quando ela se move sob terrenos que tem baixa capacidade de adsorção, sendo que essa última tem sido atribuída a presença de óxidos de ferro e alumínio e de fração argilosa.

Considerando a descrição das bacias hidrográficas dos ribeirões do Moquém e Água Clara e de suas propriedades apresentadas no capítulo 2 do presente trabalho, este capítulo apresenta o levantamento de características do solo/material parental que compõe a planície de inundação nos trechos estudados dos ribeirões do Moquém e Água Clara. Para isso foram analisadas características físicas e químicas dos testemunhos de perfis de sondagem em poços perfurados nas proximidades dos canais.

## 4.1 – Material e métodos

### 4.1.1 - Amostragem

Foram perfurados poços para amostragem e acompanhamento do nível de água subterrânea conforme descrito no capítulo 3. No momento da perfuração dos poços foram retiradas amostras dos testemunhos (perfil de sondagem). As amostras foram coletadas da superfície ao fundo dos poços à medida que eram observadas diferenças de coloração ou texturais no material retirado. Como a profundidade total e as características do material variavam entre os poços, a quantidade de amostras obtidas foi a seguinte: três amostras de cada um dos poços do ribeirão Água Clara e; cinco amostras dos poços 1 e 2, quatro do poço 3 e três dos poços 4 e 5 no ribeirão do Moquém.

### 4.1.2 Variáveis físicas e químicas

A tabela 4.1 apresenta a listagem das variáveis físicas e químicas determinadas nas amostras retiradas dos perfis de sondagem. A utilização das unidades  $\text{mg.kg}^{-1}$  para o fósforo total e  $\text{g.kg}^{-1}$  para as demais variáveis seguiu as recomendações de Batista e Cordeiro (1998) que sugeriram a implantação do Sistema Internacional de Unidades na área de química de fertilidade do solo para a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) do Acre.

Tabela 4.1 - Variáveis físicas e químicas determinadas nos testemunhos dos perfis de sondagem, na planície de inundação, dos ribeirões Água Clara e do Moquém.

Variável	Unidade	Técnica	Referência Bibliográfica
Fósforo total	$\text{mg.kg}^{-1}$	Incineração	Andersen (1976)
Nitrogênio orgânico (kjeldhal)	$\text{g.kg}^{-1}$	Titulometria	APHA; AWWA; WEF (1995)
Cálcio Magnésio Potássio Sódio Ferro	$\text{g.kg}^{-1}$	Digestão da amostra Espectrofotometria de Absorção Atômica	LEITE (2002) APHA; AWWA; WEF (1995)
Granulometria	%	Peneiramento	ABNT (1968) MB -32

### **4.1.3 – Manipulação das amostras**

As amostras para a determinação do nitrogênio, fósforo e íons dos sedimentos, antes da retirada das porções necessárias para a realização das análises, foram: (1) secas em estufa a 60°C por 24 horas e (2) maceradas e peneiradas (malha 2 mm).

Para a determinação dos íons foi retirada 1g de cada amostra. Esse material foi submetido a uma digestão com 25 mL de Ácido Sulfúrico (0,1 M) e, posteriormente, acrescido de água destilada até completar 100 mL, conforme descrito em Leite (2002). Esse procedimento disponibiliza os íons fracamente ligados. Essas amostras foram ainda submetidas a uma diluição (1:1).

Na obtenção das frações granulométricas, as amostras foram manipuladas conforme as recomendações das normas da ABNT – MB 32.

### **4.1.4 – Análise dos resultados**

Inicialmente, as amostras dos testemunhos foram analisadas individualmente onde se procurou observar possíveis diferenças entre as amostras obtidas em cada poço (diferentes camadas). Em seguida, foram analisadas a partir das médias entre as diferentes camadas dos poços, buscando avaliar as semelhanças e diferenças obtidas entre as amostras nos dois ribeirões.

## **4.2 – Resultados e considerações**

As figuras 4.1 e 4.2 apresentam os teores de nitrogênio dos testemunhos nos ribeirões Água Clara e Moqué, respectivamente.

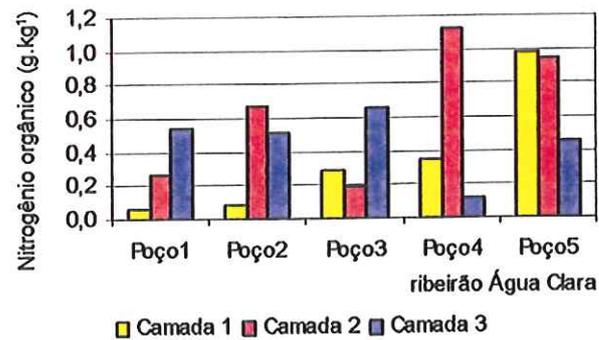


Figura 4.1- Teores de nitrogênio orgânico (g.kg<sup>-1</sup>) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

No ribeirão Água Clara, os teores de nitrogênio orgânico dos testemunhos foram distintos nas diferentes camadas. No poço 5, ocorreu uma diminuição dos teores de nitrogênio conforme aumentava-se a profundidade; no poço 4, a última camada dos testemunhos apresentou os menores teores. Os teores de nitrogênio orgânico dos testemunhos do ribeirão Água Clara, variaram entre 0,06 g.kg<sup>-1</sup> na camada 1 do poço 1 e 1,13 g.kg<sup>-1</sup>, na camada 2 do poço 4.

No ribeirão do Moquém, com exceção do poço 2, as camadas iniciais apresentaram os maiores teores de nitrogênio. Os teores de nitrogênio nos testemunhos oscilaram entre 0,03 g.kg<sup>-1</sup> na camada 3 do poço 4 e 5,59 g.kg<sup>-1</sup> na camada 1 do poço 3.

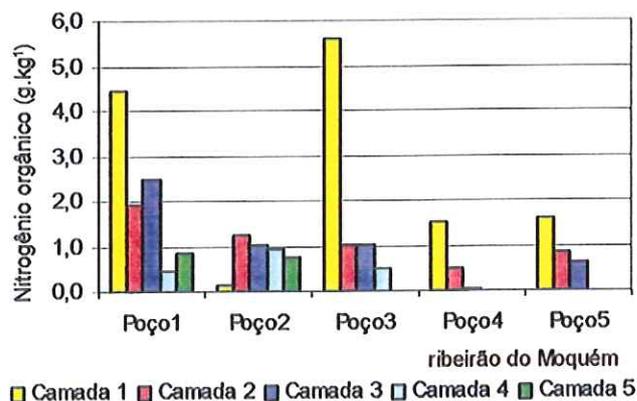


Figura 4.2 - Teores de nitrogênio orgânico (g.kg<sup>-1</sup>) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

As figuras 4.3 e 4.4 apresentam os teores de fósforo dos testemunhos nos ribeirões Água Clara e Moquém, respectivamente.

Os teores de fósforo nos testemunhos do ribeirão Água Clara ficaram entre  $0,2 \text{ mg.Kg}^{-1}$  na camada 3 do poço2 e  $0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$  na camada 2 do poço 4. Não foi possível distinguir um padrão de distribuição dos teores de fósforo nas diferentes camadas entre os poços.

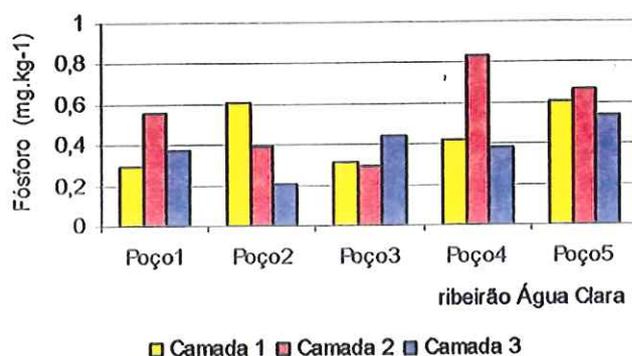


Figura 4.3- Teores de fósforo ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

No ribeirão do Moquém, os teores de fósforo dos testemunhos foram superiores às encontradas no Água Clara, e oscilaram entre  $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  na primeira camada do poço 3 e  $1,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  na segunda camada dos poços 4 e 5. Foi possível observar que ocorreu uma diminuição das quantidades de fósforo conforme a profundidade das amostras.

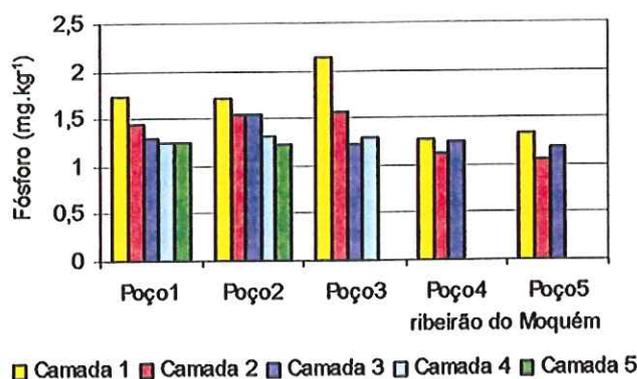


Figura 4.4 - Teores de fósforo ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

A presença da faixa de vegetação ciliar pode ter sido um dos fatores que contribuiu para os teores mais elevados tanto de fósforo como de nitrogênio no ribeirão do Moquém, uma vez que a queda de folhas sustenta a formação de serrapilheira. Os teores mais elevados nas camadas superficiais e a aparente diminuição com a profundidade corroboram com a afirmação acima.

Congdon e Herbohn (1993) estudaram a ciclagem de nutrientes em áreas florestadas e desflorestadas (em diferentes estágios de regeneração) em Queensland (Austrália), os autores encontraram maiores teores de fósforo e nitrogênio nas amostras de superfície e nas de áreas não perturbadas. Observaram, ainda, altas correlações entre as concentrações de fósforo e nitrogênio e a perda de material durante a ignição. Nesta pesquisa, os teores de nitrogênio orgânico Kjeldhal oscilaram entre 0,42 e 0,06% e as de fósforo disponível entre 17,9 e 2,0  $\text{mg.kg}^{-1}$ , assim, os teores obtidos estiveram próximos ao limite inferior dos obtidos por Congdon e Herbohn (op.cit.).

Bubel (1998) avaliou os teores de nutrientes (nitrogênio e fósforo) nos sedimentos do rio do Peixe, encontrando na maior parte das estações de amostragem concentrações de nitrogênio e fósforo na mesma faixa das apresentadas no presente trabalho, com exceção das estações de amostragem que sofriam alterações antrópicas ou diminuição do fluxo (baixo curso) aonde as concentrações eram superiores.

Os íons das amostras dos testemunhos, mesmo com a diluição realizada (conforme item 4.1.3) em algumas amostras, especialmente no ribeirão do Moquém, apresentaram teores superiores aos limites de detecção estabelecidos pelas concentrações dos padrões utilizados.

Os teores de ferro ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) no ribeirão Água Clara (figura 4.5) apresentaram distribuição desigual entre as camadas amostradas, oscilando entre  $0,04 \text{ g.kg}^{-1}$  na terceira camada do poço 3 e  $2,76 \text{ g.kg}^{-1}$  na terceira camada do poço 1. No ribeirão do Moquém (figura 4.6), os teores de ferro foram elevados, especialmente nas primeiras camadas amostradas, sendo que o menor valor nessa camada ocorreu no poço 3 ( $2,09 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e o maior no poço 2 ( $7,15 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Excluindo-se o poço 3, os teores diminuíram nas camadas inferiores, com um mínimo de  $0,83 \text{ g.kg}^{-1}$  registrado no poço 5.

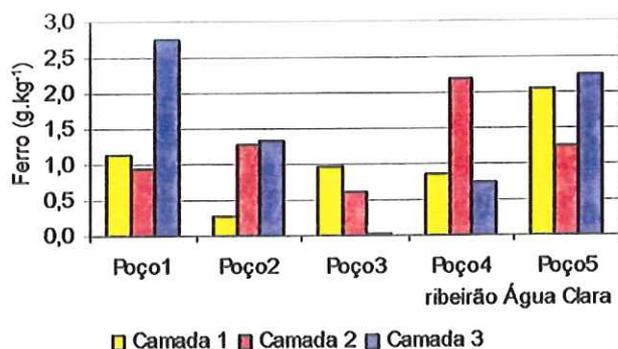


Figura 4.5 - Teores de ferro ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

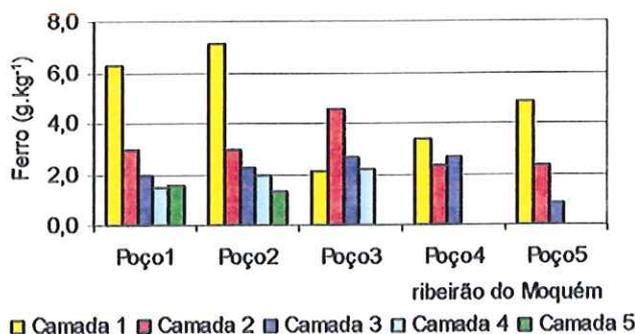


Figura 4.6 - Teores de ferro ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

Nos testemunhos do ribeirão Água Clara (figura 4.7) os teores de magnésio variaram de  $0,02 \text{ g.kg}^{-1}$  no poço 2 (primeira camada) até  $0,16 \text{ g.kg}^{-1}$  no poço 5 (também na primeira camada). A maior parte dos teores registrados (66,7%) foi inferior ou igual a  $0,05 \text{ g.kg}^{-1}$ . No ribeirão do Moquém (figura 4.8) os teores de magnésio ficaram acima do limite de detecção ( $0,4 \text{ g.kg}^{-1}$ ), com exceção da segunda e terceira camadas do poço 3, onde foram de  $0,36$  e  $0,31 \text{ g.kg}^{-1}$ , respectivamente.

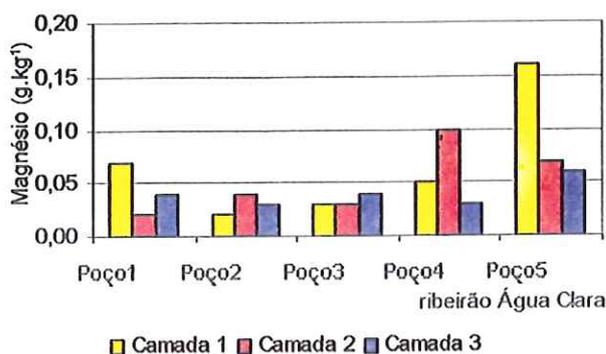


Figura 4.7 - Teores de magnésio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

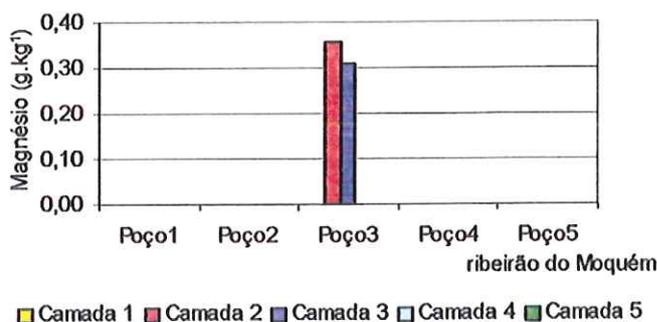


Figura 4.8 - Teores de magnésio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

Observando os teores de sódio no ribeirão Água Clara (figura 4.9) percebe-se que a variação entre os poços e entre as camadas foi pequena nos poços 1 e 2, sendo que as primeiras camadas apresentaram  $0,06 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $0,05 \text{ g.kg}^{-1}$  de sódio, nessa ordem; nas demais camadas de todos os poços os teores foram iguais a  $0,04 \text{ g.kg}^{-1}$ .

No ribeirão do Moquém, os teores de sódio nos testemunhos (figura 4.10) assim como para os de magnésio, ficaram acima do limite de detecção ( $0,4 \text{ g.kg}^{-1}$ ) em algumas amostras. Os menores teores ocorreram na primeira camada dos poços 1 e 3 ( $0,07 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e o maior teor ocorreu na terceira camada do poço 2.

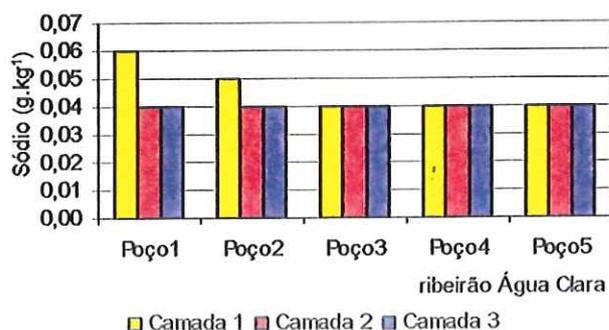


Figura 4.9 - Teores de sódio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

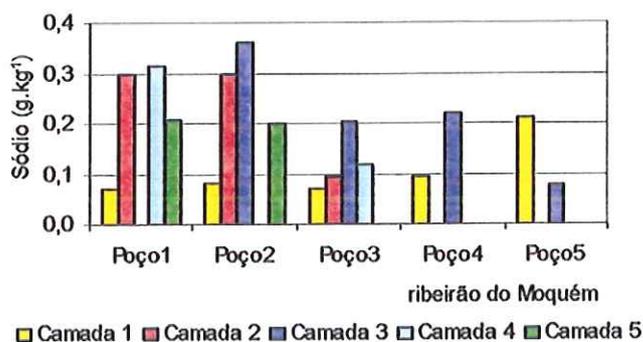


Figura 4.10 - Teores de sódio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

No ribeirão Água Clara (figura 4.11), os teores de potássio variaram entre  $0,01$  e  $0,03 \text{ g.kg}^{-1}$ . No ribeirão do Moquém (figura 4.12), os teores de potássio não foram determinados nas amostras provenientes das camadas 1 e 4 do poço 1, 5 dos poços 2 e 3, além da camada 3 do poço 4. Nas demais amostras os teores oscilaram entre  $0,1 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $0,4 \text{ g.kg}^{-1}$ .

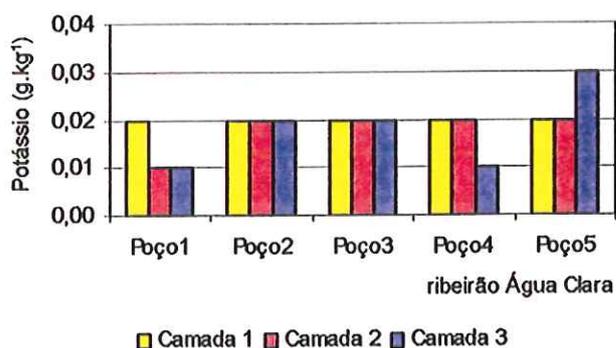


Figura 4.11 - Teores de potássio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

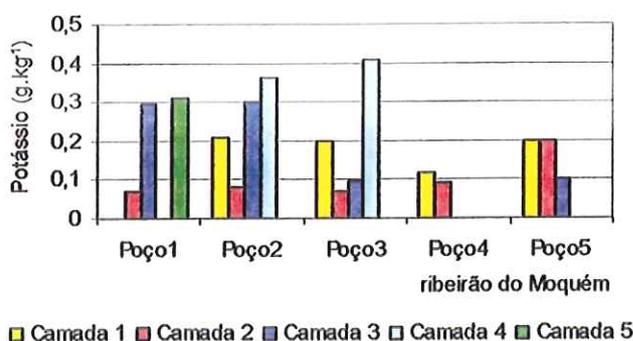


Figura 4.12 - Teores de potássio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

Comparando-se com os demais íons, os teores de cálcio foram desiguais entre os poços. Observando-se os valores obtidos no ribeirão Água Clara (figura 4.13), temos: no poço 5 ocorreram variações entre 0,15 e 0,59  $\text{g.kg}^{-1}$ , enquanto no poço 3 entre 0,03 e 0,06  $\text{g.kg}^{-1}$ . No ribeirão do Moquém (figura 4.14), os teores de cálcio foram mais elevados, novamente como aconteceu com os demais íons acima dos limites de detecção. Das amostras determinadas nesse ribeirão, a que apresentou menor teor foi a da terceira camada do poço 3 (0,55  $\text{g.kg}^{-1}$ ), e o maior ocorreu na terceira camada do poço 4 (2,7  $\text{g.kg}^{-1}$ ).

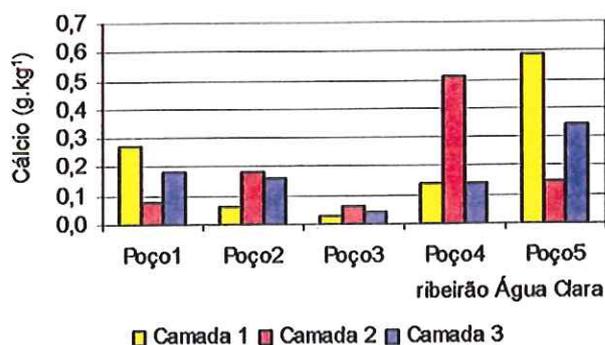


Figura 4.13 - Teores de cálcio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

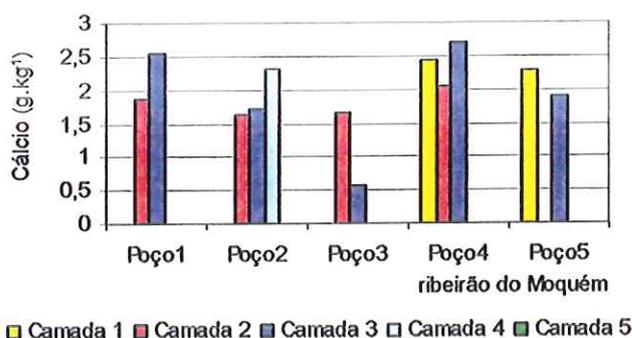


Figura 4.14 - Teores de cálcio ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

As médias dos teores das variáveis nos testemunhos dos ribeirões Água Clara e do Moquém, obtidas entre as camadas amostradas são apresentadas nas tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente. No ribeirão do Moquém, os teores muitas vezes não foram determinados por serem superiores aos limites de detecção, assim, o número de amostras consideradas para a obtenção das médias foi igual ao número de amostras onde os teores foram detectados. Esse fato destaca o ribeirão do Moquém, uma vez que os teores de todas as variáveis determinadas podem ser considerados superiores nesse último.

O teor médio de fósforo no ribeirão Água Clara foi mais elevado no poço 5 ( $\bar{X} = 0,60 \text{ mg.kg}^{-1}$ ;  $cv = 0,10$ ); no ribeirão do Moquém, o mínimo ocorreu no poço 5 ( $\bar{X} = 1,19 \text{ mg.kg}^{-1}$ ;  $cv = 0,12$ ). A diferenciação, entre os máximos no ribeirão Água Clara e mínimos no ribeirão do Moquém pode ser vista nas demais variáveis determinadas, com exceção ao nitrogênio orgânico e ao

potássio. O menor teor médio de ferro do ribeirão do Moquém ocorreu no poço 5 ( $\bar{X} = 2,7 \text{ g.kg}^{-1}$ ;  $cv = 0,76$ ) e , no Água Clara o maior teor médio foi de  $1,85 \text{ g.kg}^{-1}$   $cv = 0,29$ , no poço 5. Com relação aos teores médios de sódio temos: máximo do ribeirão Água Clara igual a  $0,05 \text{ g.kg}^{-1}$  ( $cv = 0,25$ ) no poço 1 e, mínimo do ribeirão do Moquém igual a  $0,11 \text{ g.kg}^{-1}$  ( $cv = 0,15$ ) no poço 3. Quanto ao cálcio: máximo do ribeirão Água Clara de  $0,36 \text{ g.kg}^{-1}$  ( $cv = 0,61$ ) no poço 5 e, mínimo do ribeirão do Moquém de  $1,1 \text{ g.kg}^{-1}$  ( $cv = 0,71$ ) no poço 3.

Tabela 4.2 – Teores médios de fósforo, nitrogênio, ferro, magnésio, sódio, potássio e cálcio nos testemunhos do ribeirão Água Clara (coeficientes de variação - em itálico).

rib. Água Clara	Poço1	Poço2	Poço3	Poço4	Poço5
Fósforo ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	0,41	0,40	0,35	0,55	0,60
	<i>0,33</i>	<i>0,51</i>	<i>0,23</i>	<i>0,46</i>	<i>0,10</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>
Nitrogênio ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,29	0,42	0,38	0,54	0,80
	<i>0,85</i>	<i>0,72</i>	<i>0,64</i>	<i>0,99</i>	<i>0,37</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>
Ferro ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	1,62	0,96	0,54	1,27	1,85
	<i>0,62</i>	<i>0,62</i>	<i>0,88</i>	<i>0,63</i>	<i>0,29</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>
Magnésio ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,04	0,03	0,03	0,06	0,10
	<i>0,58</i>	<i>0,33</i>	<i>0,17</i>	<i>0,60</i>	<i>0,57</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>
Sódio ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
	<i>0,25</i>	<i>0,13</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>
Potássio ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,29	0,17	0,07	0,21	0,20
	<i>0,43</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,35</i>	<i>0,25</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>
Cálcio ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,18	0,13	0,04	0,26	0,36
	<i>0,54</i>	<i>0,48</i>	<i>0,35</i>	<i>0,81</i>	<i>0,61</i>
	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>	<i>n=3</i>

Tabela 4.3 – Teores médios de fósforo, nitrogênio, ferro, magnésio, sódio, potássio e cálcio nos testemunhos do ribeirão do Moquém (coeficientes de variação - em itálico).

rib. Moquém	Poço1	Poço2	Poço3	Poço4	Poço5
Fósforo (mg.kg <sup>-1</sup> )	1,40 <i>0,14</i> n=5	1,47 <i>0,13</i> n=5	1,56 <i>0,27</i> n=4	1,21 <i>0,07</i> n=3	1,19 <i>0,12</i> n=3
Nitrogênio (g.kg <sup>-1</sup> )	2,03 <i>0,78</i> n=5	0,81 <i>0,53</i> n=5	2,02 <i>1,18</i> n=4	0,68 <i>1,13</i> n=3	1,02 <i>0,50</i> n=3
Ferro (g.kg-1)	2,9 <i>0,70</i> n=5	3,1 <i>0,74</i> n=5	2,9 <i>0,40</i> n=4	2,8 <i>0,19</i> n=3	2,7 <i>0,76</i> n=3
Magnésio (g.kg-1)	* *	* *	0,33 <i>0,10</i>	* *	* *
Sódio (g.kg-1)	n=0 0,22 <i>0,50</i> n=4	n=1 0,24 <i>0,51</i> n=4	n=2 0,12 <i>0,48</i> n=3	n=0 0,16 <i>0,56</i> n=2	n=0 0,15 <i>0,64</i> n=2
Potássio (g.kg-1)	0,23 <i>0,59</i> n=3	0,24 <i>0,51</i> 4,00	0,19 <i>0,79</i> n=4	0,11 <i>0,15</i> n=2	0,17 <i>0,35</i> n=3
Cálcio (g.kg-1)	2,21 <i>0,22</i> n=2	1,89 <i>0,20</i> n=3	1,10 <i>0,71</i> n=2	2,40 <i>0,13</i> n=3	2,10 <i>0,13</i> n=2

\*Teores superiores ao limite de detecção.

Segundo Suguio (1982), as análises granulométricas são à base da descrição física dos sedimentos, além disso, a granulometria relaciona-se diretamente com a permeabilidade dos sedimentos.

A distribuição granulométrica dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara esta apresentada na figura 4.15. As frações Areia Fina e Areia Muito Fina foram as que mais contribuíram para a distribuição. A soma dessas duas frações oscilou entre 41,1 % na camada 1 do poço 2 (onde a contribuição da areia média foi de 31,7 %) e, 89,9% na camada 3 do poço 5. Nesse ribeirão a fração silte+argila representou 32,3% da distribuição granulométrica da primeira camada do poço 3 e 2,3% da primeira camada do poço 2.

A figura 4.16 apresenta a distribuição granulométrica dos testemunhos do ribeirão do Moquém. Silte+argila foi a fração mais representativa desses testemunhos, distinguindo-se dos do ribeirão Água Clara. A contribuição das frações silte+argila representou 97,6 % da amostra proveniente da camada 3 do poço 5 e, 69,3% da camada 3 do poço 1. O somatório de todas as frações granulométricas, excluindo a fração silte+argila, apresentou uma contribuição máxima de 30,7 % na camada 3 do poço 1 e, mínima de 2,5% na camada 3 do poço 5.

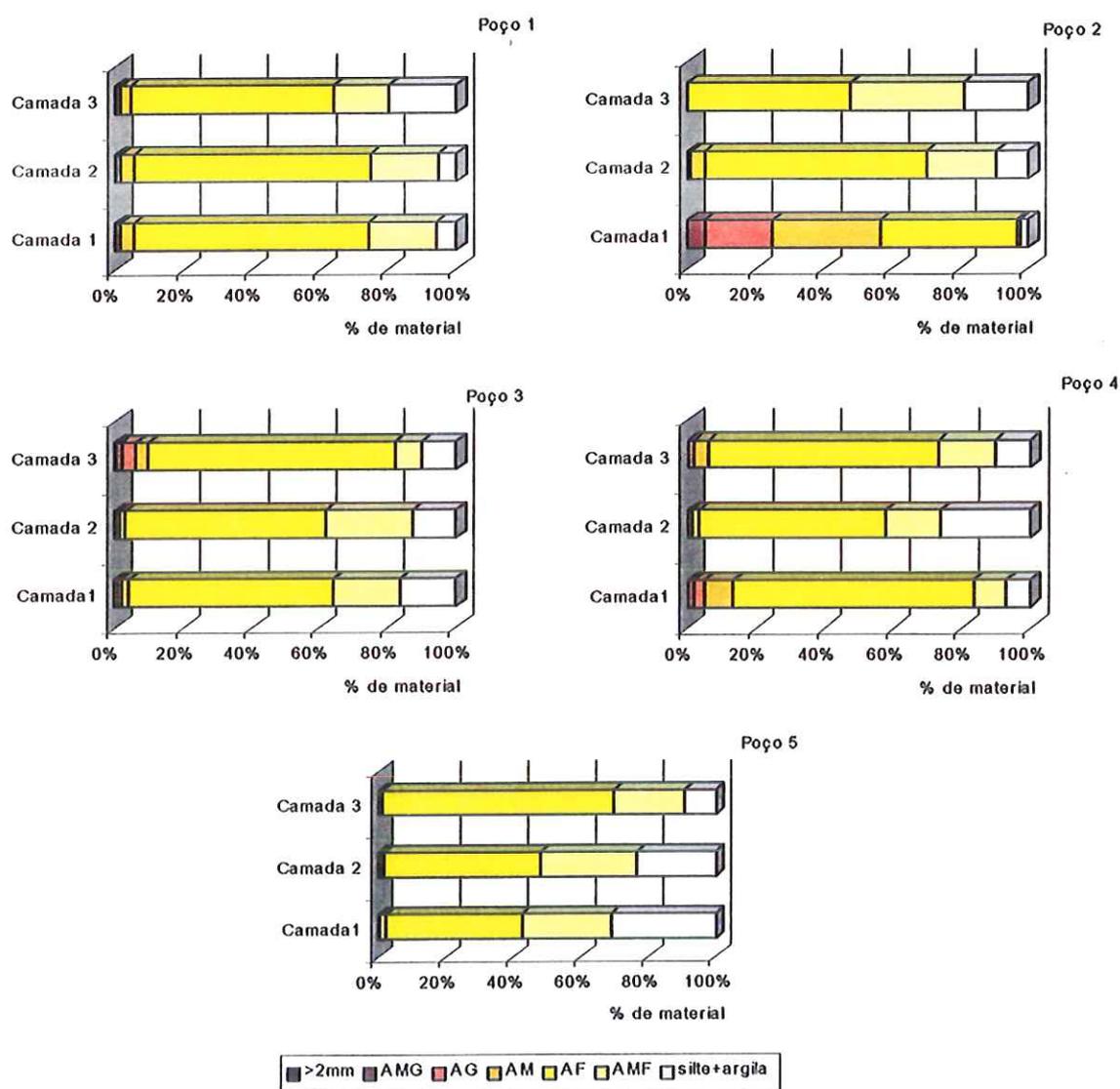


Figura 4.15 – Composição granulométrica dos testemunhos dos poços do ribeirão Água Clara.

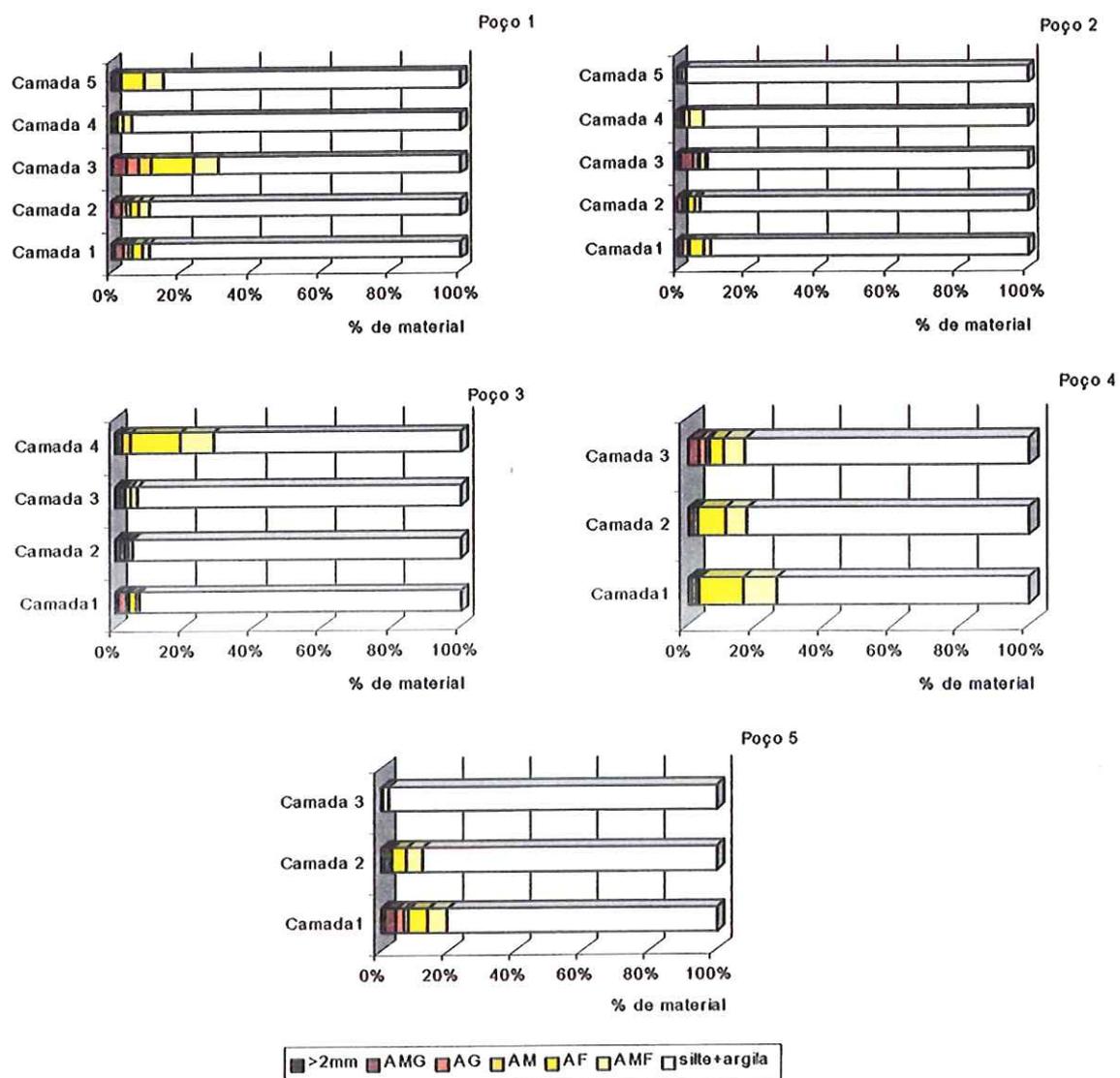


Figura 4.16 – Composição granulométrica dos testemunhos dos poços do ribeirão do Moquém.

A composição granulométrica dos sedimentos do leito dos ribeirões do Moquém e Água Clara foi determinada durante a caracterização limnológica do rio do Peixe. Esse trabalho caracterizou os sedimentos do ribeirão do Moquém pela existência de uma fração de cascalho (superior a 2mm) e pela fração silte+argila. No ribeirão Água Clara as maiores frações granulométricas são de areia média e areia fina (CESP & FBDS, 1998).

### 4.3 – Considerações finais

No capítulo 2 da presente pesquisa as duas bacias hidrográficas estudadas foram diferenciadas de acordo com a cobertura geológica e as feições morfológicas. Evidentemente foram essas características que determinaram as distinções encontradas entre as amostras dos dois ambientes estudados.

As análises físicas e químicas dos testemunhos dos ribeirões do Moquém e Água Clara evidenciaram as diferenças entre os ambientes estudados. Apesar da determinação dos íons ter sido prejudicada pelas limitações dos métodos, os resultados indicaram a maior quantidade de materiais agregados aos testemunhos do ribeirão do Moquém, onde, na maior parte das amostras esteve em torno de dez vezes superior às do ribeirão do Água Clara. Essas características irão refletir nas composição físico-química das águas nos ribeirões (conforme será avaliado na capítulo 5), sendo interessante notar que ao mesmo tempo que o ribeirão do Moquém apresentou os maiores teores nas variáveis analisadas, esse ambiente também possui a maior parte do seu material na fração silte-argila que favorece a adsorção de materiais.

A análise das frações granulométricas mostram a maior quantidade de materiais na porção silte-argila nas amostras do ribeirão do Moquém, assim a permeabilidade dos sedimentos desse ambiente é inferior a dos sedimentos do Água Clara, onde as frações predominante são areia fina e muito fina. Esses dados auxiliam na compreensão das maiores vazões provenientes do fluxo de base apresentadas pelo ribeirão Água Clara, conforme apresentado no capítulo 3.

A maior permeabilidade dos sedimentos do ribeirão Água Clara também favorece o desenvolvimento da zona hiporrêica (conforme descrito no capítulo 1), em extensão e continuidade. No ribeirão do Moquém, os sedimentos muito finos, podem colmatar-se e impedir a transmissão da água, dessa maneira mesmo que em algumas regiões exista a zona hiporrêica essa não apresenta continuidade e apresentam extensão limitada.

#### 4.4 – Referências bibliográficas

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (1968). MB-32 - Análise Granulométrica de Solos - Método Brasileiro. Rio de Janeiro.
- ANDERSEN, J. M. (1976). An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. Water Research, vol 10, p 329 - 331.
- APHA, AWWA; WEF (1995). Standard methods: for the examination of water and wastewater, 19ed. Washington, American Public Health Association.
- BATISTA, E.M.; CORDEIRO, D.G. (1998) Recomendações para implementação do sistema internacional de unidades na área de química de fertilidade do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisa Florestal do Acre. Instruções Técnicas, n.13, dez, p.1-4.
- BUBEL, A.P.M. (1998) Caracterização limnológica do rio do Peixe (microrregião geográfica de Botucatu-SP), em duas épocas do ano (períodos de seca e chuva). 217p.. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CESP & FBDS (1998) Caracterização limnológica da bacia hidrográfica do rio do Peixe. /Apresentado ao Convênio CESP & FBDS - Plano de recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio do Peixe./ Relatório Final.
- CONGDON, R.A.; HERBOHN, J.L. (1993) Ecosystem Dynamic of Disturbed and Undisturbed Sites in North Queensland Wet Tropical Rain Forest. I. Floristic Composition , Climate and Soil Chemistry. Journal of Tropical Ecology. v. 9, n. 3, p. 349-363. (Aug)
- LEITE, M.A. (2002) Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do Reservatório de Salto Grande, Americana – SP. 215p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2002
- LEWIN, J. (1996) Floodplain Constructions and Erosion. IN: PETTS, G.; CALOW, P. (Ed.) River Flows and Channel Forms. London, Blackwell Science. Cap.10, p.203-220.

- NELSON, P.N.; BALDOCK, J.A.; OADES, J.M. (1993) Concentration and composition of dissolved organic carbon in streams in relation to catchment soil properties. Biogeochemistry. v. 19, p. 27-50. Netherlands
- SUGUIO, K. (1982) Rochas sedimentares – Propriedades - Gênese – Importância econômica. 1<sup>o</sup> reimpressão, São Paulo: Edgard Blüncher Ltda. 500 p.

## **CAPÍTULO 5 – INVENTÁRIO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS (NAS PROXIMIDADES DO CANAL) DOS RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA**

O clima, a geologia, a topografia, o tipo de solos e a vegetação da bacia hidrográfica contribuem para determinar a quantidade, a qualidade e modo pela qual as águas atingem o canal. A água que percorre os canais tem origem, a princípio, na precipitação, mas em um dado tempo ou espaço deriva de uma mistura da água superficial, água do solo e subterrânea (POFF et al. 1997).

Em um rio as características químicas da água refletem a combinação de diversos fatores, tais como: a proporção entre a água precipitada e as águas de escoamento (superficial e subterrâneo), o metabolismo interno do rio, a entrada de tributários, influências antrópicas, variações em decorrência das vazões, entre outras (MEYBECK et al., 1996a).

A qualidade das águas subterrâneas depende, em um primeiro momento, das características dos aquíferos percorridos. Em um segundo, de fatores externos como o clima, influências antrópicas e da água de recarga. De maneira geral, as águas subterrâneas contêm uma quantidade de sais dissolvidos superior as superficiais, uma vez que os processos de lixiviação dos solos e rochas e os movimentos das águas através dos aquíferos favorecem a dissolução dos sais na água (SANTOS, 1997).

Para Hynes (1983) como a água subterrânea representa grande parte da água que percorre os canais nos períodos de baixa precipitação devido à contribuição do fluxo de base, maior atenção deve ser dada a esse sistema nos estudos sobre ecologia lótica.

Os ecossistemas lóticos e ripários podem ser vistos como a fusão de diversos subsistemas, em três dimensões: longitudinal, lateral e vertical. A primeira dimensão é composta pela diversidade de ambientes criados dentro do canal que tem como principal diferencial a corrente. A segunda, pelos sistemas laterais e a faixa ripária diferenciados através do fluxo de base, da periodicidade das inundações e pelo tipo de vegetação ou ocupação. Finalmente, a terceira dimensão é a vertical que engloba a região dos sedimentos saturados abaixo do canal e das laterais, que muitas vezes, é

definida como zona hiporrêica. O movimento da água é o principal mecanismo de interação entre esses sistemas, e é dirigido primariamente pela condutividade hidráulica dos sedimentos e pela formação do gradiente hidráulico (GRIMM, 1996).

A estrutura física dos ambientes superficiais e subterrâneos diferencia os processos químicos e biológicos que ocorrem na zona hiporrêica. O metabolismo do sistema superficial é predominantemente aeróbio devido as altas concentrações de oxigênio incorporadas ao sistema através das trocas com o ambiente aéreo e da produção primária. Essa última é estimulada pela presença de luz, em locais onde o dossel não sombreia todo o sistema. A matéria orgânica alóctone constitui importante fonte de energia, assim, o sistema pode ser considerado como predominantemente heterotrófico. O fluxo de água, que encontra poucos impedimentos, funciona como o transportador de materiais. Nos sistemas subterrâneos (aqüíferos e zona hiporrêica) muitas vezes o metabolismo é anaeróbio, onde predominam os processos de decomposição, não ocorre penetração de luz e o fluxo de água é lento (JONES e HOLMES, 1996).

Considerando os apontamentos anteriores, o presente capítulo apresenta os resultados de um inventário das características químicas e físicas realizado nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões do Moquém e Água Clara, visando investigar as semelhanças e diferenças nas variáveis e nas flutuações dessas, em função do tempo.

### **5.1 – Materiais e método**

Segundo Meybeck et al. (1996b), o desenho amostral das águas superficiais e subterrâneas é determinado pelo objetivo da pesquisa. Para a identificação de concentrações máximas nas águas superficiais deve-se caracterizar as entradas mais representativas de materiais no corpo de água (fontes difusas e pontuais). No caso de entradas pontuais, deve-se observar o regime de lançamento desses efluentes. No que se refere a fontes difusas, o período de maior precipitação ou de cheias é mais adequado para a amostragem. Para Johnson et al. (1997), os valores máximos relativos a cada variável físico-química de um corpo de água são importantes, pois representam

o maior potencial observado da bacia hidrográfica no que se refere a perder nutrientes e sedimentos para o rio. Assim, as variações sazonais, em função do regime hidrológico, são importantes para a definição da freqüência de amostragem, em especial, em rios onde ocorrem amplitudes elevadas nos valores de descarga, pois estas implicam em uma dificuldade de definição de um desenho amostral representativo (MEYBECK et al., 1996b).

Para Dahm e Valett (1996), uma maneira simples para a amostragem das águas da zona hiporrêica é a perfuração de poços na planície de inundação, nas proximidades do canal ativo, sendo importante realçar que devido a dificuldade da determinação exata das regiões hiporrêicas, alguns poços podem estar amostrando águas subterrâneas com pequena, ou nenhuma, contribuição das águas do canal do rio. Por isso, seguindo estes autores, o presente trabalho utilizou o termo genérico água subterrânea para identificar a água amostrada na região dos sedimentos saturados da planície de inundação.

Assim, no presente trabalho foram realizadas amostragens durante quinze meses consecutivos (maio de 2000 a julho de 2001), complementadas por amostragens concentradas de três dias consecutivos nos períodos de seca e chuva, nas águas superficiais e subterrâneas na região do baixo curso dos ribeirões do Moquém e Água Clara. Os detalhes dos locais de amostragem e da freqüência amostral foram descritos no capítulo 3.

A Tabela 5.1 apresenta um sumário das variáveis físicas e químicas que foram determinadas neste trabalho e seus respectivos procedimentos amostrais.

Tabela 5.1 - Variáveis físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas e técnicas de determinação

Variável	Unidade	Amostras	Técnica	Referência Bibliográfica	Observações
Condutividade elétrica (amostras em triplicatas)	mS.cm <sup>-1</sup>	P/S	Eletrodo HORIBA U-10	*	C
Oxigênio dissolvido (amostras em triplicata)	mg.L <sup>-1</sup>	P/S	Eletrodo HORIBA U-10	*	C
Temperatura (amostras em triplicata)	°C	P/S	Eletrodo HORIBA U-10	*	C
pH (amostras em triplicata)	*	P/S	Eletrodo HORIBA U-10	*	C
Alcalinidade Total foi utilizada para o cálculo de CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	P/S	Titulação potenciométrica	GOLTERMAN et al. (1978) Formas de carbono: MACKERETH et al. (1978)	LC
<b>Nutrientes dissolvidos</b>		P/S			
Nitrogênio amoniacal	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	KOROLEFF (1976)	L/F/Co
Nitrito	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	MACKERETH et al. (1978)	L/F/Co
Nitrato	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	MACKERETH et al. (1978)	L/F/Co
Fosfato total	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	STRICKLAND & PARSONS (1960)	L/F/Co
Fosfato inorgânico	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	STRICKLAND & PARSONS (1960)	L/F/Co
Silicato reativo	mg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	GOLTERMAN et al. (1978)	L/F/Co
<b>Nutriente totais</b>					
Fósforo total	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria	APHA; AWWA; WEF (1995)	L/Co
Nitrogênio orgânico total (kjeldhal)	mg.L <sup>-1</sup>	P/S	Titulometria	APHA; AWWA; WEF (1995)	L/Co
Íons (sódio, cálcio, magnésio, potássio e ferro)	µg.L <sup>-1</sup>	P/S	Espectrofotometria de Absorção Atômica	APHA; AWWA; WEF (1995)	L/Re

Amostras: Poços (P), Superficial (S).

Observações -

A determinação de pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura nos poços foi realizada com a inserção do eletrodo diretamente no poço.

As amostras dos poços foram obtidas através de bombeamento, após o esvaziamento inicial.

Local de determinação: Campo (C), Laboratório de Campo (LC), Laboratório do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (L) e BIOTACE

Tratamento e conservação das amostras: Amostras filtradas (F), Filtrado (Fo), Congelamento (Co), Resfriamento (Re).

A multi-sonda HORIBA U-10 usada concomitantemente com a YSI 5556 MPS a partir de maio/01.

## 5.2 – Resultados e considerações – Caracterização física e química mensal.

O ribeirão Água Clara e seus poços apresentam águas com pH inferior a 7 (meio ácido). O poço 3 destacou-se por apresentar os valores mais baixos de pH, com máximo de 5,7 (dez/00) e mínimo de 4,4 (ago/00). No ribeirão do Moquém as águas superficiais apresentaram valores de pH acima de 7, com exceção ao mês de março/01 e na seção transversal de entrada em julho/00. Nos poços desse mesmo ribeirão as águas apresentaram-se com valores de pH próximos de 7, sendo assim considerados como neutros. Quando observamos conjuntamente os dois ribeirões é possível afirmar que as águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara apresentaram um caráter mais ácido (figuras 5.1 e 5.2).

Segundo Margalef (1983), a água em equilíbrio com o ar apresenta caráter ácido, o que possibilita a solubilização de diversos minerais proporcionando a elevação do seu pH e da sua alcalinidade.

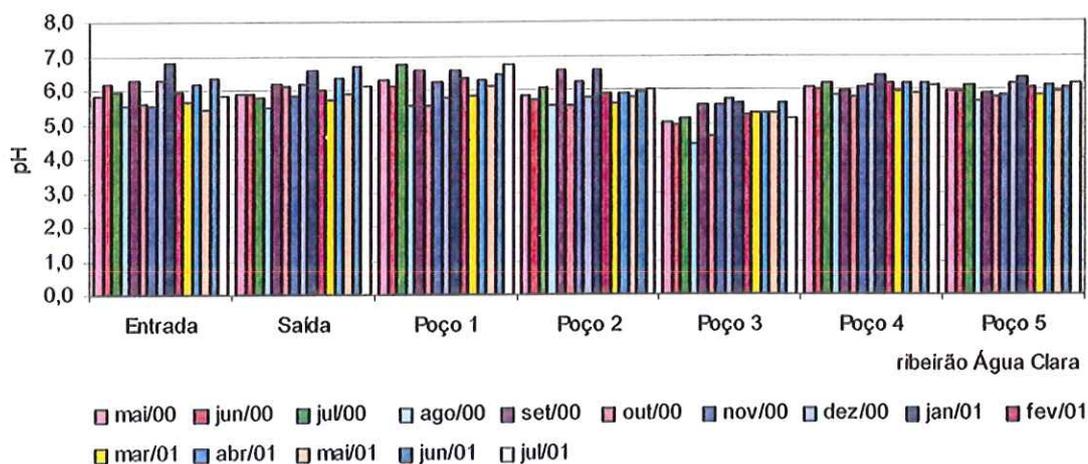


Figura 5.1 – Valores de pH das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

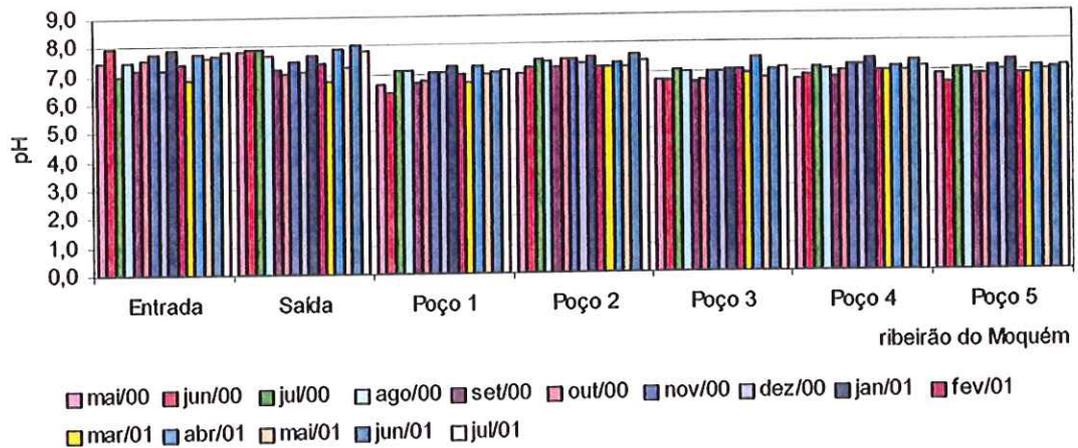


Figura 5.2 – Valores de pH das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

A tabela 5.2 apresenta os resultados da estatística descritiva de pH nos ribeirões do Moquém e Água Clara. As amplitudes nas águas superficiais do ribeirão Água Clara foram superiores às apresentadas pelo ribeirão do Moquém. Nas águas subterrâneas, de maneira geral, as amplitudes do ribeirão Água Clara também foram superiores as apresentadas pelo ribeirão do Moquém.

Tabela 5.2 – Mediana, amplitude, máximo e mínimo dos valores de pH, nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Mediana	Amplitude	Máximo	Mínimo
Entrada	5,9	1,4	6,8	5,4
Saída	6,0	1,2	6,7	5,5
Poço 1	6,3	1,2	6,8	5,5
Poço2	5,9	1,0	6,6	5,5
Poço 3	5,3	1,3	5,7	4,4
Poço 4	6,1	0,6	6,4	5,8
Poço 5	6,0	0,7	6,3	5,7
ribeirão do Moquém	Mediana	Amplitude	Máximo	Mínimo
Entrada	7,5	1,1	7,9	6,8
Saída	7,6	1,2	8,0	6,8
Poço 1	7,0	0,9	7,3	6,4
Poço2	7,3	0,6	7,6	7,0
Poço 3	7,0	0,9	7,5	6,6
Poço 4	7,1	0,7	7,4	6,7
Poço 5	7,0	0,8	7,3	6,6

No presente trabalho foram utilizados como referência alguns padrões de qualidade estabelecidos para rios de Classe II cujos usos desejados são restritivos (ver capítulo 2), conforme a Resolução CONAMA n. 20/86 (BRASIL, 1986). Esse documento determina que os valores de pH devem manter-se entre 6,0 e 9,0. Nas águas do ribeirão Água Clara valores de pH inferiores a 6,0 foram observados.

As condutividades, em  $\text{mS.cm}^{-1}$ , das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara e do ribeirão do Moquém estão apresentadas nas figuras 5.3 e 5.4, respectivamente. Tanto no ribeirão Água Clara como no do Moquém os valores de condutividade foram mais elevados nas águas subterrâneas, destacando-se o poço 3 do ribeirão Água Clara que apresentou valores de condutividade inferiores aos demais.

As condutividades foram mais elevadas no ribeirão do Moquém. As águas superficiais, apresentaram um máximo de  $0,58 \text{ mS.cm}^{-1}$  na seção transversal de saída em agosto/00, e um mínimo de  $0,12 \text{ mS.cm}^{-1}$  em março/01; nas águas subterrâneas o máximo foi de  $1,37 \text{ mS.cm}^{-1}$  no poço 4 em abril/01 e o mínimo de  $0,22 \text{ mS.cm}^{-1}$  no poço 3 na mesma época. No ribeirão Água Clara os valores de condutividade foram inferiores aos do Moquém, porém, como neste último, os valores de condutividade foram maiores nos poços. O valor máximo de condutividade encontrado no ribeirão Água Clara foi de  $0,75 \text{ mS.cm}^{-1}$  no poço 1 em janeiro/01 enquanto o mínimo foi de  $0,03 \text{ mS.cm}^{-1}$  no poço 3 em outubro/00, sendo que esse poço apresentou valores menores dos demais em todas as amostragens. Nas águas superficiais do ribeirão Água Clara os valores de condutividade foram da ordem de  $0,03 \text{ mS.cm}^{-1}$ . Também se pode observar que as amplitudes foram superiores no ribeirão do Moquém, possivelmente devido à superioridade dos valores absolutos (tabela 5.3).

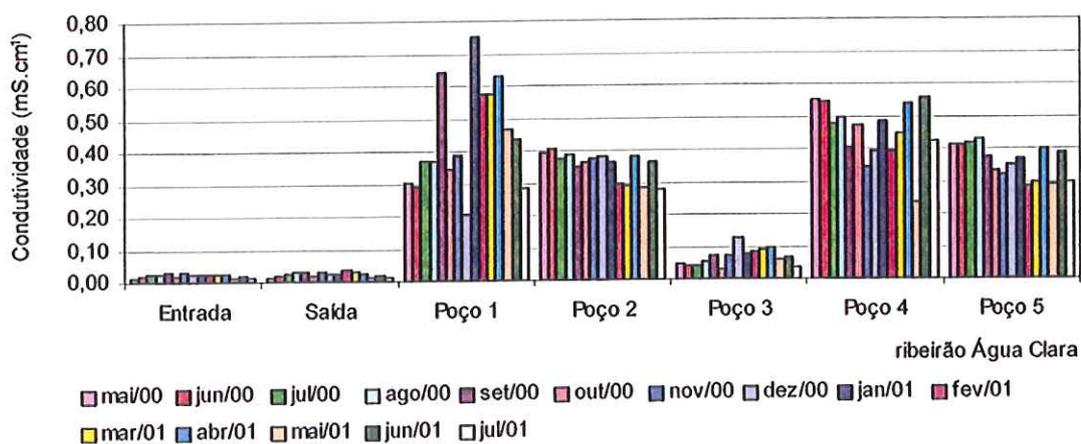


Figura 5.3. – Valores de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

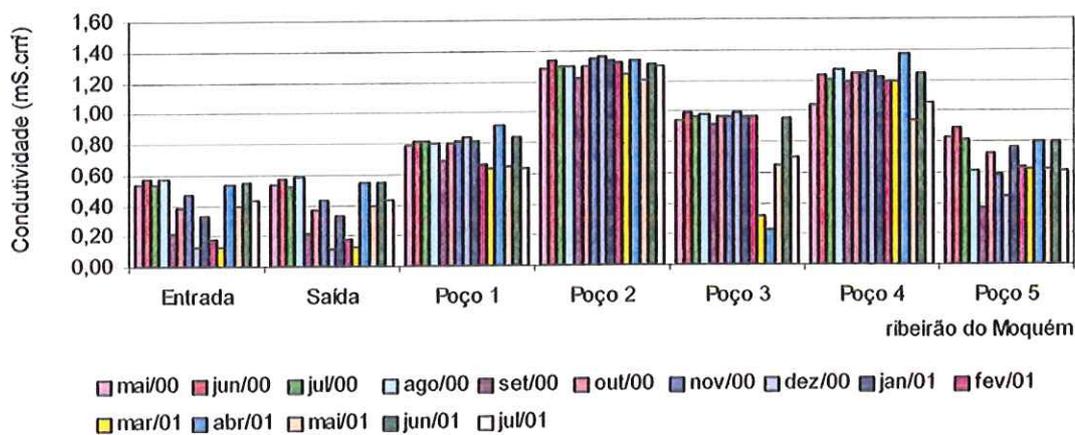


Figura 5.4. – Valores de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.3 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,27
Saída	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,30
Poço 1	0,44	0,55	0,75	0,21	0,16	0,36
Poço 2	0,35	0,12	0,40	0,28	0,04	0,12
Poço 3	0,07	0,09	0,13	0,03	0,03	0,39
Poço 4	0,45	0,32	0,56	0,24	0,09	0,19
Poço 5	0,36	0,14	0,43	0,29	0,05	0,15
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	0,40	0,45	0,57	0,12	0,16	0,42
Saída	0,39	0,47	0,58	0,12	0,17	0,42
Poço 1	0,77	0,28	0,91	0,63	0,09	0,12
Poço 2	1,30	0,16	1,36	1,20	0,05	0,04
Poço 3	0,83	0,77	0,99	0,22	0,25	0,30
Poço 4	1,19	0,43	1,37	0,93	0,11	0,09
Poço 5	0,68	0,52	0,89	0,37	0,15	0,22

A condutividade da água está diretamente relacionada com a quantidade de íons presentes, mas não identifica os íons, embora possa ser um forte indicador de poluição. Conhecendo as atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas dos dois ambientes estudados (pequena população e atividade mineradora), não foi possível atribuir à poluição os elevados valores de condutividade encontrados no ribeirão do Moquém. A condutividade apresentou valores elevados nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém e nas águas subterrâneas do ribeirão Água Clara. No primeiro, os maiores valores foram encontrados nas águas subterrâneas. Maiores condutividades nas águas subterrâneas podem ser atribuídas ao contato entre a água e o material parental, uma vez que se trata de um ambiente onde o fluxo é mais lento.

Quando observamos as diferenças de condutividade e pH entre os poços do ribeirão Água Clara, temos que destacar o poço 3, que apresentou valores mais próximos das águas superficiais. A característica que destaca o poço 3 dos demais é a sua altura em relação aos demais poços (o poço 3 não está instalado na área sujeita a inundações do ribeirão à). Um fator pode ser realçado com relação ao ganho ou a perda de materiais da água no sistema

subterrâneo é o tempo de contato entre essa é a litologia, que recebe influencia da condutividade hidráulica dos sedimentos como também pela declividade do trecho. Assim, ao investigar esse aspecto, um menor tempo de retenção das águas subterrâneas no poço 3 deve ser considerado. Para Brassington (1998) essas diferenças podem indicar que os poços estão amostrando águas de diferentes aquíferos.

Os valores de temperatura da água, no período de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém estão representados nas figura 5.5 e 5.6. No ribeirão Água Clara, a maior média de temperatura (22,6 °C) foi registrada no poço 4, com amplitude de 7,0 °C; a menor média (21,1 °C) foi obtida na seção transversal de saída, assim como a maior amplitude de 14,3°C. Em ambos os ribeirões, as amplitudes de temperatura no período de amostragem foram mais elevadas nas águas superficiais, bem como os menores valores absolutos (tabela 5.4).

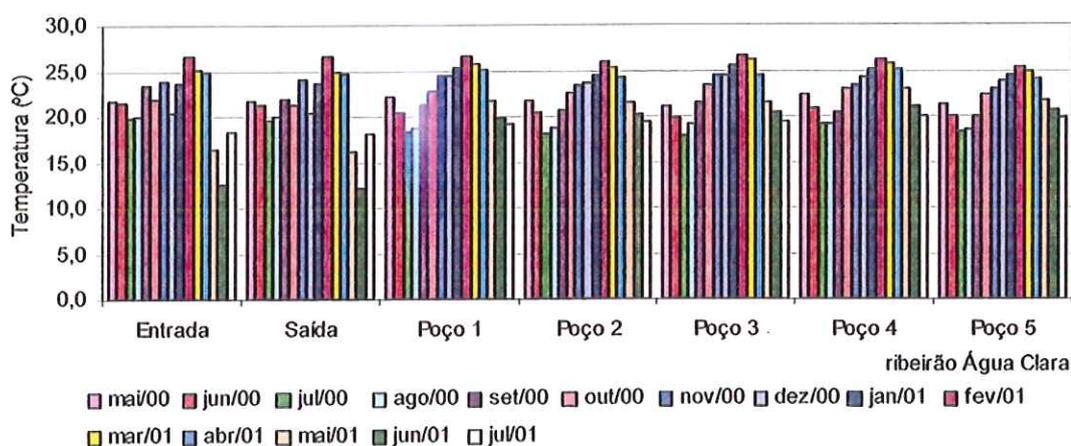


Figura 5.5 – Valores de temperatura (°C) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

Os valores de temperatura registrados no ribeirão do Moquém na média foram inferiores aos da Água Clara. O poço 3 apresentou a maior média de temperatura, 21,4 °C, com amplitude de 3,8 °C, enquanto a menor (19,4 °C) ocorreu nas seções transversais de entrada e saída, com amplitudes de 12,5 °C e 11,9 °C respectivamente (tabela 5.4).

Quando consideramos as temperaturas observadas durante todo o período de amostragem, o ambiente subterrâneo mostrou-se mais estável (com menores amplitudes), destacando-se os poços do ribeirão do Moquém que, provavelmente, em função da maior profundidade dos poços, apresentou as menores amplitudes. Com relação às águas superficiais o sombreamento que ocorre no ribeirão do Moquém pode ser o responsável por suas temperaturas inferiores às do ribeirão Água Clara.

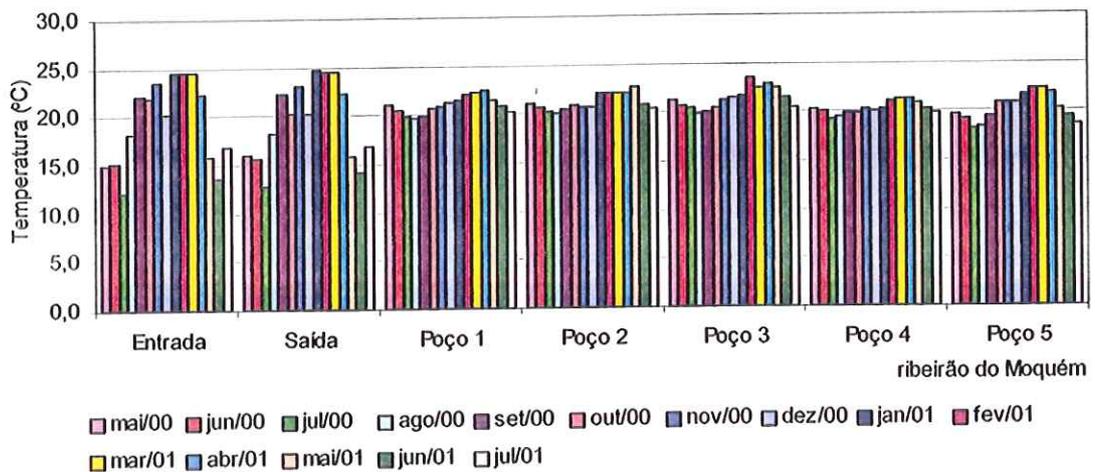


Figura 5.6 – Valores de temperatura (°C) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.4 – Média, amplitude, máximo, mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão dos valores de temperatura (°C), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	21,4	14,1	26,7	12,6	3,7	0,17
Saída	21,1	14,3	26,5	12,2	3,7	0,17
Poço 1	22,4	8,1	26,5	18,4	2,7	0,12
Poço 2	22,0	7,9	25,9	18,0	2,4	0,11
Poço 3	22,4	8,7	26,6	17,9	2,8	0,12
Poço 4	22,6	7,0	26,1	19,1	2,4	0,11
Poço 5	21,9	6,9	25,2	18,3	2,3	0,11
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	19,4	12,5	24,6	12,1	4,3	0,22
Saída	19,4	11,9	24,7	12,8	4,0	0,21
Poço 1	21,0	2,8	22,5	19,7	0,9	0,04
Poço 2	21,1	2,6	22,7	20,1	0,8	0,04
Poço 3	21,4	3,8	23,6	19,8	1,1	0,05
Poço 4	20,3	2,1	21,3	19,3	0,6	0,03
Poço 5	20,3	4,0	22,3	18,3	1,4	0,07

As figuras 5.7 e 5.8 apresentam as concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nos ribeirões Água Clara e Moquém durante o período de amostragem.

Nas águas superficiais do ribeirão Água Clara, as concentrações médias de oxigênio dissolvido foram de  $7,6 \text{ mg.L}^{-1}$  na seção transversal de entrada e  $7,4 \text{ mg.L}^{-1}$  na saída com máximas de  $9,9 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $9,7 \text{ mg.L}^{-1}$  que foram registradas em setembro/00, e mínimas de  $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $4,5 \text{ mg.L}^{-1}$  em novembro/00. Nas águas subterrâneas, as concentrações foram menores que  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  com exceção do poço 3 que apresentou concentração de  $2,3 \text{ mg.L}^{-1}$  em setembro/00 e concentrações próximas de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  nos meses de junho/00 a outubro/00 (tabela 5.5 e figura 5.7).

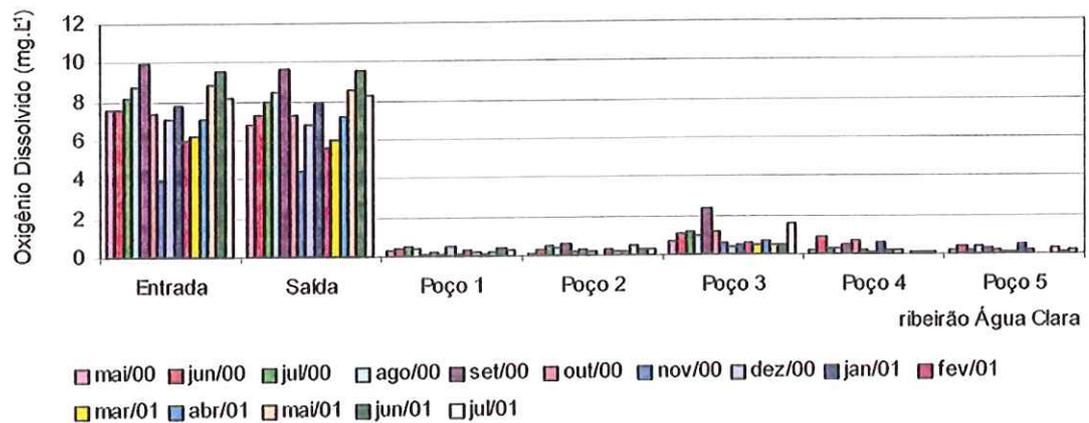


Figura 5.7. – Concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

Nas águas superficiais do ribeirão do Moquém as concentrações de oxigênio dissolvido (médias e máximas) foram menores do que as do ribeirão Água Clara, com médias de  $6,4 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $6,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ; máximas de  $8,5 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $8,3 \text{ mg.L}^{-1}$  no mês de julho/00; e mínimas de  $3,8 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $3,6 \text{ mg.L}^{-1}$  em novembro/00; nas seções de entrada e saída respectivamente. Nas amostragens realizadas nos poços, assim como no ribeirão Água Clara as concentrações médias foram menores do que  $1 \text{ mg.L}^{-1}$ , excluindo-se o poço 3 que apresentou as maiores amplitudes (tabela 5.5).

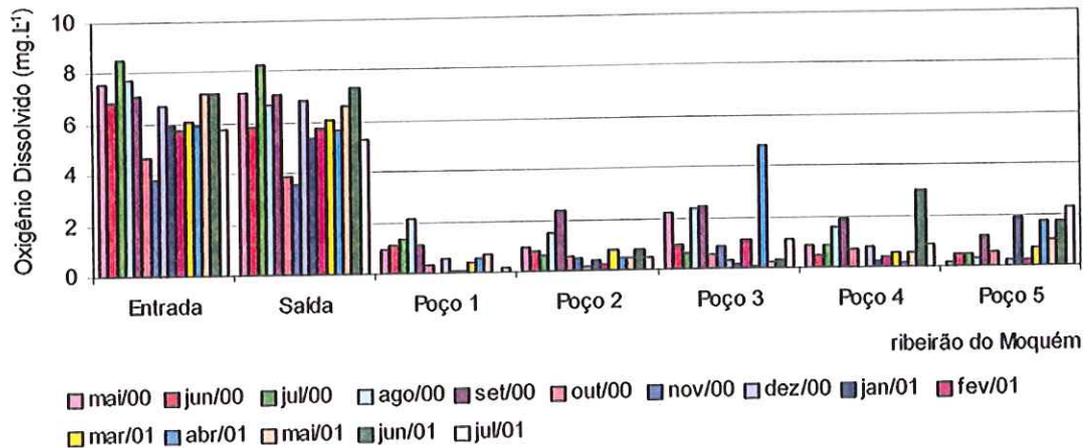


Figura 5.8 – Concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.5 – Média, amplitude, máximo, mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão das concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	7,6	6,0	9,9	4,0	1,5	0,20
Saída	7,4	5,2	9,7	4,5	1,4	0,19
Poço 1	0,3	0,4	0,5	0,1	0,1	0,51
Poço2	0,3	0,6	0,6	0,0	0,1	0,51
Poço 3	0,9	2,0	2,3	0,4	0,5	0,61
Poço 4	0,3	0,8	0,8	0,0	0,2	0,85
Poço 5	0,2	0,5	0,5	0,0	0,1	0,66
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	6,4	4,7	8,5	3,8	1,2	0,19
Saída	6,1	4,7	8,3	3,6	1,3	0,21
Poço 1	0,6	2,1	2,1	0,0	0,6	0,95
Poço2	0,7	2,2	2,4	0,2	0,6	0,75
Poço 3	1,2	4,7	4,8	0,1	1,3	1,06
Poço 4	0,9	3,0	3,0	0,0	0,8	0,91
Poço 5	0,9	2,3	2,3	0,0	0,7	0,85

Nas águas superficiais, as médias dos valores de saturação de oxigênio ficaram em torno de 80% no ribeirão Água Clara e 50% no ribeirão do Moquém (tabela 5.6). Somente no ribeirão Água Clara foram observados valores de supersaturação, porém, em um único registro em setembro de 2000 (figura 5.9). Valores de saturação de oxigênio dissolvido superiores a 70% no ribeirão do Moquém foram observados somente nos meses de maio, julho, agosto, setembro e dezembro de 2000, conforme pode ser observado na figura 5.10.

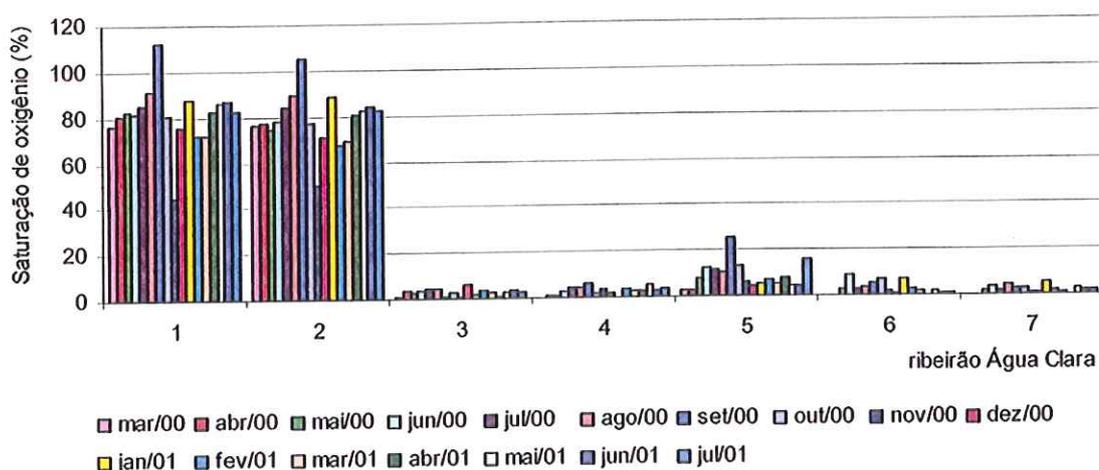


Figura 5.9 – Saturação de oxigênio (%) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

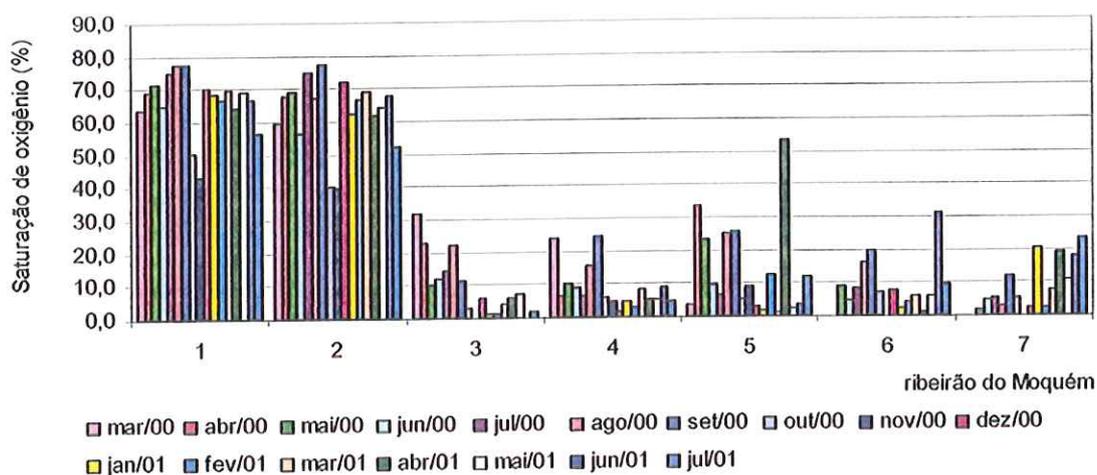


Figura 5.10– Saturação de oxigênio (%) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquéim, de maio/00 a julho/01.

Conforme pode ser observado nas figuras 5.9 e 5.10, nas águas subterrâneas a saturação de oxigênio foi mais elevada no ribeirão do Moquéim refletindo as menores temperaturas da água.



Tabela 5.6 – Média, amplitude, máximo, mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão da saturação de oxigênio (%), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	81,3	67,8	112,5	44,7	14,0	0,2
Saída	79,0	55,0	105,4	50,3	12,3	0,2
Poço 1	2,9	5,2	6,1	0,9	1,5	0,5
Poço 2	3,2	5,9	6,1	0,2	1,6	0,5
Poço 3	9,4	20,6	25,1	4,5	5,6	0,6
Poço 4	3,2	8,6	8,9	0,4	2,7	0,8
Poço 5	2,2	5,2	5,7	0,4	1,5	0,7
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	53,22	77,51	77,65	0,15	24,44	0,5
Saída	51,70	76,97	77,15	0,18	23,36	0,5
Poço 1	6,09	21,96	21,96	0,00	7,51	1,2
Poço 2	8,01	24,02	24,75	0,73	7,43	0,9
Poço 3	17,02	52,44	53,45	1,02	21,18	1,2
Poço 4	10,77	31,15	31,15	0,00	12,00	1,1
Poço 5	12,75	23,32	23,32	0,00	8,83	0,7

As concentrações de oxigênio dissolvido nas águas superficiais apresentaram-se, na maior parte do tempo, dentro dos limites determinados pela legislação, que tem como padrão a concentração de 5,0 mg.L<sup>-1</sup> de oxigênio dissolvido, Resolução CONAMA n. 20/86 Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional (BRASIL, 1986). Nas águas subterrâneas as concentrações de oxigênio foram baixas.

Em condições naturais, os ambientes aquáticos superficiais apresentam, predominantemente, metabolismo aeróbio enquanto nos subterrâneos anaeróbio. Nesses últimos as taxas de oxigênio são fruto da inter-relação entre o consumo de oxigênio na decomposição e o abastecimento através do fluxo, assim, a importação de oxigênio é limitada. Dois cenários podem ser visualizados: (1) anoxia, onde ocorre decomposição anaeróbia da matéria orgânica e; (2) interface oxi-anóxica, onde ocorrem reações de redução e precipitação. Os processos de nitrificação e desnitrificação são também ligados às concentrações de oxigênio (JONES e HOLMES, 1986). As concentrações de oxigênio dissolvido, medidas durante este trabalho nas águas superficiais e subterrâneas, seguem essa tendência. Sugere-se em futuros trabalhos a determinação das concentrações de metano e avaliação da comunidade bacteriana, para auxílio nas inferências sobre o metabolismo dos sistemas.

Para Findlay (1995) um dos motivos pelos quais as trocas de água entre o canal e as regiões saturadas ao seu redor podem ser significativas, não só em termos de alteração das características do corpo de água, como também da região subterrânea é a diferença de metabolismo entre as mesmas.

Como a medição do oxigênio era realizada após o esvaziamento dos poços existia a possibilidade do procedimento estar contribuindo para adicionar uma pequena quantidade de oxigênio. Porém foram realizadas, evitando perturbações no ambiente, medições em intervalos de quinze segundos, durante trinta minutos, em todos os poços com a multi-sonda YSI. Nessas medições, ocorreram concentrações de oxigênio próximas a zero, semelhantes as obtidas durante as amostragens.

Os valores de alcalinidade do ribeirão Água Clara e do Moquém, ao longo do período amostral, estão apresentados nas figuras 5.11 e 5.12 respectivamente. Em ambas as figuras observam-se que os valores de alcalinidade foram superiores nas águas subterrâneas de ambos ribeirões (com exceção feita ao poço 3 do ribeirão Água Clara). Ressalta-se, ainda, que os valores apresentaram-se mais elevados tanto nas águas superficiais como nas subterrâneas do ribeirão do Moquém.

Nas águas superficiais do ribeirão Água Clara a média de alcalinidade foi de  $10,4 \text{ mg.L}^{-1}$  com amplitude de  $12,2 \text{ mg.L}^{-1}$  na seção de entrada e  $11,2 \text{ mg.L}^{-1}$  na de saída. Nas águas subterrâneas a maior média foi de  $155,3 \text{ mg.L}^{-1}$  no poço 4, com amplitude de  $250,4 \text{ mg.L}^{-1}$  (Tabela 5.7).

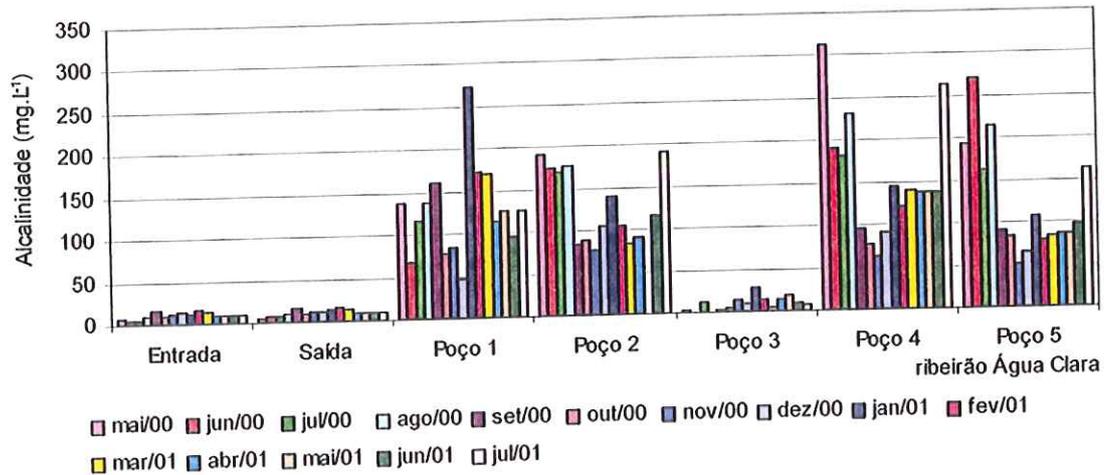


Figura 5.11 – Alcalinidade (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

No ribeirão do Moquém, a seção transversal de entrada apresentou valor médio de alcalinidade, ao longo do período de amostragem, de 210,5 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto a saída apresentou média de 207,0 mg.L<sup>-1</sup> com 348,3 e 350,6 mg.L<sup>-1</sup> de amplitude, respectivamente. Nas águas subterrâneas, 550,2 mg.L<sup>-1</sup> (amplitude de 819,9 mg.L<sup>-1</sup>) foi a maior média de alcalinidade obtida no poço 2, enquanto a menor foi de 374,9 mg.L<sup>-1</sup> com amplitude de 638,7 mg.L<sup>-1</sup> observada no poço 3.

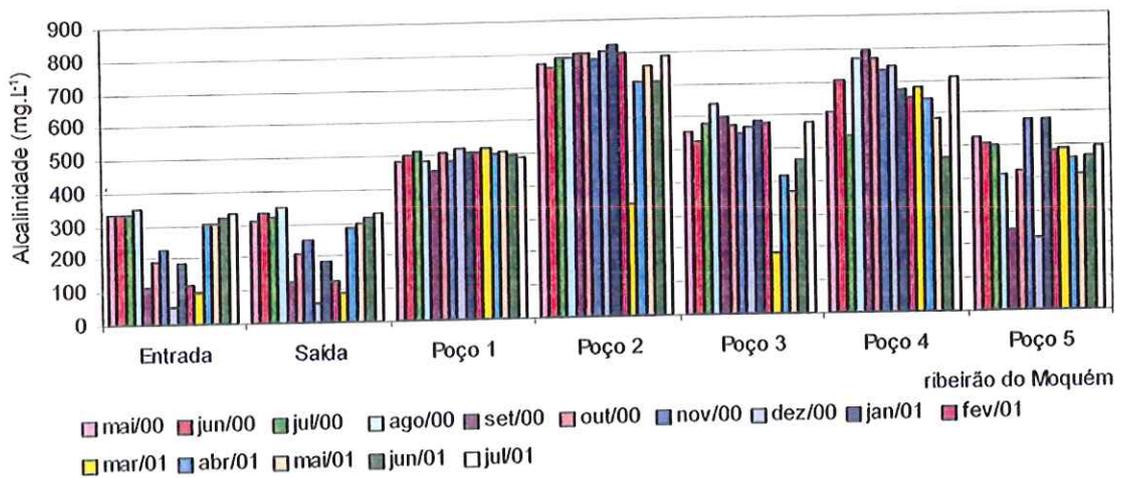


Figura 5.12 – Alcalinidade (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.7 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores de alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	10,4	12,2	17,2	5,1	3,6	0,4
Saída	10,4	11,2	16,1	4,8	3,3	0,3
Poço 1	126,9	227,0	272,6	45,6	55,2	0,4
Poço 2	120,0	191,4	191,4	0,0	53,7	0,4
Poço 3	9,4	28,8	28,9	0,1	7,9	0,8
Poço 4	155,3	250,4	313,5	63,1	70,4	0,5
Poço 5	122,5	218,4	269,6	51,2	63,1	0,5
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	210,5	348,3	348,8	0,4	126,4	0,6
Saída	207,0	350,6	351,1	0,4	123,7	0,6
Poço 1	381,1	519,4	519,4	0,0	214,5	0,6
Poço 2	550,2	819,9	820,1	0,2	286,9	0,5
Poço 3	374,9	638,7	638,9	0,2	206,4	0,6
Poço 4	506,3	791,9	792,0	0,1	250,1	0,5
Poço 5	376,5	579,6	579,8	0,2	176,4	0,5

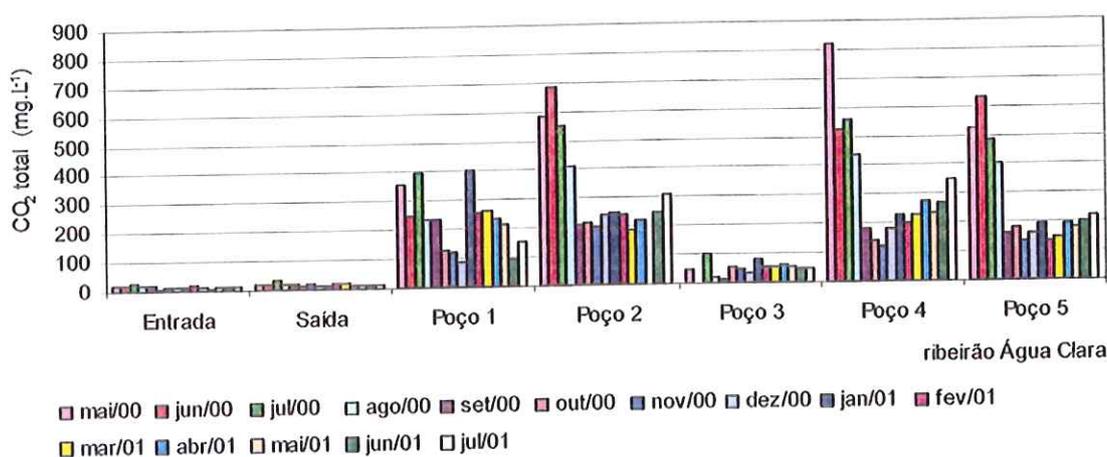


Figura 5.13 –  $\text{CO}_2$  total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

As formas inorgânicas de carbono (apresentadas nas figuras 5.13 até 5.18), apresentaram delineamento semelhante ao da alcalinidade entre as águas superficiais e subterrâneas. Porém, no ribeirão Água Clara, a maior parte do carbono encontrou-se na forma de  $\text{CO}_2$  livre, ao passo que no do Moquém a forma predominante foi de  $\text{HCO}_3^-$ . Assim, a presença de íons bicarbonato confere as águas desse último ribeirão alcalinidades elevadas. Essa distinção, possivelmente, deve-se às distinções do embasamento

geológico entre as duas bacias hidrográficas apresentadas no capítulo 2. E, possivelmente, a respiração mais elevada nas águas subterrâneas do ribeirão Água Clara.

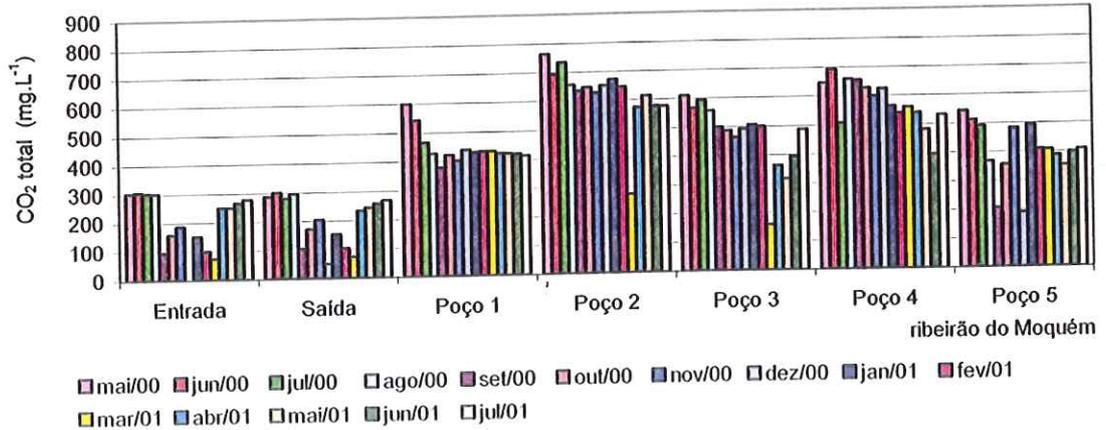


Figura 5.14 – CO<sub>2</sub> total (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

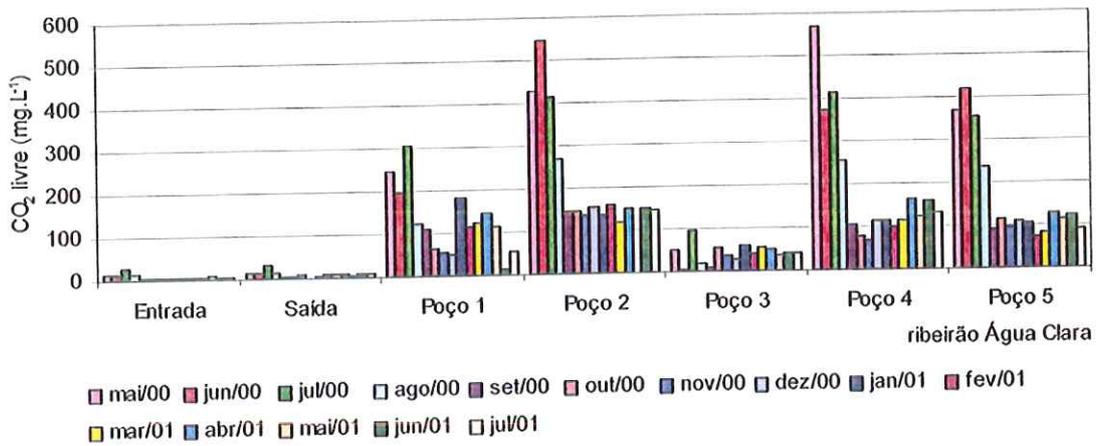


Figura 5.15 – CO<sub>2</sub> livre (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

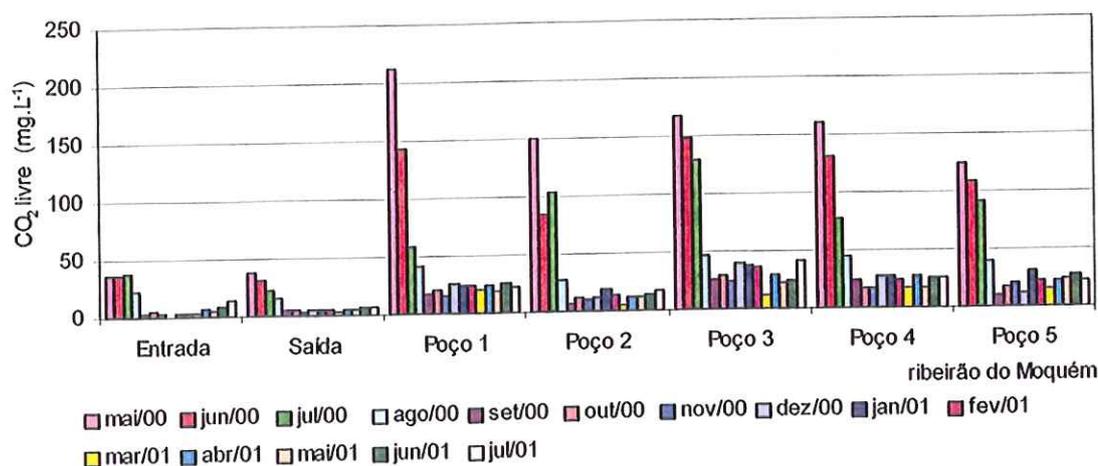


Figura 5.16 – CO<sub>2</sub> livre (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

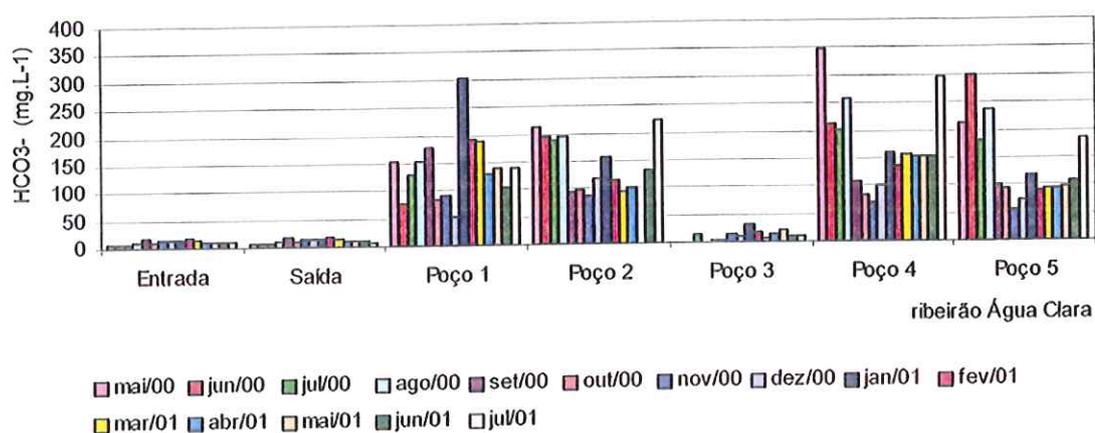


Figura 5.17 – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

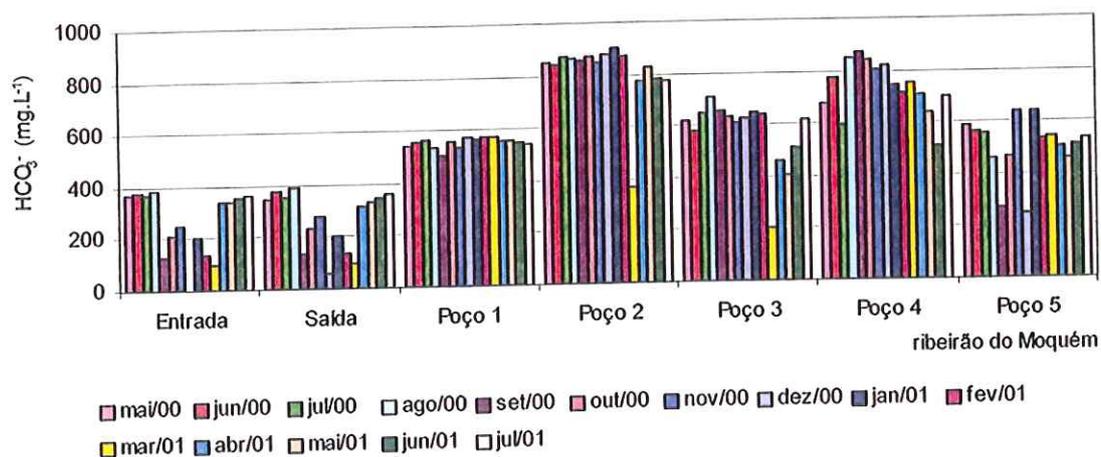


Figura 5.18 –  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

De acordo com Carmouze (1994), o nitrogênio amoniacal é a primeira forma de nitrogênio liberada pela respiração. A transformação de amônio para nitrato ocorre pela oxidação enzimática do primeiro. Neste processo o nitrito aparece como um composto intermediário.

As concentrações de nitrito no período de maio/00 à julho/01, dos ribeirões Água Clara e Moquém, estão apresentadas nas figuras 5.19 e 5.20. No ribeirão Água Clara, as águas superficiais apresentaram menores concentrações médias de nitrito (tabela 5.8). Contudo, observando-se a figura 5.19, as concentrações de nitrito foram semelhantes entre as águas superficiais e subterrâneas em diversos meses de amostragem. Nas águas subterrâneas as amplitudes foram mais elevadas em especial devido aos meses de maio/00 e julho/00.

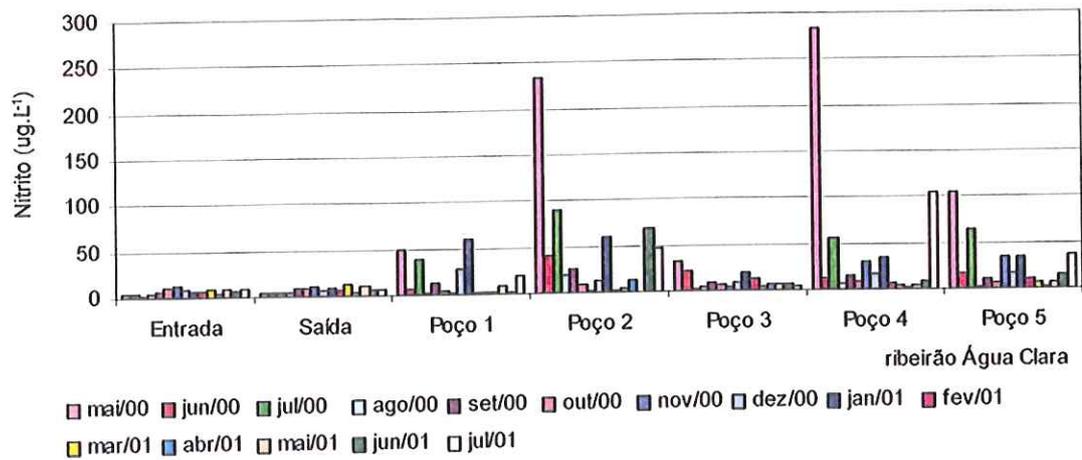


Figura 5.19 – Concentrações de nitrito ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

No ribeirão do Moquém, as concentrações médias de nitrito entre as águas superficiais e subterrâneas estiveram próximas, excluindo-se os poços 2 (média=  $70,7 \text{ ug.L}^{-1} \pm 184,2$ ) e 5 (média=  $23,4 \text{ ug.L}^{-1} \pm 23,8$ ) que também apresentaram as amplitudes mais elevadas. Assim, como no ribeirão Água Clara, as amplitudes no Moquém também foram maiores nas águas subterrâneas (tabela 5.8).

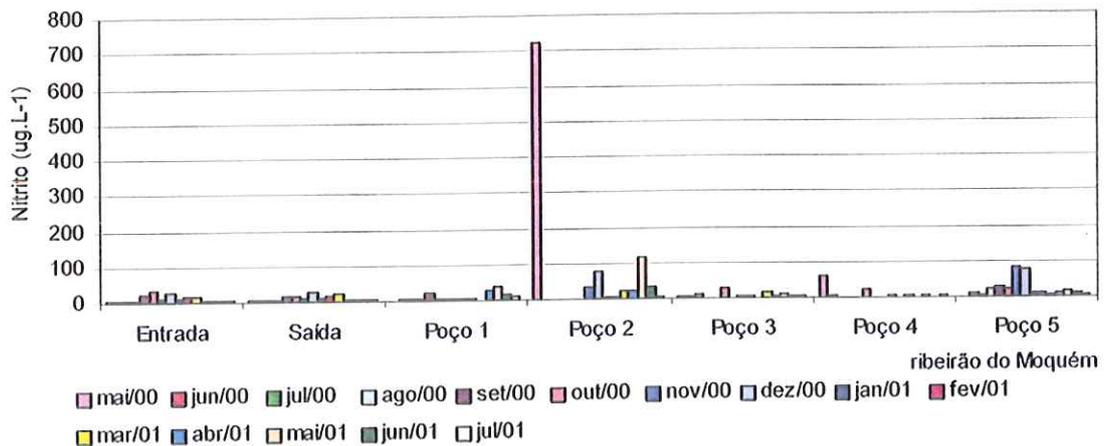


Figura 5.20 – Concentrações de nitrito ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.8 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrito ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) ,nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	6,9	8,8	11,9	3,1	2,7	0,4
Saída	7,3	8,3	12,2	3,9	2,7	0,4
Poço 1	15,8	57,8	58,9	1,1	19,1	1,2
Poço2	45,2	230,6	233,2	2,6	60,7	1,3
Poço 3	9,6	29,4	31,1	1,7	8,0	0,8
Poço 4	39,6	280,6	283,8	3,2	72,7	1,8
Poço 5	24,2	102,6	104,2	1,6	28,0	1,2
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	12,0	28,6	32,3	3,7	8,8	0,7
Saída	11,0	22,1	25,1	2,9	7,8	0,7
Poço 1	10,4	34,5	36,1	1,5	10,5	1,0
Poço2	70,7	724,0	725,8	1,7	184,2	2,6
Poço 3	6,5	24,9	26,7	1,8	6,5	1,0
Poço 4	8,2	60,6	61,9	1,3	15,7	1,9
Poço 5	23,4	77,5	79,9	2,4	23,8	1,0

Nas figuras 5.21 e 5.22 estão apresentadas as concentrações de nitrogênio amoniacal nos ribeirões Água Clara e Moquém de maio/00 a julho/01. As figuras mostram que, em ambos ribeirões, as variações mensais nas concentrações de nitrogênio amoniacal foram elevadas. No ribeirão Água Clara, o poço 5 apresentou a maior concentração média ( $3167,0 \text{ ug.L}^{-1} \pm 2372,6$ ), sendo que a menor ocorreu no poço 3:  $258,5 \text{ ug.L}^{-1} \pm 163,9$ . Nas águas superficiais, as concentrações médias de nitrogênio amoniacal foram de  $120,6 \text{ ug.L}^{-1} \pm 68,5$  na seção transversal de entrada e de  $113,6 \text{ ug.L}^{-1} \pm 64,9$  na de saída (tabela 5.9).

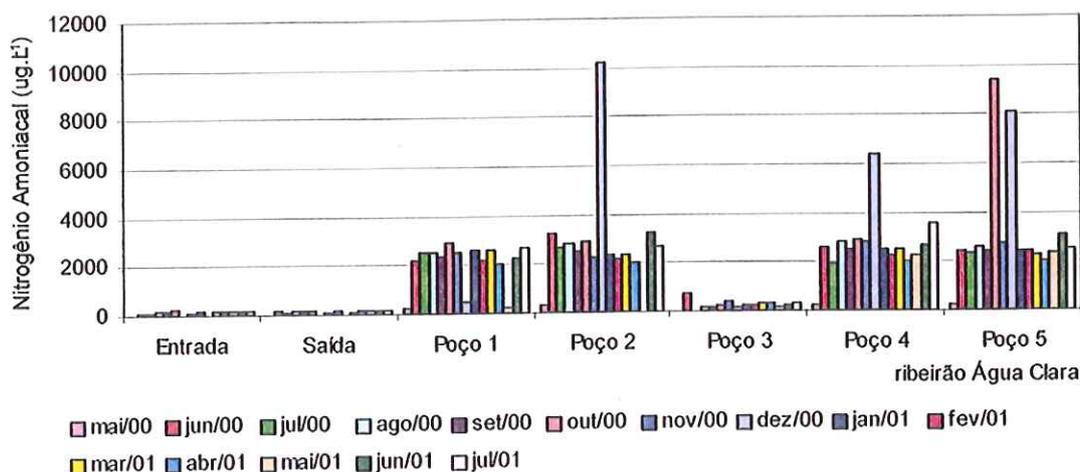


Figura 5.21 – Concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

No ribeirão do Moquéim as águas superficiais apresentaram, nas seções transversais de entrada e saída, médias de concentração de nitrogênio amoniacal de  $86,6 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 55,9$  e  $100,3 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 210,5$ , respectivamente. O maior valor obtido na seção transversal de saída deveu-se a concentração de  $854,2 \mu\text{g.L}^{-1}$  em de outubro/00. Nas águas subterrâneas, as concentrações médias oscilaram entre  $45,1 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 30,3$  no poço 4 e  $286,5 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 320,1$  no poço 2 (tabela 5.9).

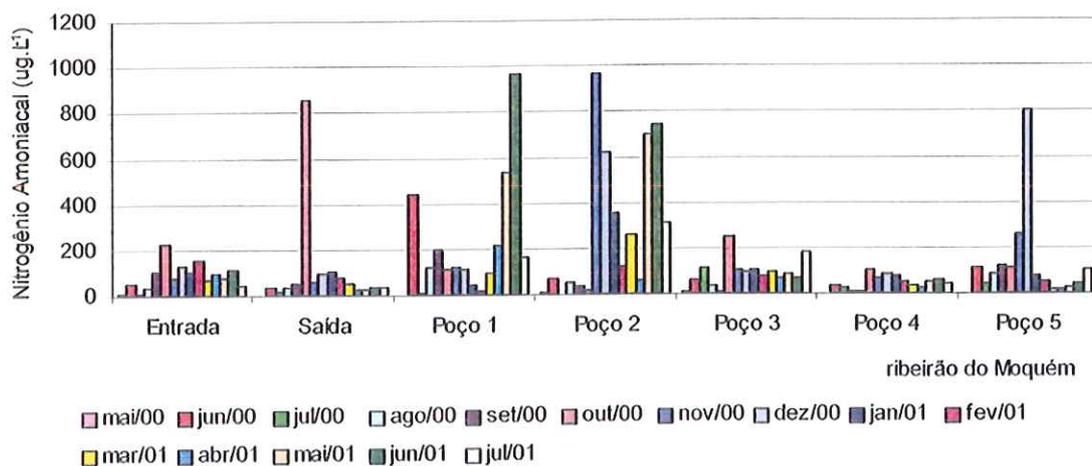


Figura 5.22 – Concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquéim, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.9 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquéim.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	120,6	260,8	265,1	4,4	68,5	0,6
Saída	113,6	193,3	197,8	4,5	64,9	0,6
Poço 1	2024,8	2695,0	2935,5	240,5	901,3	0,4
Poço 2	2979,8	9896,5	10188,5	292,0	2195,1	0,7
Poço 3	258,5	709,4	740,2	30,8	163,9	0,6
Poço 4	2660,6	6166,3	6376,0	209,7	1255,0	0,5
Poço 5	3167,0	9173,7	9439,9	266,2	2372,6	0,7
ribeirão do Moquéim	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	86,6	217,1	224,0	6,9	55,9	0,6
Saída	100,3	852,4	854,2	1,9	210,5	2,1
Poço 1	209,5	965,6	966,6	1,0	257,3	1,2
Poço 2	286,5	962,9	966,2	3,3	320,1	1,1
Poço 3	91,5	242,6	251,1	8,5	61,7	0,7
Poço 4	45,1	98,2	102,1	3,9	30,3	0,7
Poço 5	132,5	797,0	801,1	4,1	197,7	1,5

Com relação às concentrações médias de nitrato nas águas superficiais, obtiveram-se valores da ordem de  $130 \text{ ug.L}^{-1}$  no ribeirão Água Clara e  $170 \text{ ug.L}^{-1}$  no ribeirão do Moquéim (figuras 5.23 e 5.24). Nas águas subterrâneas esses valores diminuiram, com exceção do poço 2 do ribeirão do Moquéim (média =  $266,2 \text{ ug.L}^{-1} \pm 310,8$ ). Assim, no ribeirão do Moquéim o poço 5 apresentou a maior média ( $98,6 \text{ ug.L}^{-1} \pm 107,8$ ) e no ribeirão Água Clara a maior média foi de  $52,1 \text{ ug.L}^{-1} \pm 44,9$  que ocorreu no poço 2 (tabela 5.10).

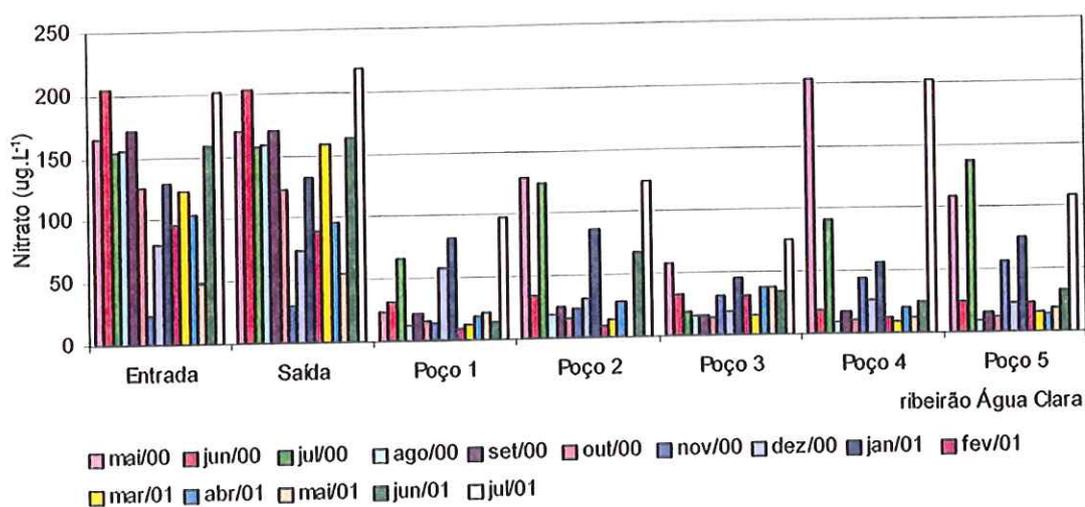


Figura 5.23 – Concentrações de nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

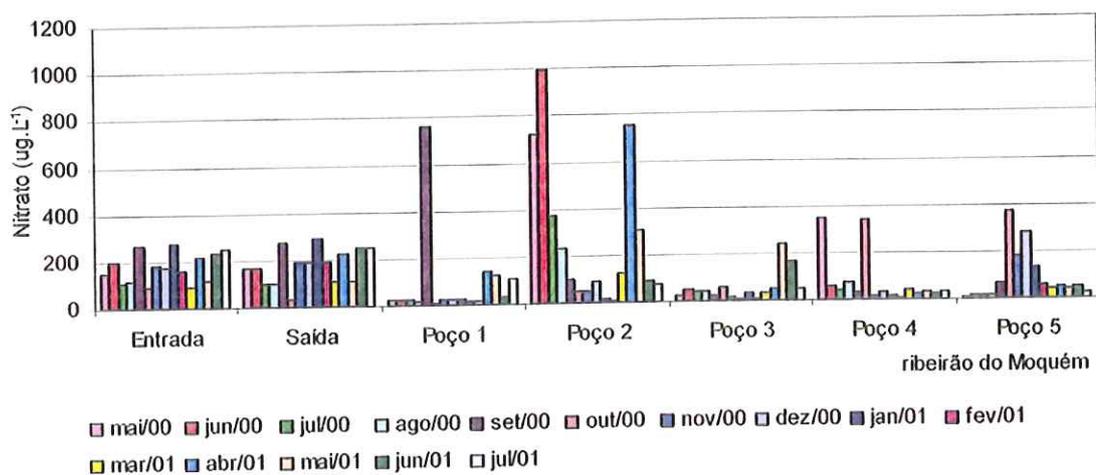


Figura 5.24 – Concentrações de nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) das águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.10 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrato ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	129,3	182,2	205,1	22,8	52,1	0,40
Saída	133,3	189,1	218,4	29,3	54,4	0,41
Poço 1	33,5	88,4	98,1	9,7	28,1	0,84
Poço 2	52,1	118,8	128,7	9,9	44,9	0,86
Poço 3	32,3	60,6	74,9	14,3	17,3	0,54
Poço 4	50,5	193,8	203,1	9,3	65,4	1,29
Poço 5	45,3	126,8	136,3	9,5	42,0	0,93
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	173,2	188,6	275,8	87,2	63,3	0,37
Saída	175,3	256,6	292,3	35,8	73,6	0,42
Poço 1	91,3	752,6	764,8	12,2	191,2	2,09
Poço 2	266,2	981,8	991,5	9,7	310,8	1,17
Poço 3	55,7	229,8	236,2	6,4	61,8	1,11
Poço 4	75,4	341,7	351,6	10,0	110,9	1,47
Poço 5	98,6	366,0	376,0	10,1	107,8	1,09

Como a distribuição das formas de nitrogênio está relacionada com as concentrações de oxigênio dissolvido, naturalmente as águas subterrâneas apresentaram como forma de nitrogênio predominante o nitrogênio amoniacal e as águas superficiais o nitrato. Entre as amostras das formas de nitrogênio, também se pode destacar as concentrações mais elevadas, especialmente de nitrogênio amoniacal, observadas nas águas subterrâneas do ribeirão Água Clara. Quando se considera as concentrações de nitrogênio dos testemunhos, avaliadas no capítulo 4, os maiores valores foram encontrados no ribeirão do Moquém.

As concentrações de nitrito e nitrato encontradas nesta pesquisa encontram-se dentro os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA n. 20/86 para rios de Classe II, que correspondem a 1,0 e 10,0  $\text{mg.L}^{-1}$  respectivamente.

O nitrogênio orgânico total (kjeldhal) nas águas superficiais do ribeirão Água Clara apresentou concentrações máximas da ordem de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  (figura 5.25). Nas águas subterrâneas as maiores concentrações médias ocorreram nos poços 4 e 5 ( $22,3 \text{ mg.L}^{-1} \pm 6,7$  e  $22,4 \text{ mg.L}^{-1} \pm 6,6$ , respectivamente). O poço 3 destacou-se dos demais apresentando uma média de  $1,5 \text{ mg.L}^{-1} \pm 2,1$ ; feita essa exceção a menor concentração média ( $12,0 \text{ mg.L}^{-1} \pm 5,3$ ) ocorreu no poço 1 (tabela 5.11).

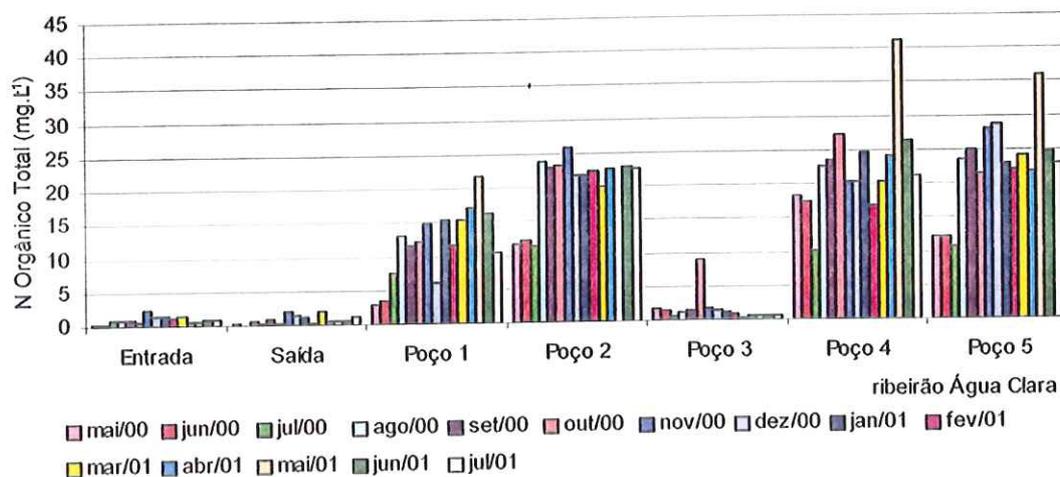


Figura 5.25 – Concentrações de nitrogênio orgânico total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

No ribeirão do Moquém as concentrações de nitrogênio orgânico total entre as águas superficiais e subterrâneas foram próximas, com destaque para os poços 2 e 5 que apresentaram as maiores amplitudes. A maior concentração média ocorreu no poço 2 ( $3,1 \text{ mg.L}^{-1} \pm 3,8$ ) e a menor ocorreu no poço 4 ( $0,6 \text{ mg.L}^{-1} \pm 0,3$ ). Essas variações podem ser observadas na figura 5.26 e na tabela 5.11.

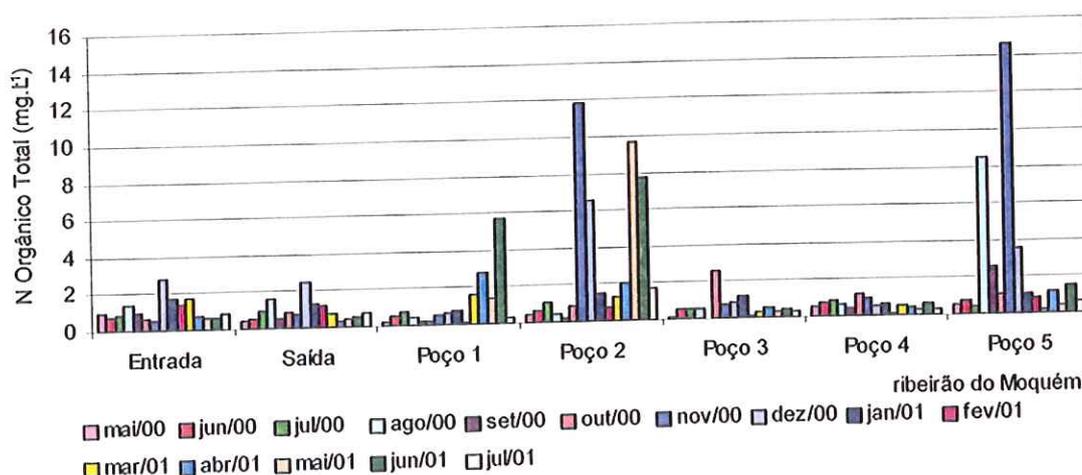


Figura 5.26 – Concentrações de nitrogênio orgânico total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.11 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de nitrogênio orgânico total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	1,0	2,2	2,4	0,2	0,5	0,6
Saída	0,8	2,1	2,2	0,0	0,7	0,8
Poço 1	12,0	18,9	21,9	3,0	5,3	0,4
Poço2	20,4	14,5	25,7	11,2	4,9	0,2
Poço 3	1,5	8,7	8,9	0,3	2,1	1,4
Poço 4	22,3	30,9	41,2	10,2	6,7	0,3
Poço 5	22,4	25,1	35,9	10,8	6,6	0,3
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	1,1	2,3	2,8	0,5	0,6	0,6
Saída	0,9	2,1	2,4	0,4	0,6	0,6
Poço 1	1,1	5,5	5,6	0,1	1,4	1,3
Poço2	3,1	11,7	11,8	0,2	3,8	1,2
Poço 3	0,7	2,4	2,6	0,1	0,6	1,0
Poço 4	0,6	1,1	1,2	0,1	0,3	0,5
Poço 5	2,7	14,4	14,6	0,2	3,9	1,4

As médias de nitrogênio orgânico total foram semelhantes nas águas superficiais do ribeirão Água Clara e Moquém, elevando-se nas águas subterrâneas, especialmente no ribeirão Água Clara. Nos testemunhos da perfuração dos poços, conforme apresentado no capítulo 4, as concentrações de nitrogênio orgânico total foram superiores nas amostras provenientes do ribeirão do Moquém.

Para Wetzel (1993) as taxas de nitrificação são baixas em sedimentos anóxicos, onde o fluxo de água é lento e, as reações de desnitrificação são intensas. Segundo o mesmo autor, a atividade das bactérias heterotróficas constitui-se na mais significativa fonte de nitrogênio amoniacal. Hill e Lymburner (1998) avaliaram as concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e oxigênio dissolvido nas águas subterrâneas da região ripária de dois riachos no Canadá. O ribeirão Glen Major apresentou nas águas superficiais e subterrâneas, nessa ordem concentrações: de nitrato  $150 \pm 23 \text{ ug.L}^{-1} / 10 \pm 10 \text{ ug.L}^{-1}$ , de nitrogênio amoniacal  $10 \pm 4 \text{ ug.L}^{-1} / 95 \pm 42 \text{ ug.L}^{-1}$  e, de oxigênio dissolvido  $10,3 \pm 1,3 \text{ ug.L}^{-1} / 1,9 \pm 0,3 \text{ ug.L}^{-1}$ . No córrego Duffin as concentrações de nitrato foram  $405 \pm 55 \text{ ug.L}^{-1} / 10 \pm 20 \text{ ug.L}^{-1}$ , de nitrogênio amoniacal  $25 \pm 10 \text{ ug.L}^{-1} / 10 \pm 10 \text{ ug.L}^{-1}$  e, de oxigênio dissolvido  $11,4 \pm 1,2 \text{ ug.L}^{-1} / 1,7 \pm 0,3 \text{ ug.L}^{-1}$ . O comportamento entre as formas de nitrogênio e os ambientes superficiais e subterrâneos obtidos por esses autores é semelhante aos obtidos no presente trabalho. Os autores realizaram ensaios com injeção de solutos, onde concluíram que na zona hiporrência ocorreu depleção de oxigênio e, conseqüentemente, nitrato.

As concentrações de fosfato inorgânico, fosfato total dissolvido e fosfato total nos ribeirões Água Clara e Moquém, no período de amostragem, estão apresentadas nas figuras 5.27 até 5.32. A princípio observa-se que as distribuições das formas de fósforo foram semelhantes durante a amostragem, ou seja, não é possível distinguir as águas superficiais e subterrâneas. Porém as concentrações mais elevadas ocorreram nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, sendo a parcela inorgânica dominante.

No ribeirão Água Clara, as concentrações médias de fosfato inorgânico variaram entre  $13,9 \text{ ug.L}^{-1} \pm 13,4$  no poço 3 e  $35,8 \text{ ug.L}^{-1} \pm 69,9$  no poço 2. Os poços 2 e 5 apresentaram as concentrações máximas mais elevadas:  $252,1 \text{ ug.L}^{-1}$  e  $125,6 \text{ ug.L}^{-1}$ , respectivamente, ambas no mês de maio/00 (tabela 5.12).

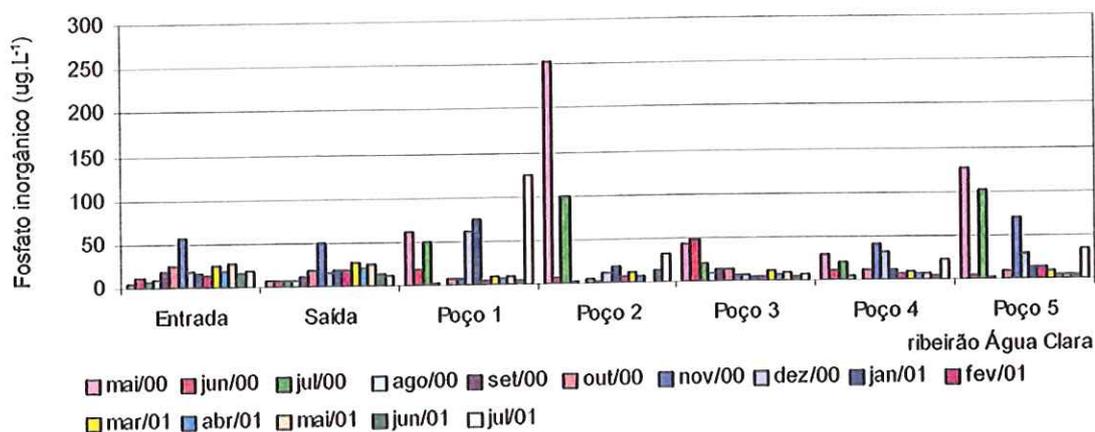


Figura 5.27 – Concentrações de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

As concentrações médias de fosfato inorgânico no ribeirão do Moquém foram inferiores nos poços 3 e 4:  $49,7 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 62,0$  e  $93,3 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 28,4$ , nessa ordem. A maior concentração média foi de  $391,5 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 179,4,2$  no poço 5 (tabela 5.12). Nas águas superficiais, as concentrações médias foram:  $98,7 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 79,4$  na seção transversal de entrada e  $105,4 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 92,0$  na de saída.

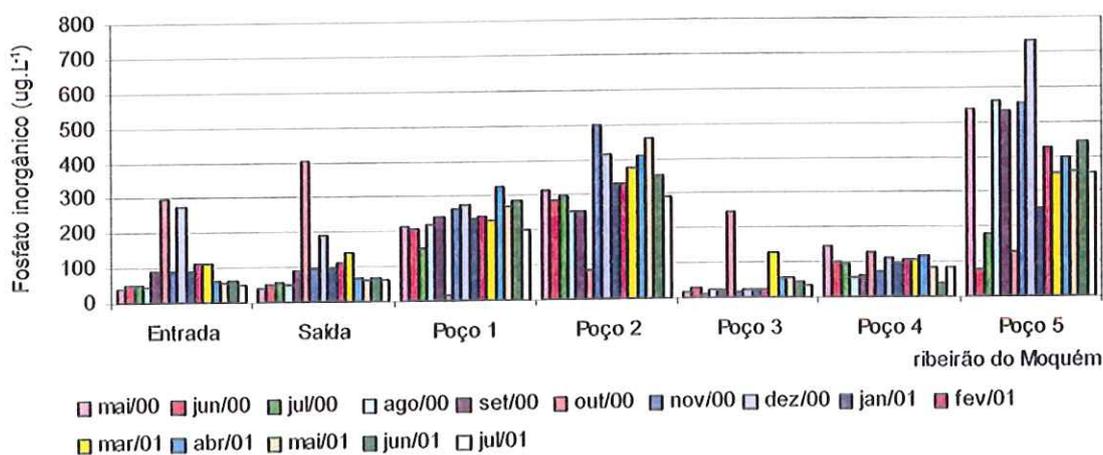


Figura 5.28– Concentrações de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.12 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de fosfato inorgânico ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	18,8	52,0	57,0	5,0	12,3	0,7
Saída	17,4	43,5	49,9	6,5	11,1	0,6
Poço 1	31,1	120,5	123,8	3,3	37,0	1,2
Poço 2	35,8	250,2	252,1	1,8	69,9	2,0
Poço 3	13,9	43,1	47,3	4,2	13,4	1,0
Poço 4	15,5	35,3	40,7	5,4	11,2	0,7
Poço 5	30,5	123,9	125,6	1,7	39,6	1,3
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	98,7	261,8	298,9	37,0	79,4	0,8
Saída	105,4	366,5	404,7	38,2	92,0	0,9
Poço 1	224,6	305,7	323,7	17,9	70,3	0,3
Poço 2	328,8	414,8	497,2	82,3	99,6	0,3
Poço 3	49,7	235,1	246,5	11,4	62,0	1,2
Poço 4	93,3	105,9	143,5	37,6	28,4	0,3
Poço 5	391,5	653,2	733,6	80,4	179,4	0,5

Com relação ao fosfato total dissolvido, observou-se, no ribeirão Água Clara e do Moquém, padrões semelhantes ao fosfato inorgânico. No ribeirão Água Clara, as concentrações médias variaram entre:  $62,3 \text{ ug.L}^{-1} \pm 80,8$  no poço 2 e  $22,6 \text{ ug.L}^{-1} \pm 13,2$  no poço 3. No ribeirão do Moquém, as concentrações médias de fosfato total dissolvido oscilaram entre  $53,9 \text{ ug.L}^{-1} \pm 56,1$  no poço 3 e  $451,9 \text{ ug.L}^{-1} \pm 252,0$  no poço 5 (tabela 5.13).

Considerando-se o fosfato total, obteve-se no ribeirão Água Clara, poço 4, a maior concentração média ( $1293,8 \text{ ug.L}^{-1} \pm 739,1$ ) e a seção transversal de saída com a menor concentração média ( $202,3 \text{ ug.L}^{-1} \pm 325,0$ ). No ribeirão do Moquém, observou-se: a maior concentração média no poço 5 ( $1198,0 \text{ ug.L}^{-1} \pm 1310,5$ ) e a menor no poço 3 ( $313,2 \text{ ug.L}^{-1} \pm 185,4$ ) (tabela 5.14).

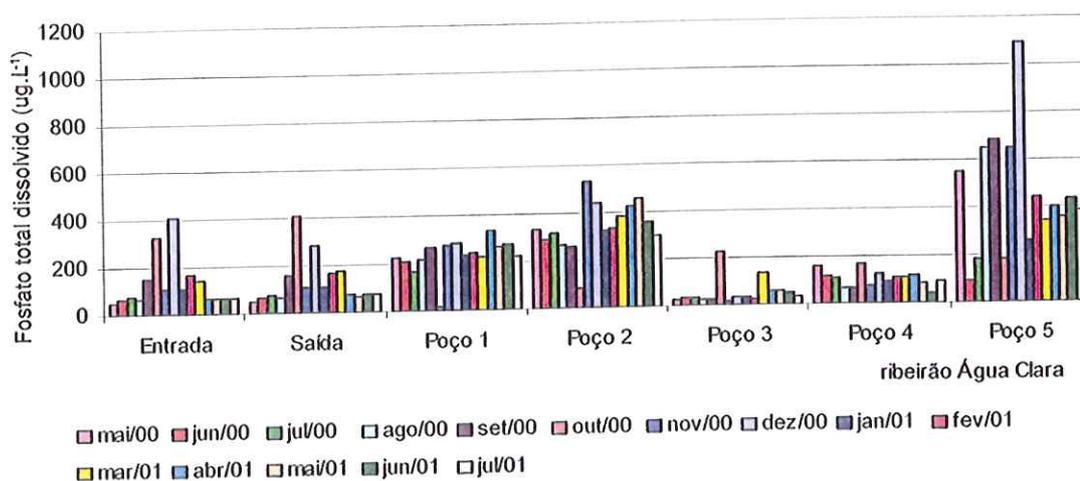


Figura 5.29 – Concentrações de fosfato total dissolvido ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

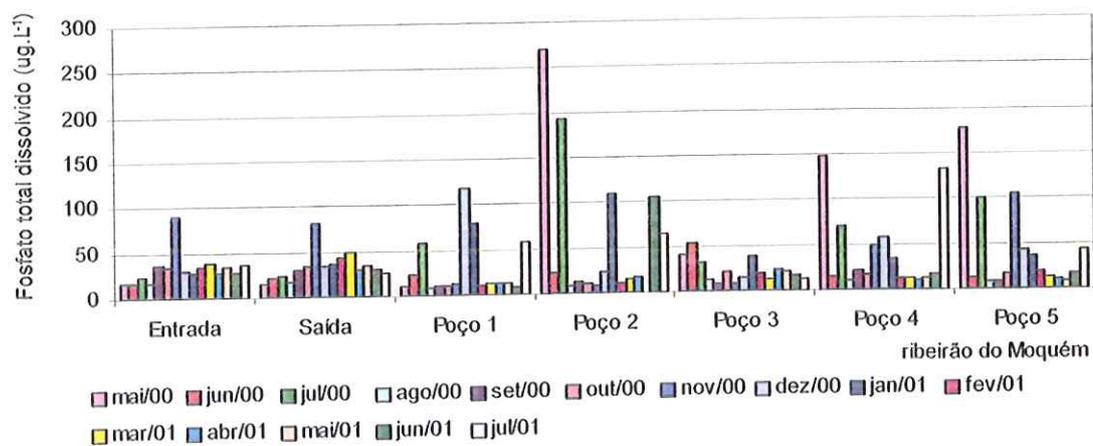


Figura 5.30 – Concentrações de fosfato total dissolvido ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas no ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.13 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	32,9	74,0	90,1	16,2	17,6	0,5
Saída	33,7	66,2	81,7	15,5	16,1	0,5
Poço 1	29,9	109,7	117,5	7,8	32,9	1,1
Poço2	62,3	262,7	270,5	7,8	80,8	1,3
Poço 3	22,6	45,6	53,3	7,7	13,2	0,6
Poço 4	41,5	138,3	148,3	10,0	44,2	1,1
Poço 5	41,5	169,7	177,3	7,5	49,0	1,2

ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	129,3	353,6	405,9	52,3	103,4	0,8
Saída	130,7	355,0	408,3	53,3	98,6	0,8
Poço 1	231,2	314,7	333,6	18,9	71,0	0,3
Poço2	341,0	444,8	531,7	86,9	104,3	0,3
Poço 3	53,9	210,3	228,1	17,8	56,1	1,0
Poço 4	102,1	127,3	169,8	42,5	34,6	0,3
Poço 5	451,9	998,7	1089,9	91,2	252,0	0,6

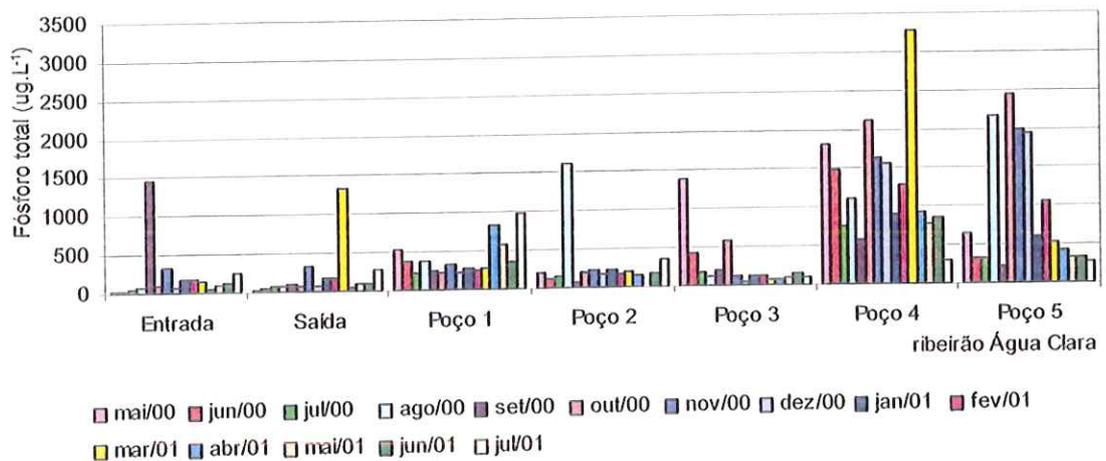


Figura 5.31– Concentrações de fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

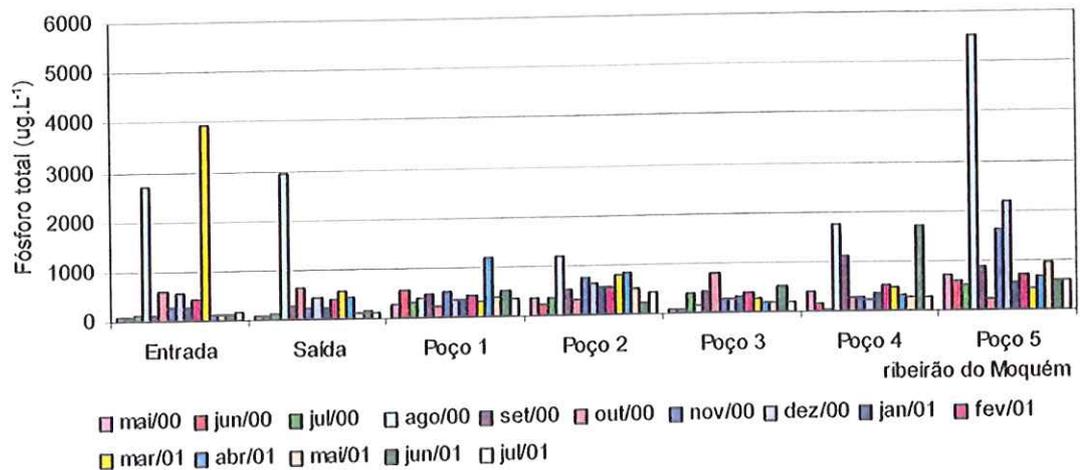


Figura 5.32– Concentrações de fósforo total ( $\text{ug.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.14 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de fósforo total ( $\text{ug.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	212,6	1434,5	1463,0	28,5	356,1	1,7
Saída	202,3	1303,9	1333,8	29,9	325,0	1,6
Poço 1	404,3	762,3	982,5	220,1	232,2	0,6
Poço2	287,7	1531,1	1606,9	75,8	384,7	1,3
Poço 3	255,4	1325,1	1380,2	55,1	342,0	1,3
Poço 4	1293,8	2977,1	3274,9	297,8	739,1	0,6
Poço 5	908,1	2226,1	2453,5	227,4	802,4	0,9
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	644,2	3863,1	3926,4	63,3	1121,0	1,7
Saída	453,2	2877,3	2944,7	67,4	712,0	1,6
Poço 1	446,2	961,4	1194,9	233,5	227,0	0,5
Poço2	551,8	952,3	1190,7	238,4	257,0	0,5
Poço 3	313,2	726,5	813,4	86,9	185,4	0,6
Poço 4	540,2	1710,1	1734,4	24,3	536,2	1,0
Poço 5	1198,0	5278,0	5516,7	238,8	1310,5	1,1

As concentrações das formas dissolvidas de fósforo foram superiores no ribeirão do Moquém, enquanto as de fósforo total foram próximas nos dois ribeirões. Nos testemunhos as concentrações de fósforo foram superiores no ribeirão do Moquém (capítulo 4). Quando comparamos as formas dissolvidas de fósforo (total e inorgânico) nos dois ribeirões, pode-se notar que no ribeirão do Moquém a proporção de fósforo inorgânico é maior do que no Água Clara. Associando-se esse fato às concentrações mais elevadas de nitrogênio

apresentadas nas águas subterrâneas do ribeirão Água Clara, é possível considerar a influência do uso e ocupação do trecho de estudo.

Wetzel (1993) considera que águas continentais devem apresentar concentrações de fósforo total entre 5-100  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Porém variações maiores podem ser relacionadas com características geológicas, as concentrações tendem a ser superiores nas regiões formadas por rochas sedimentares. O mesmo autor ainda coloca que nas águas subterrâneas as concentrações são baixas, em torno de 20  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Na presente pesquisa as concentrações de fósforo total nas águas excederam esses padrões.

Nas figuras 5.33 e 5.34 observa-se que as concentrações de silicato reativo entre maio/00 e julho/01, nos ribeirões Água Clara e do Moquém nessa ordem, foram próximas entre as águas superficiais e subterrâneas. Assim, foi possível verificar que as concentrações de silicato reativo foram maiores no ribeirão do Moquém.

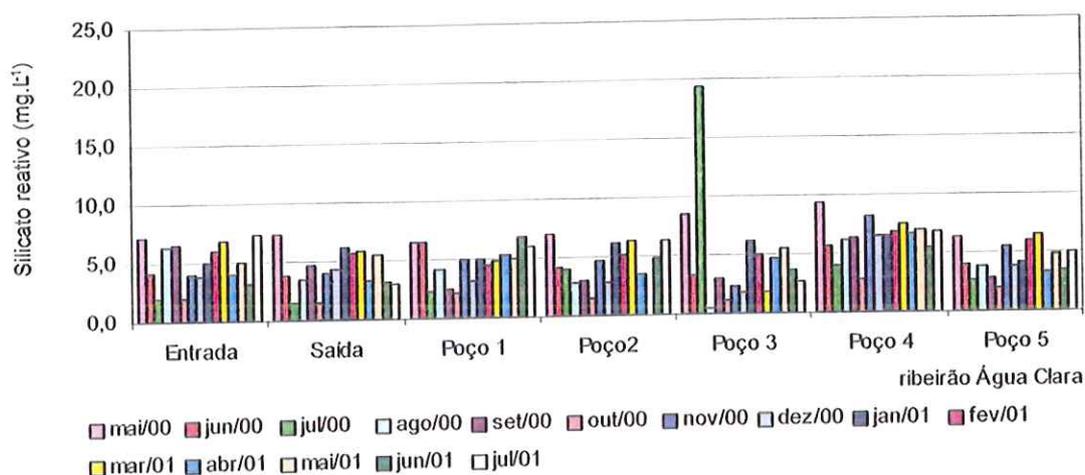


Figura 5.33 – Concentrações de silicato reativo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, de maio/00 a julho/01.

As concentrações médias no período de amostragem, no ribeirão Água Clara variaram de  $4,2 \text{ mg.L}^{-1} \pm 1,7$  na secção transversal de saída e  $6,4 \text{ mg.L}^{-1} \pm 1,5$  no poço 4. No ribeirão do Moquém, a maior concentração média foi de  $24,1 \text{ mg.L}^{-1} \pm 5,9$  no poço 1 e as menores foram em torno de  $14,0 \text{ mg.L}^{-1}$  nas águas superficiais.

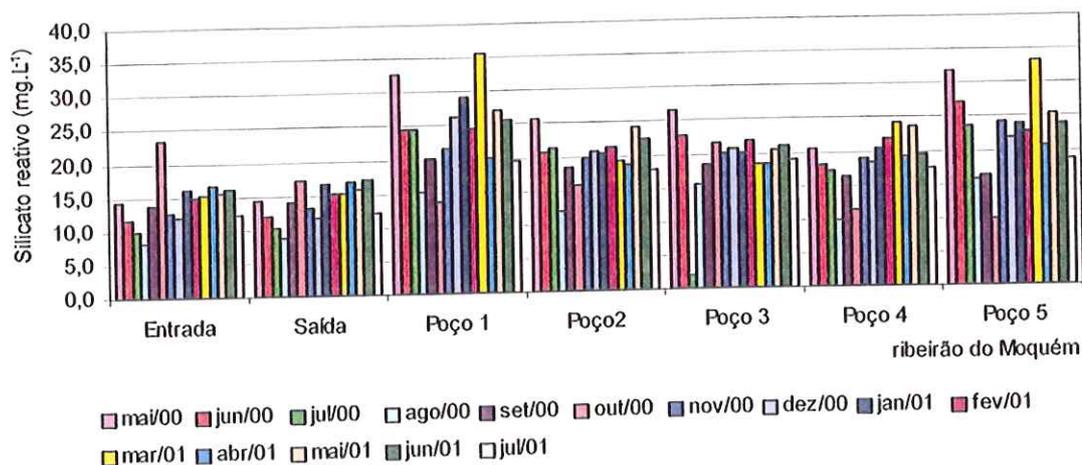


Figura 5.34 – Concentrações de silicato reativo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, de maio/00 a julho/01.

Tabela 5.15 – Média, amplitude, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de silicato reativo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nos meses de amostragem, nos ribeirões Água Clara e Moquém.

ribeirão Água Clara	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	4,9	5,3	7,3	1,9	1,8	0,4
Saída	4,2	5,8	7,3	1,5	1,7	0,4
Poço 1	4,7	4,6	6,9	2,2	1,5	0,3
Poço 2	4,5	5,6	7,0	1,5	1,6	0,4
Poço 3	4,6	18,9	19,4	0,5	4,6	1,0
Poço 4	6,4	6,5	9,4	2,9	1,5	0,2
Poço 5	4,3	4,6	6,6	2,0	1,4	0,3
ribeirão do Moquém	Média	Amplitude	Máximo	Mínimo	D. Padrão	C. Variação
Entrada	14,1	15,1	23,2	8,2	3,5	0,2
Saída	14,0	8,6	17,3	8,6	2,7	0,2
Poço 1	24,1	21,7	35,6	13,9	5,9	0,2
Poço 2	19,9	13,7	25,7	12,0	3,3	0,2
Poço 3	19,2	24,5	26,6	2,2	5,3	0,3
Poço 4	18,5	14,3	24,1	9,8	3,9	0,2
Poço 5	22,8	23,3	33,3	10,0	6,0	0,3

O potássio é um elemento muitas vezes limitante a comunidade vegetal e que encontra grande facilidade de complexação. Essa pode ser uma explicação para as menores concentrações, muitas vezes, encontradas nas águas subterrâneas. As concentrações de potássio apresentadas na tabela 5.16 não apresentam uma evidente diferenciação entre as águas superficiais e subterrâneas, sendo possível verificar que as maiores concentrações

ocorreram nas águas superficiais do ribeirão do Moquém. A maior concentração foi obtida no poço 1 do ribeirão Água Clara e na seção transversal de entrada do ribeirão do Moquém ( $7,6 \text{ mg.L}^{-1}$ ), enquanto a menor ocorreu no poço 3 do ribeirão do Moquém ( $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Segundo Santos (1997) as águas subterrâneas são pobres em potássio, apresentando concentrações na faixa de  $1 - 5 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Quanto as concentrações de sódio (tabela 5.17) nas águas superficiais do ribeirão Água Clara, na maior parte dos meses, foram da ordem de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$ , nas subterrâneas os valores variam de  $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$  no poço 1 a valores superiores a  $6 \text{ mg.L}^{-1}$ , que constitui o limite de detecção. No ribeirão do Moquém nenhuma das amostras apresentou-se dentro dos limites de detecção ( $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Danelon e Moreira - Nordeman (1991) encontraram concentrações de sódio variando entre  $0,60 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $4,50 \text{ mg.L}^{-1}$  no rio do Quilombo, na região de Cubatão/SP, em amostragens realizadas entre abril de 1984 e outubro de 1985. Nas águas superficiais do ribeirão Água Clara concentrações superiores foram encontradas na seção transversal de saída no mês de agosto/00 e na de entrada em setembro/00, sendo esse o único mês em que as concentrações ficaram acima do limite de detecção. Para Santos (1997), as concentrações de sódio nas águas subterrâneas encontram-se em um intervalo amplo ( $0,1 - 100 \text{ mg.L}^{-1}$ ) sendo assim, as águas subterrâneas do ribeirão Água Clara apresentaram concentrações de sódio próximas ao limite inferior.

Comportamento similar ao do sódio ocorreu com as concentrações de magnésio (limite de detecção -  $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (tabela 5.19) e cálcio (limite de detecção  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (tabela 5.18). No caso do magnésio, somente nas amostras das águas superficiais e do poço 3 do ribeirão Água Clara, na maior parte dos meses, as concentrações foram detectadas, sendo que o mínimo encontrado foi de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$  no poço 3. O cálcio no ribeirão Água Clara (tabela 5.19) foi menor nos poços 3, 4 e 5; o valor mínimo foi de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$  no poço 3 e o máximo de  $44,7 \text{ mg.L}^{-1}$  no poço 2. No ribeirão do Moquém as amostras ficaram, na maior parte, acima do limite de detecção de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ . As concentrações de magnésio e cálcio mais frequentes nas águas subterrâneas para Santos (1997) estão dentro dos intervalos  $1-40$  e  $10-100 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente.

As concentrações de ferro estão apresentadas na tabela 5.20. Os poços do ribeirão Água Clara, com exceção do poço 3, mostraram concentrações acima dos limites de detecção na maioria das análises realizadas, enquanto na maioria das amostras de águas de superfície do ribeirão Água Clara e as do poço 3, além das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moquém, as concentrações apresentaram-se dentro dos limites de detecção. No ribeirão Água Clara, a concentração mínima foi de  $4,2 \text{ mg.L}^{-1}$  na secção transversal de entrada. No ribeirão do Moquém as concentrações de ferro oscilaram entre  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (poços 3 e 4) e  $98,3 \text{ mg.L}^{-1}$  (poço 5). Segundo Wetzel (1993) águas com menores concentrações de bicarbonato, podem conter maiores concentrações de ferro, pois essa condição aumenta a solubilidade do ferro. Os teores de ferro determinados nos testemunhos, apresentados no capítulo 4, foram superiores no ribeirão do Moquém.

As determinações das concentrações de íons são muito utilizadas nos estudos hidrogeoquímicos. Leite et al. (1999) realizaram uma caracterização hidroquímica das águas de chuva e do canal na bacia do Alto Rio da Cachoeira no Estado do Rio de Janeiro, entre setembro de 1995 e abril de 1996. Os valores médios indicaram que o elemento mais abundante nas águas superficiais foi o sódio ( $5,3 \text{ mg.L}^{-1}$ ), seguido do potássio ( $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ ), cálcio ( $0,78 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e do magnésio ( $0,76 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Quando comparados com os dados obtidos nas amostras superficiais dos ribeirões do Moquém e Água Clara, temos somente que o sódio no ribeirão Água Clara apresentou valores inferiores. Moreira -Norderman (1981) determinou as concentrações de sódio, cálcio, potássio, magnésio em três diferentes bacias hidrográficas que se distinguem quanto ao clima e quanto à formação geológica, excluindo os corpos de Água onde as concentrações de sais eram muitas elevadas. A autora encontrou as seguintes concentrações para: sódio ( $2,2\text{-}21,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ), cálcio ( $2,7\text{-}21,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ), potássio ( $0,55\text{-}17,40 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e magnésio ( $2,3\text{-}8,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Evidentemente, o limite de detecção do método utilizado limita esta discussão mas pode-se considerar que as águas superficiais dos ribeirões do Moquém e Água Clara apresentaram valores dentro desses intervalos.



Tabela 5.18 – Concentrações de magnésio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquém, no período de maio/00 a julho/01.

	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01
ribeirão Água Clara - Entrada	2,1	2,6	>6mg/L	4,0	5,4	1,7	3,7	3,4	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	3,4	3,2	5,4	2,3
ribeirão Água Clara - Saída	3,3	4,2	>6mg/L	4,8	5,3	3,6	3,2	5,1	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	4,2	3,3	4,8	4,7
ribeirão Água Clara - Poço 1	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão Água Clara - Poço 2	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão Água Clara - Poço 3	2,3	1,4	1,3	3,3	2,1	1,5	1,6	1,4	1,0	1,2	1,4	>6mg/L	1,9	1,9	1,8
ribeirão Água Clara - Poço 4	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão Água Clara - Poço 5	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01
ribeirão do Moquém - Entrada	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão do Moquém - Saída	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão do Moquém - Poço 1	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão do Moquém - Poço 2	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão do Moquém - Poço 3	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	0,393	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão do Moquém - Poço 4	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	3,157	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L
ribeirão do Moquém - Poço 5	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	0,558	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L	>6mg/L

Tabela 5.19 – Concentrações de cálcio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquém, no período de maio/00 a julho/01.

	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01
ribeirão Água Clara - Entrada	15,6	21,8	22,2	22,8	17,2	17,7	26,5	22,8	23,7	28,6	5,9	20,1	22,5	23,2	18,2
ribeirão Água Clara - Saída	20,3	25,6	18,2	19,9	17,1	19,8	20,3	21,1	22,4	22,2	2,9	10,8	21,5	20,5	20,4
ribeirão Água Clara - Poço 1	40,4	30,2	29,6	31,5	14,2	16,3	25,0	25,6	44,2	31,3	44,6	30,2	44,7	37,9	18,2
ribeirão Água Clara - Poço 2	10,2	16,4	20,1	23,1	8,4	5,5	11,1	10,2	15,0	19,2	21,3	12,3	15,6	17,7	10,1
ribeirão Água Clara - Poço 3	2,5	3,6	1,9	1,3	2,0	1,0	2,2	2,3	2,6	3,8	5,3	2,4	3,3	5,4	2,5
ribeirão Água Clara - Poço 4	5,5	5,2	7,9	3,0	4,3	5,4	4,2	8,1	3,1	6,2	4,0	5,8	8,4	8,6	4,2
ribeirão Água Clara - Poço 5	5,2	8,7	5,6	4,4	4,8	5,7	4,6	7,6	4,7	4,8	7,1	4,5	5,8	6,9	5,5
	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01
ribeirão do Moquém - Entrada	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	32,42	>50mg.L	>50mg.L	5,835	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L
ribeirão do Moquém - Saída	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	33,425	>50mg.L	>50mg.L	50,84	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L
ribeirão do Moquém - Poço 1	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	22,47	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L
ribeirão do Moquém - Poço 2	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	41,535	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L
ribeirão do Moquém - Poço 3	>50mg.L	>50mg.L	23,645	>50mg.L	>50mg.L	48,605	>50mg.L	>50mg.L	19,925	>50mg.L	24,19	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L
ribeirão do Moquém - Poço 4	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	7,284	>50mg.L	6,645	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L
ribeirão do Moquém - Poço 5	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	4,02	>50mg.L	6,675	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L	>50mg.L

Tabela 5.20 – Concentrações de ferro ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e Moquém, no período de maio/00 a julho/01.

	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01
ribeirão Água Clara - Entrada	20,9	31,2	45,6	7,1	10,9	4,2	11,0	12,8	26,8	22,2	18,8	10,1	9,2	10,8	10,4
ribeirão Água Clara - Saída	19,1	27,9	57,9	7,0	13,2	8,3	27,9	17,0	25,2	23,7	17,9	27,0	10,8	8,9	11,3
ribeirão Água Clara - Poço 1	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	23,195	165,98	51,935	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L
ribeirão Água Clara - Poço 2	140,2	150,0	178,5	160,4	127,2	46,3	163,6	175,1	173,4	185,7	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L
ribeirão Água Clara - Poço 3	75,6	51,5	35,8	95,6	74,5	64,8	97,9	87,1	73,2	77,4	79,6	90,7	85,1	60,7	7,4
ribeirão Água Clara - Poço 4	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	64,3	142,0	185,4	204,1	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L
ribeirão Água Clara - Poço 5	>200mg/L	>200mg/L	193,5	157,3	136,3	199,3	>200mg/L	217,5	178,0	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L	>200mg/L
	mai/00	jun/00	jul/00	ago/00	set/00	out/00	nov/00	dez/00	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01
ribeirão do Moquém - Entrada	3,2	2,6	4,6	3,0	8,5	5,7	8,7	15,7	11,4	10,5	17,1	8,4	3,5	3,7	14,2
ribeirão do Moquém - Saída	2,4	1,8	1,3	2,3	35,0	3,9	4,4	11,0	9,8	10,5	13,3	1,7	3,0	3,7	15,6
ribeirão do Moquém - Poço 1	17,5	18,6	6,6	3,8	24,4	1,2	17,5	6,5	7,3	0,6	1,7	15,3	5,4	11,1	7,4
ribeirão do Moquém - Poço 2	1,2	2,5	3,7	1,7	7,3	7,0	8,6	7,0	5,8	4,2	9,7	12,9	3,5	4,6	6,3
ribeirão do Moquém - Poço 3	8,8	6,2	8,0	82,7	5,0	8,9	25,1	54,0	0,2	9,7	8,0	2,1	8,8	13,8	14,2
ribeirão do Moquém - Poço 4	5,8	2,6	14,3	3,2	34,8	2,6	7,9	4,7	0,2	9,1	6,2	11,6	10,9	27,6	30,7
ribeirão do Moquém - Poço 5	25,9	30,4	65,5	20,3	12,7	2,8	5,8	98,3	0,6	7,2	5,7	56,2	97,4	49,3	36,0

### 5.3 – Resultados e considerações – Caracterização física e química sazonal.

A sazonalidade das características físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões do Moquém e Água Clara apresentou os mesmos padrões observados nas amostragens mensais. A amostragem, durante três dias consecutivos, teve como objetivo verificar as oscilações diárias das variáveis, bem como destacar as similaridades ou diferenças entre os meses de janeiro e julho considerados como períodos hidrológicos distintos (seca e chuva).

Os valores de pH observados nos meses de janeiro/01 e julho/01 estão apresentados nas figuras 5.35 e 5.36. Em ambos os ribeirões, a maior parte dos valores medianos de pH foram inferiores na amostragem de julho. As diferenças diárias foram maiores nas águas superficiais do ribeirão Água Clara tanto em janeiro/01 quanto em julho/01.

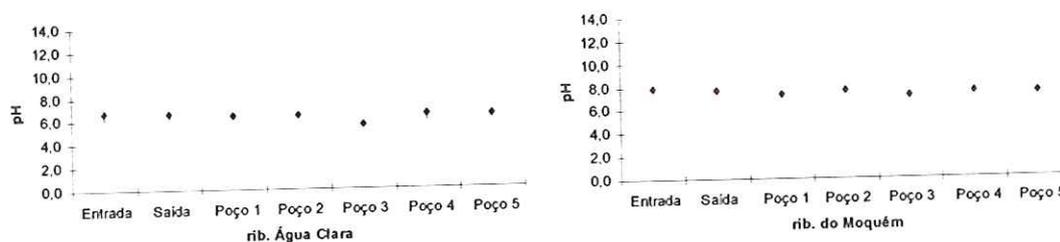


Figura 5.35 – Valores medianos, máximos e mínimos de pH dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

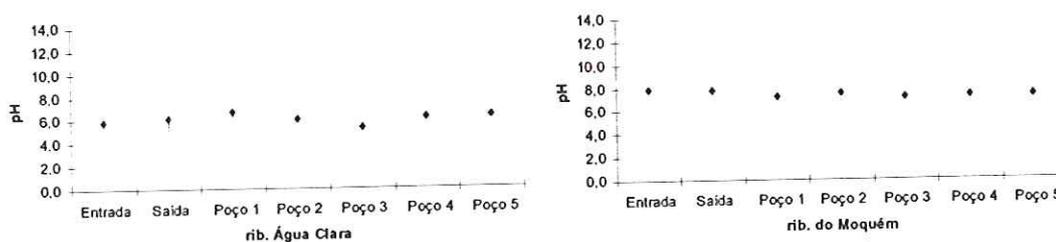


Figura 5.36 – Valores medianos, máximos e mínimos de pH dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

Os valores médios de condutividade, no ribeirão do Moquém, apresentaram comportamento diferenciado entre as águas superficiais e subterrâneas. Nas águas superficiais os valores no período de seca foram em torno de 40% superiores aos do período chuvoso, com amplitudes também superiores. Nas águas dos poços, os valores médios foram inferiores no período de seca. No ribeirão Água Clara, os valores médios de condutividade e suas amplitudes foram inferiores no período de seca (exceção ao poço 4) (figura 5.37 e 5.38).

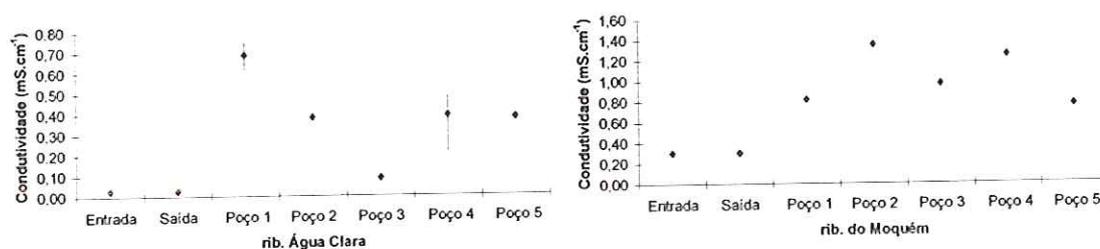


Figura 5.37 – Valores médios, máximos e mínimos de condutividade ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

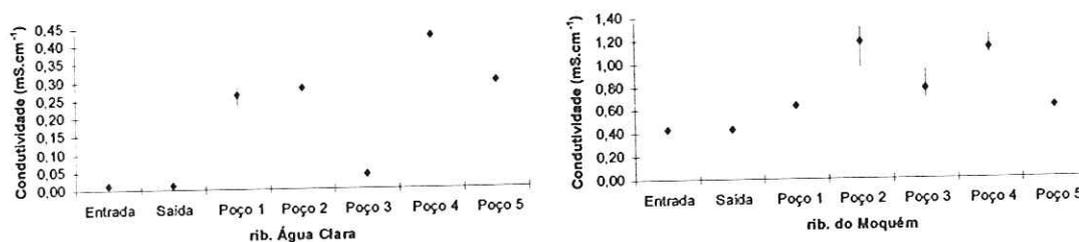


Figura 5.38 – Valores médios, máximos e mínimos de condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

Os valores médios de alcalinidade e  $\text{HCO}_3^-$  nas amostragens concentradas de janeiro de julho de 2001, no ribeirão Água Clara foram inferiores nas águas superficiais e na maior parte dos poços, no período de seca. No ribeirão do Moquém, as águas superficiais apresentaram valores médios de alcalinidade em torno de 80% superiores no período de seca, enquanto nas águas subterrâneas eles foram semelhantes nos dois períodos, o que diminuiu a diferença de condutividade e (figuras 5.39 e 5.40 -alcalinidade) (5.41 e 5.42 –  $\text{HCO}_3^-$ ). No ribeirão do Moquém, como já observado nas amostras mensais, o  $\text{HCO}_3^-$  é a forma dominante de carbono.

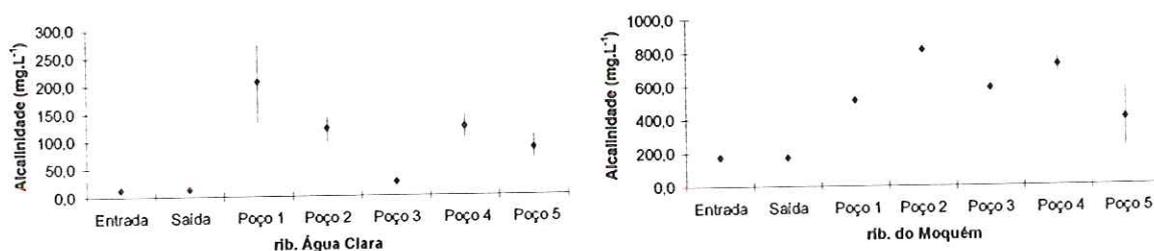


Figura 5.39 – Valores médios, máximos e mínimos de alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

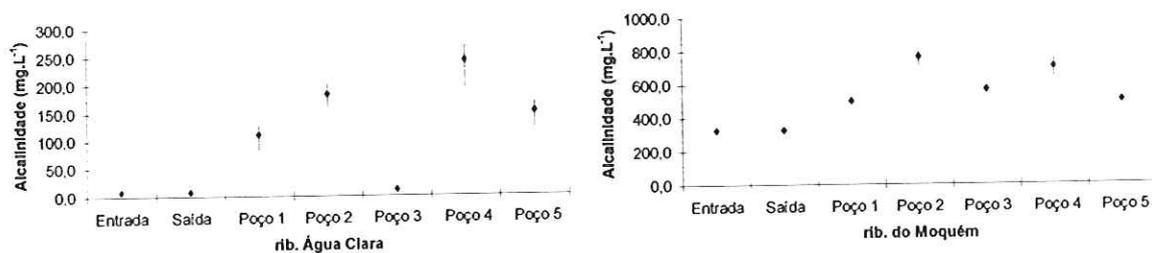


Figura 5.40 – Valores médios, máximos e mínimos de alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquéem e Água Clara no mês de julho de 2001.

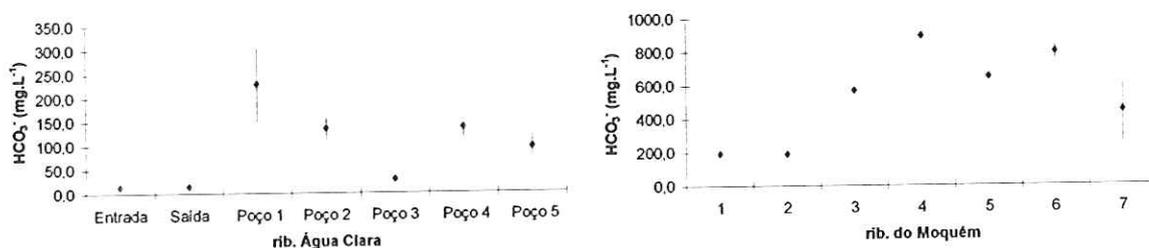


Figura 5.41 – Concentrações médias, máximas e mínimas de  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquéem e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

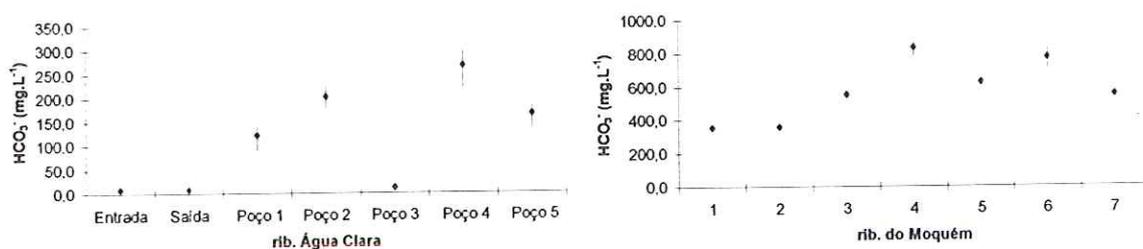


Figura 5.42 – Concentrações médias, máximas e mínimas de  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquéem e Água Clara no mês de julho de 2001.

As concentrações de  $\text{CO}_2$  livre nas amostras subterrâneas dos ribeirões Água Clara e do Moquéem foram ligeiramente inferiores no período de seca, porém nas águas superficiais essas concentrações foram três vezes superiores no ribeirão Água Clara e duas vezes superiores no ribeirão do Moquéem (figuras 5.43 e 5.44).

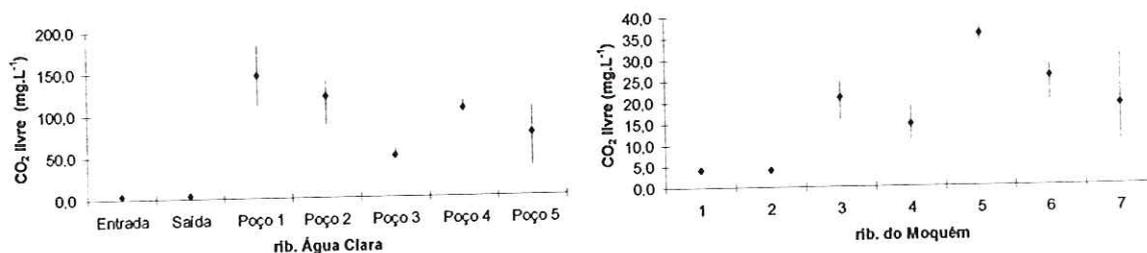


Figura 5.43 – Concentrações médias, máximas e mínimas de CO<sub>2</sub> livre (mg.L<sup>-1</sup>) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

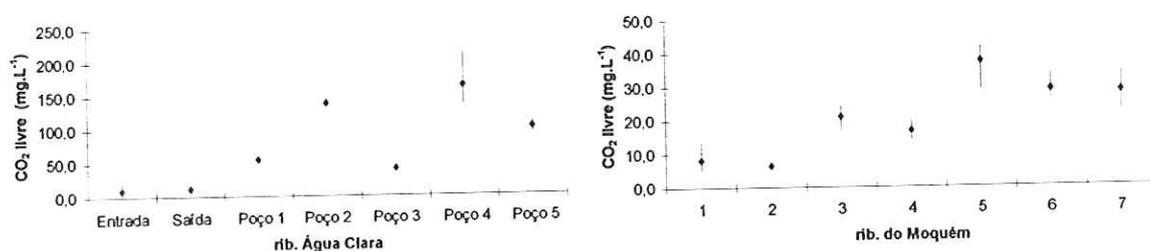


Figura 5.44 – Concentrações médias, máximas e mínimas de CO<sub>2</sub> livre (mg.L<sup>-1</sup>) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

Os valores de salinidade nas águas do ribeirão Água Clara, superficiais e subterrâneas, foram parecidos nos dois períodos hidrológicos. No ribeirão do Moquém, nas águas superficiais, os valores foram semelhantes nos dois períodos, enquanto que, em julho a salinidade das águas subterrâneas diminuiu ligeiramente (figuras 5.45 e 5.46).

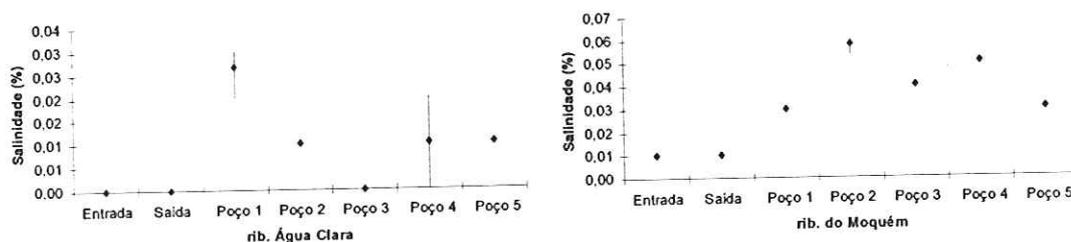


Figura 5.45 – Valores médios, máximos e mínimos de salinidade (%) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

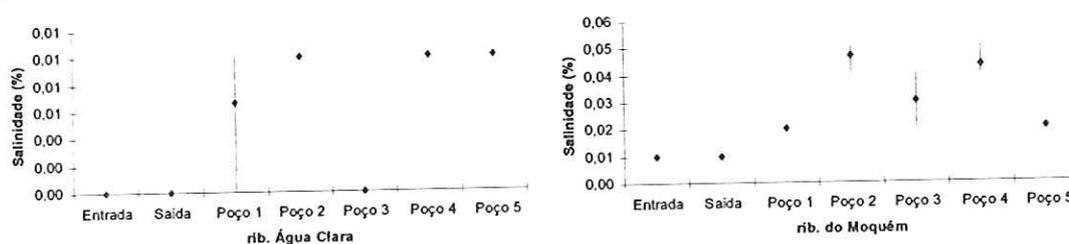


Figura 5.46 – Valores médios, máximos e mínimos de salinidade (%) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

Os valores de temperatura diferenciaram-se entre as águas superficiais e subterrâneas nos dois períodos. No ribeirão do Moquém, as águas subterrâneas mostraram-se mais frias do que as superficiais no período chuvoso. No ribeirão Água Clara e no do Moquém, no período de seca, as águas subterrâneas apresentaram temperaturas mais elevadas. Como esperado em todas as amostras, os valores foram inferiores no período de seca, quando comparadas com o chuvoso. As águas superficiais do ribeirão Água Clara apresentaram temperatura em torno de 5°C inferiores e, no ribeirão do Moquém 8°C inferiores; nas águas subterrâneas, aproximadamente de 6°C e 2°C inferiores, respectivamente (Figuras 5.47 e 5.48).

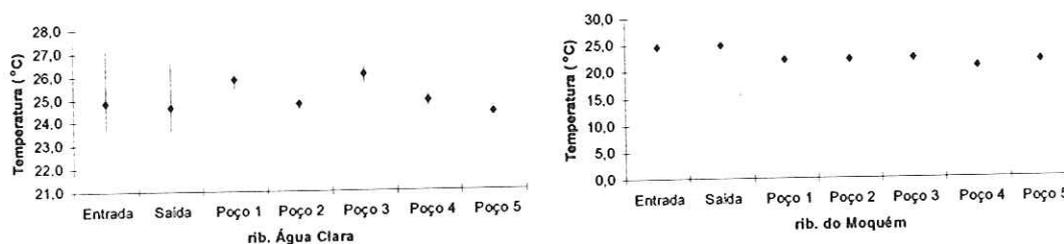


Figura 5.47 – Valores médios, máximos e mínimos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquéem e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

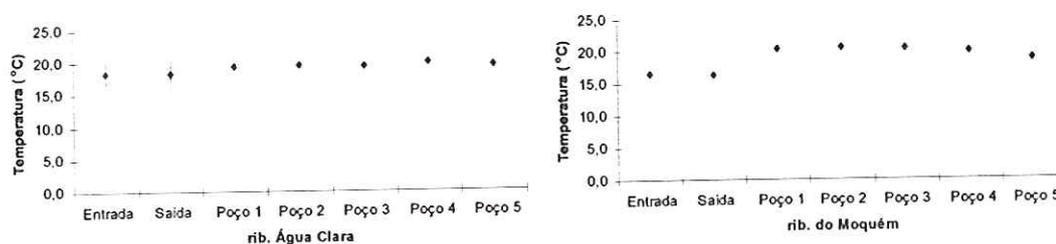


Figura 5.48 – Valores médios, máximos e mínimos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquéem e Água Clara no mês de julho de 2001.

As concentrações de oxigênio dissolvido são diretamente influenciadas pelas temperaturas; possivelmente por esse motivo, no período de seca (inverno) essas concentrações nas águas superficiais no ribeirão Água Clara e das águas subterrâneas no ribeirão do Moquéem foram superiores, especialmente essas últimas, que alcançaram um máximo de  $1,65 \text{ mg.L}^{-1}$  no poço 4 (Figuras 5.49 e 5.50).

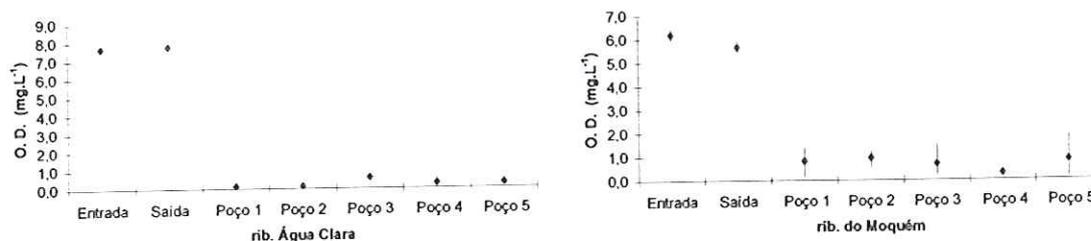


Figura 5.49 – Concentrações médias, máximas e mínimas de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquéem e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

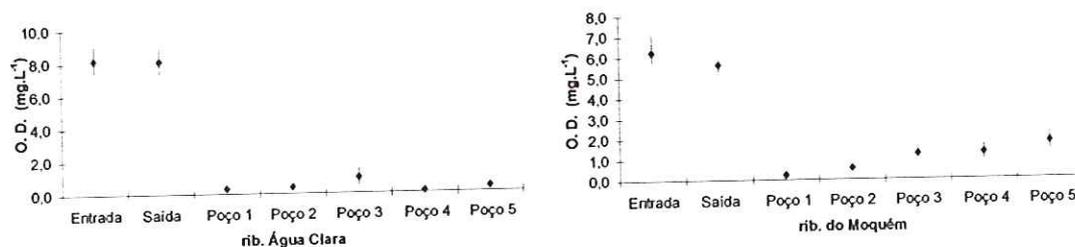


Figura 5.50 – Concentrações médias, máximas e mínimas de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

Das formas dissolvidas de nitrogênio, o nitrogênio amoniacal (figuras 5.51 e 5.52) e o nitrito (5.53 e 5.54), em ambos os ribeirões estudados, foram inferiores na seca nas águas superficiais; nas subterrâneas, não foi observado nenhum padrão que diferenciasse as amostras nos dois períodos, enquanto em alguns poços essas concentrações aumentaram e em outros diminuíram. Contrariamente, as concentrações de nitrato (figuras 5.55 e 5.56) aumentaram nas águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara (com exceção do poço 3); no do Moquém, ocorreu uma queda de aproximadamente  $40 \mu\text{g.L}^{-1}$  nas águas superficiais; nas águas subterrâneas as concentrações de nitrato aumentaram nos poços mais distantes do rio (1, 2 e 3), e diminuíram nos mais próximos (4 e 5).

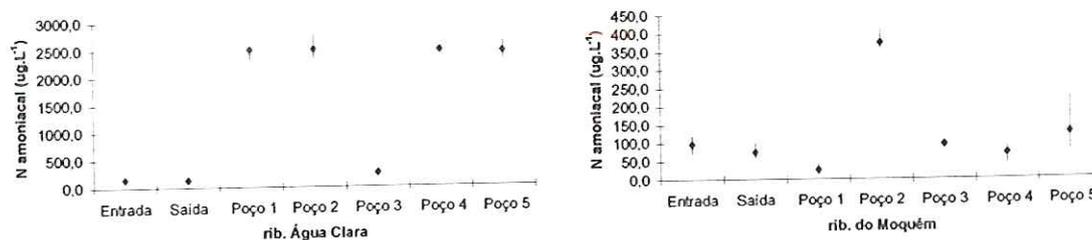


Figura 5.51 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrogênio amoniacal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

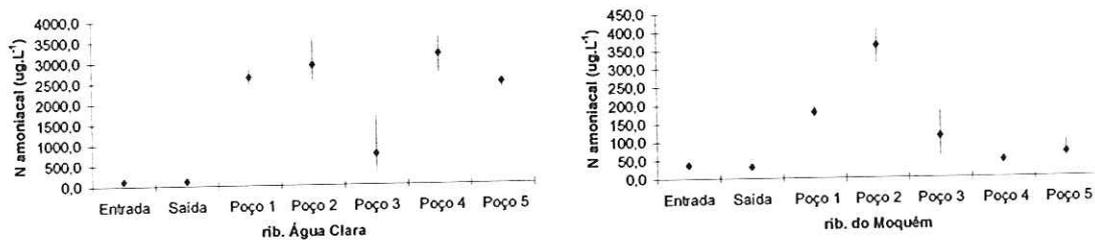


Figura 5.52 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrogênio amoniacal ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

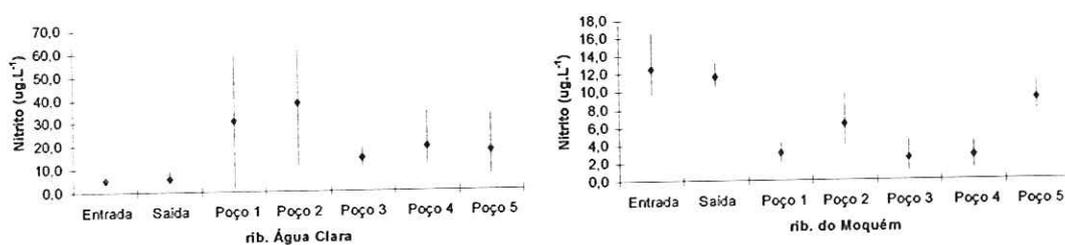


Figura 5.53 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrito ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

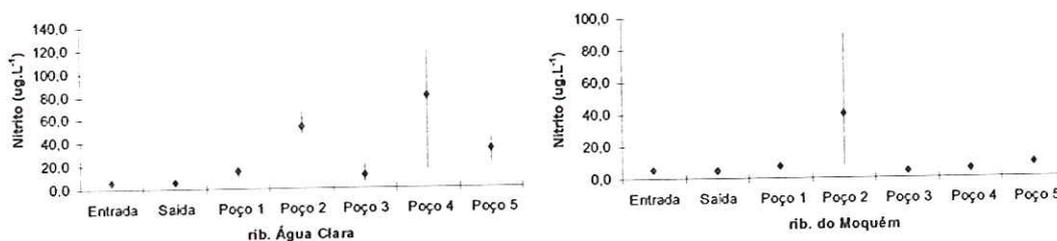


Figura 5.54 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrito ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

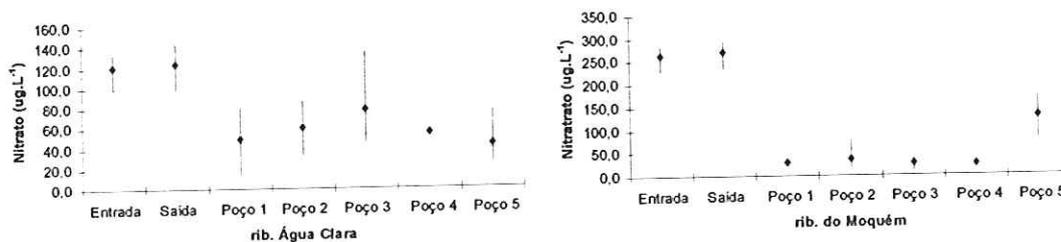


Figura 5.55 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

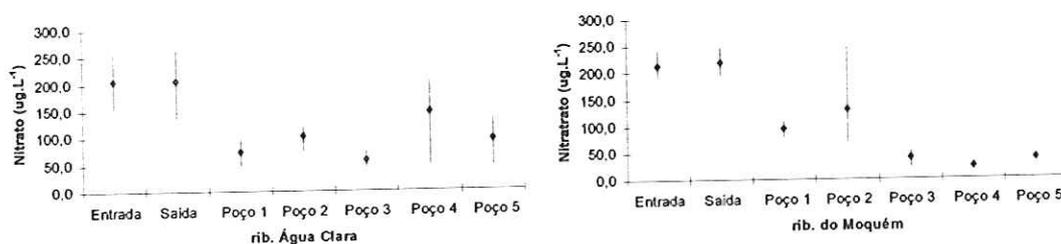


Figura 5.56 – Concentrações médias, máximas e mínimas de nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

As formas dissolvidas de fósforo não apresentaram um padrão de aumento ou diminuição nas águas subterrâneas, como observado em algumas formas de nitrogênio. Nas águas superficiais ocorreu um aumento no ribeirão Água Clara e uma diminuição no do Moquém. Os gráficos das formas de fósforo estão apresentados nas figuras 5.57 até 5.60.

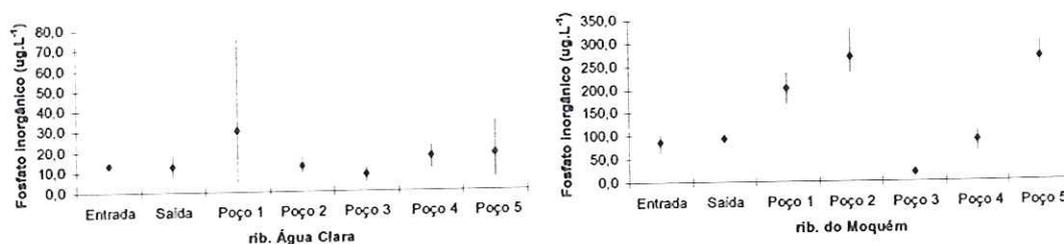


Figura 5.57 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

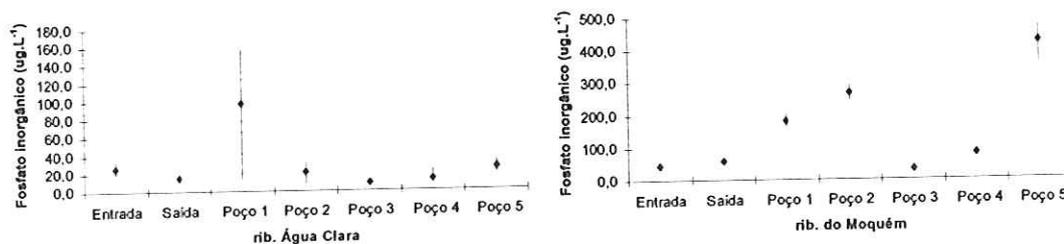


Figura 5.58 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

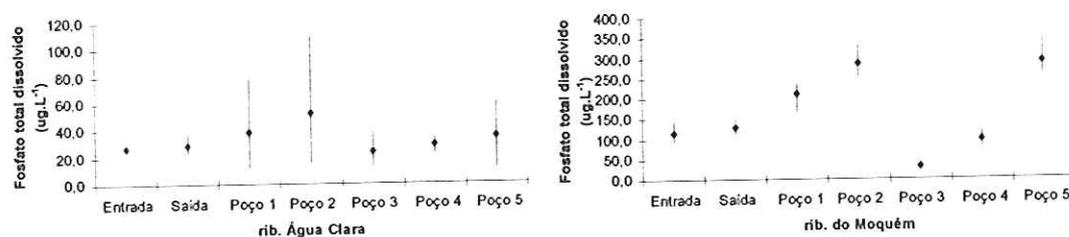


Figura 5.59 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

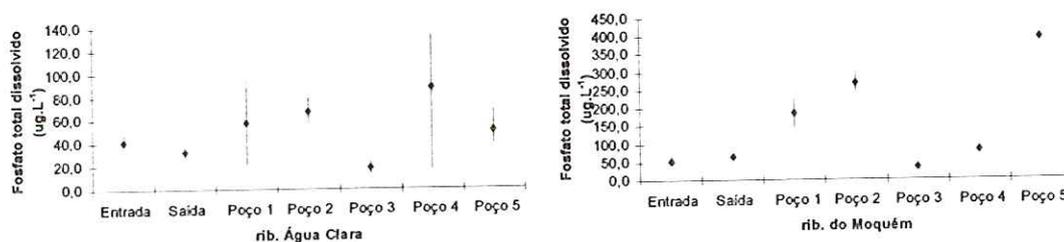


Figura 5.60 – Concentrações médias, máximas e mínimas de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

As concentrações médias de silicato reativo foram superiores nos poços do ribeirão Água Clara, no período de seca. No ribeirão do Moquém, as concentrações médias foram semelhantes em ambos os períodos amostrados, porém as amplitudes foram superiores no período chuvoso (em torno de 50% dos valores médios) (figuras 5.61 e 5.62).

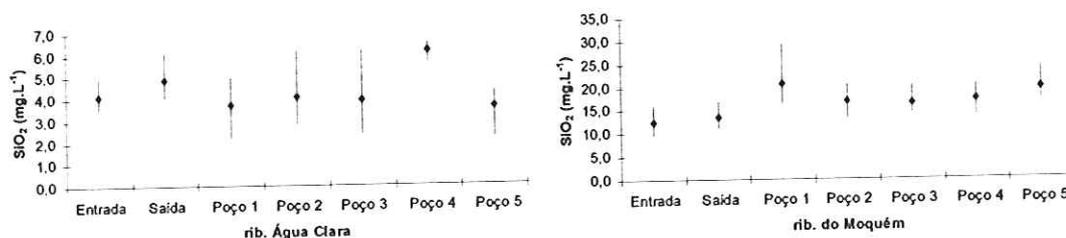


Figura 5.61 – Concentrações médias, máximas e mínimas de silicato reativo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de janeiro de 2001.

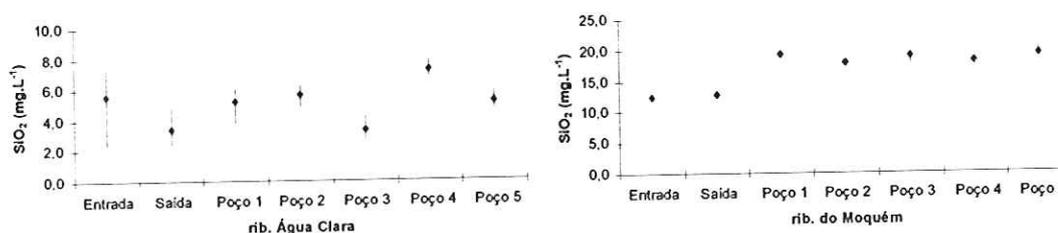


Figura 5.62 – Concentrações médias, máximas e mínimas de silicato reativo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos três dias de amostragem nos ribeirões do Moquém e Água Clara no mês de julho de 2001.

A relação entre as águas superficiais e subterrâneas nas amostragens de janeiro e julho foi observada com auxílio de uma análise de agrupamento, realizada no programa FITOPAC desenvolvido por Shepard (1988). Foram utilizadas as médias dos três dias de amostragem de todos os parâmetros analisados, em todas as estações de amostragem. A “Distância Euclidiana Média” foi o coeficiente de associação utilizado e como método de agrupamento foi utilizada a variância mínima ou “Método de Ward”.

A análise de agrupamento realizada para o mês de janeiro/01 diferenciou as amostras, superficiais e subterrâneas, do ribeirão do Moqué m das estações do ribeirão Água Clara. No ribeirão Água Clara, o poço 3 diferenciou-se dos demais, ficando mais próximo das águas superficiais. Utilizando-se um nível de corte com a distância euclidiana média de 15 distinguiram-se três grupos: o primeiro, formado pelos poços do ribeirão água Clara com exceção do poço 3; o segundo grupo, formou-se pela união das seções transversais do ribeirão Água Clara e o poço 3; o terceiro, formado pelas amostras de água superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué m. As amostras das águas superficiais e subterrâneas do ribeirão do Moqué m uniram-se a uma distância euclidiana média menor das que fundiram-se as do ribeirão Água Clara, o que pode indicar que no ribeirão Água Clara ocorre uma maior diferenciação entre as águas superficiais e subterrâneas, com exceção do poço 3 (figura 5.63).

Na análise realizada com os dados de julho/01 (figura 5.64) a distribuição dos grupos foi semelhante a apresentada com os de janeiro. O ribeirão Água Clara, como ocorreu em janeiro, formou inicialmente dois grupos: o primeiro, contendo as amostras de águas subterrâneas com exceção do poço 3 que agrupou-se com as amostras de águas superficiais, mas distintamente de janeiro esses dois grupos uniram-se em uma distância euclidiana em torno de 17. O ribeirão do Moqué m formou um grupo a parte, que distinguiu as amostras das águas superficiais das subterrâneas, que se reuniu ao grupo formado pelo ribeirão Água Clara a uma distância euclidiana próxima de 20.

Avaliando-se as distâncias euclidianas a partir das quais formaram-se os grupos, nos dois períodos, é possível afirmar que as águas superficiais e subterrâneas do ribeirão Água Clara, diferenciam-se mais entre si do que as águas do ribeirão do Moqué m. Porém essa diferenciação diminui no período de seca.

Um dos fatores que contribui para a diferenciação entre as águas superficiais e subterrâneas, observada nos dados mensais como nos utilizado na análise de agrupamento, deve-se ao fato das águas subterrâneas serem amostradas na zona ripária, onde o fluxo é lento devido a baixa declividade. Possivelmente, por esse motivo o poço 3 do ribeirão Água Clara apresenta semelhança com as águas superficiais, uma vez que esse encontra-se

instalado fora da zona ripária. Trabalhos que avaliem diretamente essa relação poderiam esclarecer melhor esse comportamento.

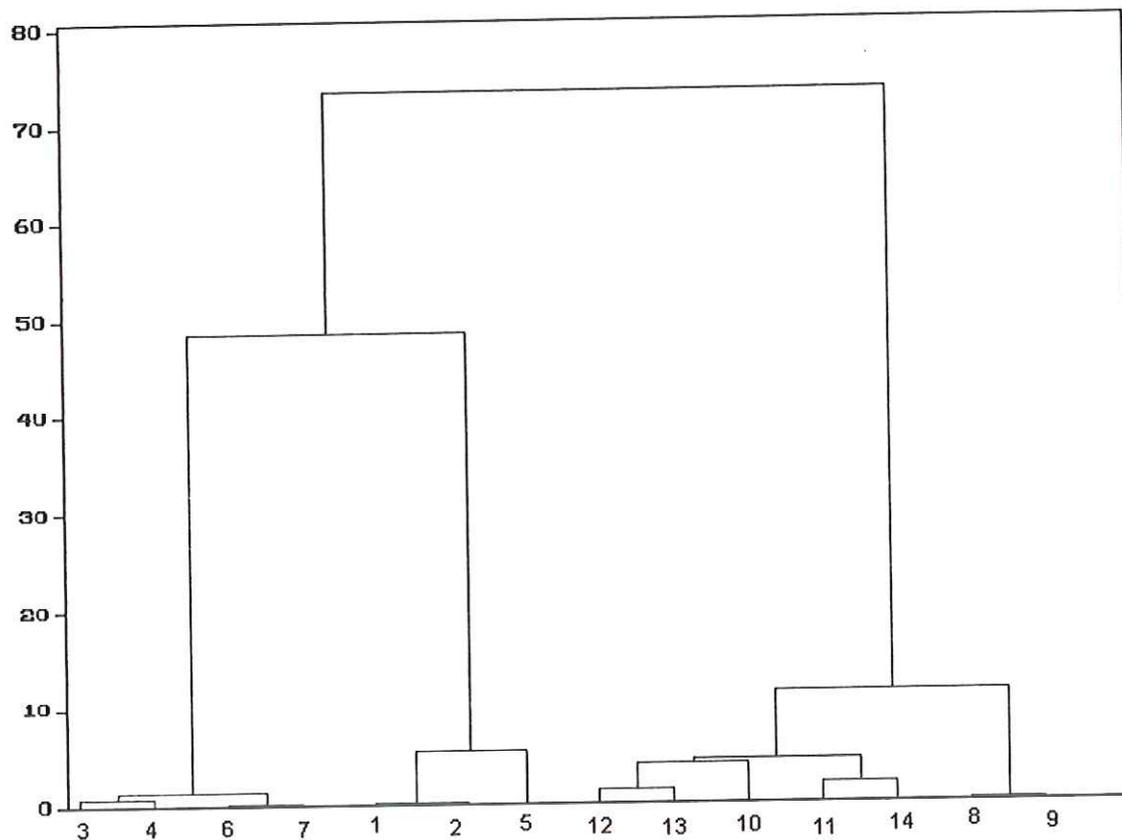


Figura 5.63 – Dendrograma da análise de agrupamento das médias das variáveis físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e do Moquém, durante a amostragem concentrada de janeiro/01. (1 – Seção transversal de entrada do ribeirão Água Clara; 2 – Seção transversal de saída; 3 – Poço 1; 4 – Poço 2; 5 – Poço3; 6 – Poço 4; 7 – Poço 5; 8 - Seção transversal de entrada do ribeirão do Moquém; 9 – Seção transversal de saída; 10 – Poço 1; 11 – Poço 2; 12 – Poço 3; 13 – Poço 4; 14 – Poço 5.)

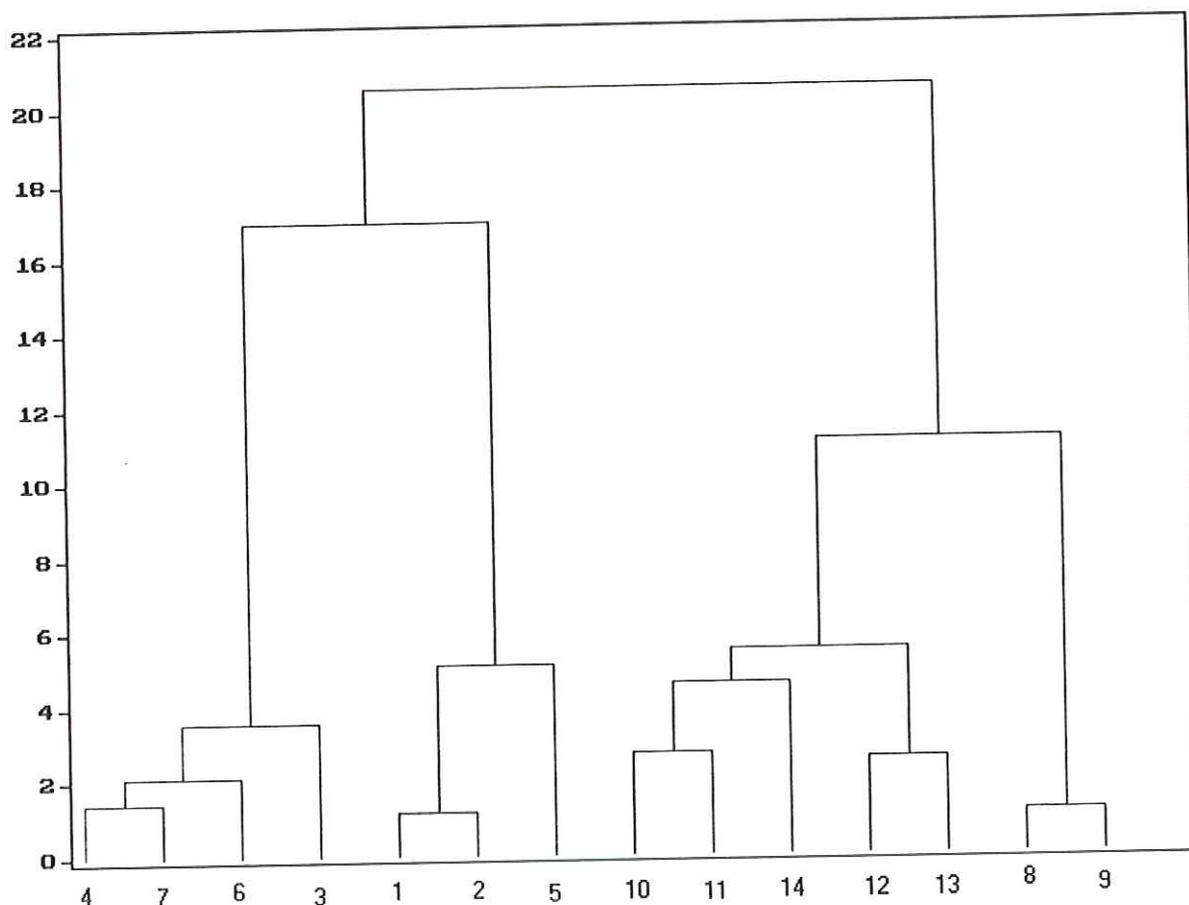


Figura 5.64 – Dendrograma da análise de agrupamento das médias das variáveis físicas e químicas das águas superficiais e subterrâneas dos ribeirões Água Clara e do Moquém, durante a amostragem concentrada de julho/01. (1 – Seção transversal de entrada do ribeirão Água Clara; 2 – Seção transversal de saída; 3 – Poço 1; 4 – Poço 2; 5 – Poço3; 6 – Poço 4; 7 – Poço 5; 8 - Seção transversal de entrada do ribeirão do Moquém; 9 – Seção transversal de saída; 10 – Poço 1; 11 – Poço 2; 12 – Poço 3; 13 – Poço 4; 14 – Poço 5.)

Ometto et al. (2000) estudou os efeitos do uso do solo na química das águas em dois rios na região de Piracicaba (São Paulo): o rio Pisca e o das Cabras. A bacia do primeiro rio apresenta alta urbanização e plantações de cana de açúcar; a segunda, apresenta baixa urbanização e áreas de pastagem. Os autores encontraram significativas diferenças na composição química das águas das duas bacias (nitrato, oxigênio dissolvido, carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, alcalinidade, sódio, cálcio, magnésio, entre outras), sendo que as maiores concentrações em ambos os rios foram observadas nos pontos de amostragem mais a jusante. Nesses locais, as concentrações encontradas foram em torno de 2 a 3 vezes superiores na bacia que apresenta alta urbanização, destacando o nitrogênio amoniacal que apresentou concentrações 28 vezes maiores.

Na presente pesquisa os valores médios nas águas superficiais foram maiores no ribeirão do Moquém, em torno de 10 vezes para condutividade, 20 para alcalinidade, 5 para fosfato inorgânico, 4 para fosfato total dissolvido, 3 para fósforo total, 3 para silicato reativo. As concentrações médias de nitrato e nitrogênio amoniacal foram próximas nos dois ribeirões. A maior diferenciação foi observada nos elementos inorgânicos inorgânica. Como as duas bacias hidrográficas diferem, essencialmente, quanto a geologia (conforme descrito no capítulo 2), as características químicas das águas apresentadas foram, provavelmente, reflexos direto dessas. Classicamente, elevados valores de condutividade (por exemplo) como os apresentados no ribeirão do Moquém são associados às atividades antrópicas, especialmente as concentrações urbanas conforme os dados de Ometto et al. (2000).

Stumm e Morgan (1981) definem o estudo da química aquática como a avaliação processos químicos que afetam a distribuição e a circulação das espécies químicas nas águas naturais, que por sua vez são direcionadas, principalmente, por fundamentos da química tradicional e; secundariamente, por outras ciências como a geologia e biologia. Para estes autores as relações entre o fluxo e a concentração de soluto em ecossistemas lóticos podem ser ilustradas por dois casos: (1) o escoamento superficial direto é pequeno em relação aos fluxos sub-superficial e subterrâneo, conseqüentemente, as concentrações de soluto no rio são independentes do fluxo; (2) o escoamento superficial direto é superior aos fluxos subterrâneos, assim, a concentração de solutos na água é inversamente proporcional ao fluxo. Essas relações foram observadas, por exemplo, no ribeirão do Moquém, a primeira nos meses de baixas vazões e, a segunda no de altas vazões.

Segundo Sear et al. (1999), fluxos de base altos podem ser um critério para definir dominância da águas subterrâneas, conforme explicitado no capítulo 3. Outra maneira de avaliar a presença das águas subterrâneas nas superficiais é através da química das águas. Pois, a litologia do aquífero determina a química da águas, a composição do substrato e através desses a ecologia dos sistemas lóticos. Além da contribuição dos aquíferos regionais, os canais podem ainda estabelecer relações de fluxo com as vizinhanças através dos sedimentos saturados ao redor do canal.

#### 5.4 – Considerações finais

As observações dos resultados do presente trabalho permitem traçar as seguintes considerações.

- A diferenciação na química das águas superficiais dos ribeirões estudados, possivelmente, é uma resposta as características naturais das bacias.
- A química das águas subterrâneas, amostradas nas adjacências do canal, indicou menores concentrações de oxigênio dissolvido, devido a dois fatores: lentidão do fluxo e consumo através da respiração da comunidade, especialmente no ribeirão Água Clara.
- As menores oscilações das temperaturas, ao longo do período de amostragem, nas águas subterrâneas, demonstraram a maior estabilidade atribuída aos ambientes subterrâneos. Especialmente, no ribeirão do Moquém onde, o nível de água era mais profundo.
- Nos períodos onde somente o fluxo de base alimentava o ribeirão do Moquém, as concentrações de solutos nas suas águas foram altas em vazões baixas.
- Nos dois trechos de estudo, as diferenciações entre as águas superficiais e subterrâneas, evidenciadas, entre outros momentos, nas análises de agrupamento realizadas, podem indicar trocas pequenas e/ou lentas entre o canal do rio e suas adjacências.
- Considerando-se as amostragens nos períodos seco e o chuvoso, observou-se a maior diferenciação entre as águas superficiais e subterrâneas no período chuvoso.

- A relação, entre os ribeirões, de menores concentrações nas águas e maiores nos testemunhos, pode ter indicado um potencial de complexação e, possivelmente retirada de alguns materiais da água nos sistemas subterrâneos; no sentido contrário, a relação maiores concentrações nas águas e menores nos testemunhos pode indicar a incorporação de materiais a água quando elas adentram os sistemas subterrâneos;
- As características, distintas, entre as águas dos ribeirões do Moqué e Água Clara devem ser observadas durante a tomada de decisão em processos de gestão. Para que essa necessidade seja efetivada, ressalta-se, mais uma vez, a importância dos Planos de Recursos Hídricos.

## 5.5 – Referências bibliográficas

- APHA, AWWA; WEF (1995). Standard methods: for the examination of water and wastewater, 19ed. Washington, American Public Health Association.
- BRASIL (1986) Resolução CONAMA 20/1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 30 jul. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 14/04/2003.
- BRASSINGTON, R. (1998) Field Hydrogeology. 2. Ed. John Wiley & Sons, New York, 248p.
- CARMOUZE, J-P. (1994). O metabolismo dos ecossistemas aquáticos - Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análise químicas. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. e Editora FAPESP.
- DAHM, C.N.; VALLET, H.M. (1996) Hyporeic Zones. In: HAUER, F.R.; LAMBERT, G.A. Methods in Stream Ecology. Cap 6. Academic Press, London.
- DANELON, O M.; MOREIRA-NORDERMANN, L (1991). Ocorrência natural e antropogênica de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na bacia do rio Quilombo (Cubatão-SP). Revista Brasileira de Geociências. v. 21, n.1, p. 96-101, março.
- FINDLAY, S. (1995) Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: the hyporheic zone. Limnology and Oceanography., v.40, n.1, p.159-164.
- GOLTERMAN, H.L., CLYNO, R.S.; OHNSTAO, M. A. M. (1978). Methods for physical and chemical analysis of fresh water. 2. ed. - IBP. Handbook n ° 8. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- GRIMM, N.B. (1996) Surface-Subsurface Interactions in Streams. In: HAUER, F.R.; LAMBERT, G.A. Methods in Stream Ecology. Academic Press, London. Cap. 30, p. 625-646.
- HILL, A.R.; LYMBURNER, D.J. (1998) Hyporheic zone chemistry and stream-surface exchange in two groundwater-fed streams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. v. 55, p. 495-506.

- HYNES, H.B.N. (1983) Groundwater and stream ecology. Hydrobiologia. n.100, p. 93-99
- JOHNSON, L.B.; RICHARDS, C.; HOST, G.E. & ARTHUR, J.W. (1997). Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. Freshwater Biology, v. 37, p. 193-208.
- JONES, J.B.; HOLMES, R.M. (1996) Surface-subsurface interactions in stream ecosystems. Trends of Ecology and Evolution. v. 11, n. 6, p. 239-242.
- KOROLEFF, M. (1976). Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (ed.) Methods of sea water analysis. Verlag. Chemie e Weinham., p117-181.
- LEITE, A. F.; SILVEIRA, C.S.; NETTO, A.L.C. (1999) Hidrogeoquímica em uma bacia montanhosa florestada: uma abordagem geo-hidrológica. In: Forum Geo-bio-hidrologia – Estudos em Vertentes e Microbacias Hidrográficas, Curitiba – PR, Anais, p. 190-200.
- MACKERETH, F.J.H., HERON, J.; TALLING, J.F. (1978). Water analysis: some revised methods for limnologist. Cumbria, Freshwater Biological Association.
- MARGALEF, R.(1983). Limnología. Barcelona, Ed. Omega. 1010p.
- MEYBECK; M.; KIMSTACH, V.; HELMER, R. (1996a). Strategies for water quality assessment. In: CHAPMAN, D Water Quality Assessments: Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2ed. Chapman & Hall Editors. Cap 2. p. 23-58.
- MEYBECK, M.; FRIEDRICH, G.; THOMAS, R.; CHAPMAN, D. (1996b). Rivers. In: CHAPMAN, D.. Water Quality Assessments: Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring.. 2ed. Chapman & Hall Editors. Cap 6. p. 243 –318.
- MOREIRA - NORDERMAN, L. (1981) Geochemistry of some brazilian rivers. Revista Brasileira de Geociências, v. 11, n. 3, p. 153-158, setembro.
- OMETTO, J.P.H.B.; MARTINELLI, L.A.; BALLESTER, M.V.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; WILLIAMS, M. (2000) Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two strams of Piracicaba river basin, south-east Brazil. Freshwater Biology. v. 44, p. 327-337.

- POFF, N.L.; ALLAN, D.; BAIN, M.B.; KARR, J.B.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C. (1997) The natural flow regime - A paradigm for river conservation and restoration. BioScience. v. 47, n. 11, p. 769-784.
- PORTO, et al. (1991). Caracterização e alterações da qualidade da água - Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, et al. Hidrologia Ambiental. São Paulo, EDUSP. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). Cap. 2, p. 27-68
- SANTOS, A.C. (1997) Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F.A.C. ; MANOEL FILHO, J. (coord.) Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza. Cap. 5, p. 81-108
- SEAR, D.A.; ARMITAGE, P.D.; DAWSON, F.H. (1999) Groundwater dominated rivers. Hydrological Processes. v. 13, p. 255-276.
- SHEPARD, G.J. (1988). Fitopac . Versão preliminar. Departamento de Botânica da UNICAMP.
- STRICKLAND, J.D. & PARSONS, T. R. (1960). A manual of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Be. Cam., vol. 125, p. 1-185.
- STUMM, W.; MORGAN, J.J. (1981) Aquatic chemistry- an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 2 ed. John Wiley & Sons, United States of America. 780p.
- WETZEL, R. (1993) Limnologia. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 919p.

## **CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS LÓTICOS - RIBEIRÕES DO MOQUÉM E ÁGUA CLARA.**

No presente capítulo são sintetizadas as considerações relativas aos cinco capítulos anteriores contemplando-se as características das bacias hidrográficas e como essas refletiram na hidrologia dos ribeirões Água Clara e do Moqué, quantitativa e qualitativamente.

As duas bacias hidrográficas estudadas deferiram, essencialmente, nas características geológicas. O ribeirão Água Clara drena áreas formadas por sedimentos mais permeáveis quando comparado ao do Moqué. A avaliação inicial do presente estudo foi ao nível das bacias hidrográficas, e em um segundo momento ela ocorreu em uma escala mais detalhada, o trecho.

O trecho de estudo localizou-se, em ambos os ribeirões, no final do curso. Nessa avaliação foi possível destacar três pontos que podem influenciar diretamente no funcionamento desses sistemas: a presença da vegetação ciliar, o tipo de fundo e a forma do leito.

A presença da vegetação ciliar, ao longo do curso do ribeirão do Moqué, é uma fonte de matéria orgânica e de detritos que permite o sombreamento do trecho e está ausente no ribeirão Água Clara.

Quando se observa o tipo de fundo, os sedimentos mais finos da Formação Corumbataí conferem ao trecho do ribeirão do Moqué menor mobilidade do leito e a formação de mosaicos de habitats, especialmente, em função das oscilações nas profundidades ao longo do trecho e das seções transversais. O fornecimento de detritos pela vegetação no trecho do ribeirão do Moqué potencializa esse cenário.

Por último, o leito encaixado e profundo do trecho de estudo no ribeirão do Moquéim permite o escoamento da água rapidamente no período de maiores chuvas. As águas atingem a planície de inundação somente durante um pequeno período, nos eventos mais críticos, quando alimenta depressões e lagoas. As lagoas podem estocar água por um longo período, de acordo com a profundidade, uma vez que os sedimentos são pouco permeáveis. No ribeirão Água Clara o leito é raso, assim no período de maiores chuvas a água extravasa para a planície de inundação em alguns pontos do canal. Porém, não se formam lagoas e sim áreas alagadas em função da maior permeabilidade dos sedimentos e da profundidade da camada freática.

Ao mesmo tempo em que o material da planície de inundação no ribeirão do Moquéim favorece a acumulação de água nas camadas superiores do solo e em lagoas e depressões, no ribeirão Água Clara o material favorece a percolação da água para a camada freática que aflora em alguns pontos. Dessa maneira, em ambos os trechos estudados a água que entra em contato com o material da planície de inundação apresenta maior tempo de detenção, quando comparada com a água que percorre o canal (incluindo a que se acumula em depressões no canal). O maior tempo de contato entre as águas e o material da planície de inundação favorece a incorporação de materiais à água, especialmente, no ribeirão Água Clara onde a fração arenosa foi dominante. Nesse sentido, no ribeirão do Moquéim como a fração argilosa foi a predominante a adsorção de materiais aos sedimentos é mais intensa quando comparada com o ribeirão Água Clara.

As diferenças observadas entre os materiais que compõe a planície de inundação nos trechos dos dois ribeirões estudados, também fornecem indícios para uma possível diferenciação no desenvolvimento de regiões hiporrêicas. O material do ribeirão Água Clara, onde predomina a fração argilosa, permite que a água circule nas camadas subterrâneas com maior facilidade do que no ribeirão do Moquém, onde a fração argilosa foi dominante. Associando essa característica a profundidade do leito, nos dois trechos estudados, avalia-se que as regiões hiporrêicas nos dois trechos desenvolvam-se de maneira distinta.

No ribeirão do Moquém a camada freática está presente na planície de inundação, em profundidades semelhantes a do leito. Assim, a zona hiporrêica desenvolve-se, possivelmente, de duas maneiras: somente abaixo do canal até a zona de saturação, ou abaixo do canal até a zona de saturação expandindo-se lateralmente na zona de saturação.

No ribeirão Água Clara, onde o leito do rio é raso, a planície de inundação é formada por materiais que dificultam a colmatção e a freática está localizada a poucos centímetros da superfície, acredita-se que a zona hiporrêica se desenvolva abaixo e nas laterais do canal até a camada freática.

A quantidade de água que circula no ribeirão do Moquém, nos meses secos, é inferior a do Água Clara. Esse cenário é uma resposta a menor quantidade de água proveniente do fluxo de base no ribeirão do Moquém. Para o funcionamento do sistema lótico essa diferenciação na quantidade de água merece destaque. O metabolismo do sistema lótico é diretamente relacionado ao seu fluxo. Com menores vazões, o escoamento dos materiais é diminuído e o processamento é aumentado, uma vez que ocorre acumulação nas margens e em depressões.

As vazões são um reflexo direto das precipitações, porém as características das bacias hidrográficas influem na distribuição das mesmas. No ribeirão do Moquém, onde os valores de vazão no período de chuvas são superiores aos do período seco, a distribuição das vazões é mais irregular do que no Água Clara. No funcionamento dos sistemas lóticos uma grande oscilação nas vazões pode acarretar em rearranjos na distribuição dos habitats e na disponibilidade de materiais para processamento.

As características físicas e químicas tanto das águas superficiais como subterrâneas nos ribeirões do Moquém e Água Clara indicaram, assim como as vazões, diferenças entre o funcionamento dos dois ribeirões. As diferenças geológicas influenciam diretamente no tipo e na quantidade de materiais presentes nas águas. Como os outros fatores acima descritos, a disponibilidade de materiais em termos quantitativos e qualitativos é responsável pelo estado trófico do sistema lótico.

A partir das diferenças observadas entre os trechos dos ribeirões estudados, recomenda-se a necessidade da observação das características das bacias hidrográficas e da dinâmica de materiais entre os sistemas superficiais e subterrâneos, fatores estes fundamentais para a compreensão do funcionamento dos sistemas lóticos.