

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA**

CLOVIS FERREIRA DO CARMO

**INFLUÊNCIA DO AQÜÍFERO FREÁTICO NA DINÂMICA
DE NUTRIENTES (NITROGÊNIO E FÓSFORO) EM LAGOAS
COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS.**

SÃO CARLOS
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CLOVIS FERREIRA DO CARMO

INFLUÊNCIA DO AQÜÍFERO FREÁTICO NA DINÂMICA
DE NUTRIENTES (NITROGÊNIO E FÓSFORO) EM LAGOAS
COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS.

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

ORIENTADOR: Dr. RAOUL HENRY

SÃO CARLOS
2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

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

C287i Carmo, Clovis Ferreira do
Influência do aquífero freático na dinâmica de
nutrientes (nitrogênio e fósforo) em lagoas com
diferentes características hidrodinâmicas / Clovis
Ferreira do Carmo ; orientador Raoul Henry. -- São
Carlos, 2007.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2007.

1. Fósforo. 2. Nitrogênio. 3. Carga de nutrientes.
4. Água subterrânea. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Licenciado **CLOVIS FERREIRA DO CARMO**

Tese defendida e julgada em 26-03-2007 perante a Comissão Julgadora:



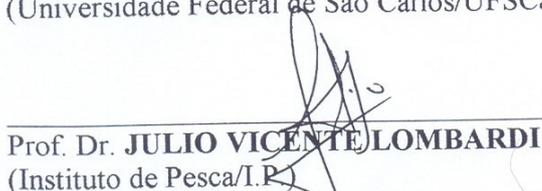
Prof. Titular **RAOUL HENRY (Orientador)**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP-Campus de Botucatu)

APROVADO



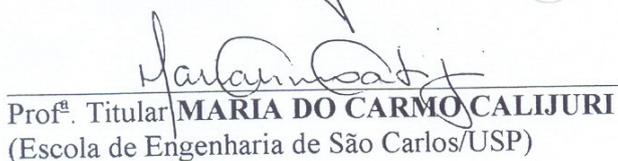
Prof. Dr. **ANTONIO APARECIDO MOZETO**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO



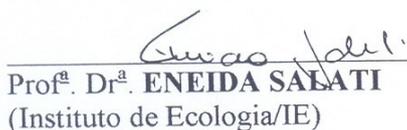
Prof. Dr. **JULIO VICENTE LOMBARDI**
(Instituto de Pesca/I.P.)

APROVADO



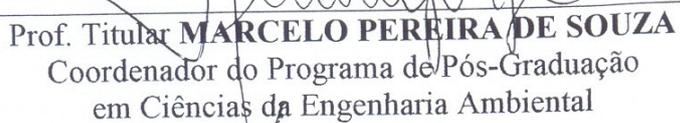
Prof.^a. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

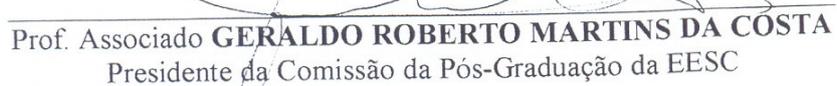


Prof.^a. Dr.^a. **ENEIDA SALATI**
(Instituto de Ecologia/IE)

APROVADO



Prof. Titular **MARCELO PEREIRA DE SOUZA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

*Aos meus pais José e Esmavete;
aos meus filhos Rafael e Maira;
e ao meu irmão Cláudio.*

Família, razão de todo o meu esforço.

Ofereço

À Andréa

Pelo amor e cumplicidade

Dedico

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado do auxílio e colaboração de inúmeras pessoas e instituições. Alguns nomes podem não aparecer nas próximas linhas, o esquecimento ou o desconhecimento da ajuda não irá reduzir a importância de suas colaborações.

Ao Prof. Dr. Raoul Henry, pela orientação e confiança no desenvolvimento deste projeto. Serei eternamente grato pelo apoio incondicional dispensado nos últimos dez anos da minha vida profissional.

Ao Instituto de Pesca, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo, pelo apoio institucional.

Ao Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela oportunidade e apoio no início do projeto.

Ao Centro Universitário Fundação Santo André, pelo apoio institucional e financeiro durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio A. Mozeto e ao Prof. Dr. Antonio C. Simões Pião pelas discussões e sugestões propostas durante o exame de qualificação.

Ao Laboratório de Química Analítica do Centro Energia Nuclear da Agricultura, pela realização das análises de cátions, em especial a Aparecida de Fátima Patreze pela constante cordialidade e atenção dispensada.

À Dra. Cacilda Thais J. Mercante, pela amizade e constante incentivo.

Ao Dr. Julio Vicente Lombardi pela boa acolhida em meu novo ambiente de trabalho, além de seu grande esforço em assegurar um pouco de tranquilidade em minhas atividades para conclusão do presente trabalho.

À Dra. Suzana Sendacz, pelo conhecimento compartilhado e auxílio na redação do pré-texto, serei um eterno devedor de seus préstimos.

Aos professores e amigos do Centro Universitário Fundação Santo André pelo incentivo e amizade.

À Dra. Denise de Campos Bicudo pela amizade, confiança, apoio e estímulo.

Ao Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo pela amizade e exemplo profissional.

Ao auxiliar acadêmico Hamilton Antônio Rodrigues, pela amizade e ajuda nas coletas de campo.

Aos amigos que auxiliaram no trabalho de campo: Mirian, Julião, Daniele, Miguel, João.

À Me. Leyla Costa Ramos pela assessoria estatística.

Aos colegas e funcionários do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pelo auxílio e companheirismo durante minha permanência em São Carlos.

Aos colegas Pesquisadores Científicos do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Recursos Hídricos do Instituto de Pesca: Dr. Adalberto José Monteiro Júnior, Bel. Elmar Cardozo Campos, Bel. Harry Vermulm Junior, Dra. Katharina E. Esteves, Dra. Luciana Carvalho B. Menezes, Me. Maria Teresa Duarte Giamas, Dra. Paula Maria Gênova de Castro, pelo convívio harmonioso dos últimos anos.

Aos Pesquisadores Científicos da Seção de Ecologia do Instituto de Botânica de São Paulo: Dra. Adriana de Oliveira Fidalgo, Dra. Carla Ferragut, Dr. Eduardo Pereira Cabral Gomes Dra. Márcia Inês Martin S. Lopes, Dra. Maria Tereza Grombone Guaratini, Dra. Marisa Domingos, Me. Miriam Cilene Spasiani Rinaldi, Dra. Regina Maria de Moraes, Dra. Silvia Ribeiro de Souza, pelo carinho e profissionalismo.

Aos amigos do Instituto de Pesca que direta ou indiretamente torceram para que a conclusão desta tese ocorresse sem atropelos, em especial ao técnico Luiz Evangelista, pelo profissionalismo e amizade.

As meninas superpoderosas: Dorinha, Amaríles, Marli e Valdenice. Tenho um pacto de amizade eterna com vocês.

Aos amigos Carlos e Denise, que tiveram a sensibilidade de me ajudar nos momentos decisivos da minha vida, acreditando e estimulando a prosseguir sempre. O destino foi muito gentil ao aproximar nossos caminhos.

A minha cunhada Inês, ao meu sobrinho José Cláudio e ao meu enteado Lucca; o convívio com vocês faz a vida mais alegre.

E finalmente, em especial, um eterno agradecimento a minha esposa e amiga, Andréa, cuja paciência, compreensão e amor foram fundamentais na elaboração deste trabalho.

**Onde há uma grande vontade de aprender, haverá necessariamente
muita discussão, muita escrita, muitas opiniões; pois as opiniões de
homens bons são apenas conhecimento em bruto.**

Autor: John Milton

RESUMO

CARMO, C.F. Influência do aquífero freático na dinâmica de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em lagoas com diferentes características hidrodinâmicas. São Carlos, 2007. 277p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A zona de desembocadura do Rio Paranapanema na Represa de Jurumirim é uma região de desaceleração da velocidade da correnteza associada a um grande número de ambientes aquáticos com diferentes características hidrodinâmicas. Com o objetivo de avaliar a influência do aquífero freático superficial na dinâmica de nutrientes (nitrogênio, fósforo e os principais cátions), foram estudadas três lagoas marginais, com diferentes graus de conexão com o rio: 1) Lagoa do Coqueiral (LCQ), com elevada conectividade com o Rio Paranapanema; 2) Lagoa do Camargo (LCM), com conexão permanente com o rio, mas com baixa troca de “informações” e 3) Lagoa dos Cavalos (LCV), ambiente isolado do ecossistema lótico. Em outubro de 2002 (final da estação de seca na região) foram perfurados poços e instalados piezômetros para determinação da superfície piezométrica e do gradiente hidráulico entre o rio e as lagoas marginais estudadas. Durante as perfurações foram retiradas amostras dos estratos do solo para análises granulométricas, capacidade de troca de cátions, matéria orgânica, soma de bases trocáveis, porcentagem de saturação de bases, macro-nutrientes e micro-nutrientes. A amostragem foi realizada em campanhas mensais no período de abril de 2003 a abril de 2005. As amostras de água subterrânea foram coletadas com o auxílio de garrafas de coleta, com volume de 1,0 L, específicas para amostragem em piezômetros. No rio e nas lagoas a coleta foi realizada na subsuperfície em pontos próximos da zona de transição entre os sistemas aquático e terrestre. A condutividade hidráulica foi determinada no campo utilizando-se testes do tipo slug. Nas amostras de água foram determinados os valores de pH, condutividade e os teores de nitrogênio total, fósforo total, cálcio, magnésio, sódio, alumínio, manganês, bário, zinco e cobalto. Os resultados obtidos do gradiente hidráulico, juntamente com os dados de precipitação, mostraram que o ambiente lótico torna-se influente no período de chuvas e no período de seca as lagoas, preferencialmente, assumem essa condição. A aplicação de modelos lineares generalizados e do teste de Tukey mostrou variações temporais na maioria das variáveis. Uma relação crescente com o tempo foi observada para as concentrações de nitrogênio, fósforo e alumínio. Os valores de pH, condutividade, cálcio, magnésio, manganês, zinco e cobalto apresentaram uma relação temporal decrescente. Em relação ao ambiente, para os dados de condutividade, pH e sódio, foram identificadas diferenças entre as três lagoas. A maioria das variáveis apresentou diferenças significativas entre a água subterrânea e as águas superficiais (rio e lagoa). Na concentração de fósforo foram observadas diferenças entre a água do aquífero e a água do rio. Estimativa média da contribuição de nitrogênio total e fósforo total via água subterrânea para o conteúdo total nos sistemas conectados oscilaram entre 6% para o sistema Lagoa do Coqueiral a 16% no sistema Lagoa do Camargo respectivamente. No sistema isolado Lagoa dos Cavalos as estimativas da contribuição, via água subterrânea em relação ao conteúdo total da lagoa, foram maiores para o fósforo total (média= 11%) quando comparadas com as estimadas para o nitrogênio total (média= 7%).

Palavras-chave: fósforo, nitrogênio, carga de nutrientes, água subterrânea.

ABSTRACT

CARMO, C.F. Influence of the phreatic aquifer in the nutrient dynamics (nitrogen and phosphorus) in lakes of different hydrodynamic characteristics. São Carlos, 2007. 277p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The discharge zone of Paranapanema River at Jurumirim Reservoir is an area of decreased current velocity associated to a great number of aquatic environments with different hydrodynamic characteristics. To evaluate the influence of the superficial phreatic aquifer in the nutrient dynamics (nitrogen and phosphorus and main cations), three floodplain lakes with different degrees of connection to the main channel were studied: 1) Coqueiral Lake (LCQ), with high connection to Paranapanema River; 2) Camargo Lake (LCM), with permanent connection to the main channel but low “information” interchange and 3) Cavalos Lake (LCV), isolated from the main channel. In October 2002 (end of the regional dry period) piezometers were installed at drilled wells to evaluate the piezometric surface and the hydraulic gradient between the main channel and floodplain lakes. During drilling, samples of soil strata were collected to proceed granulometric analysis, cation interchange capacity, organic matter, sum of exchangeable bases, percent base saturation, macro and micro-nutrients. Sampling was undertaken from April 2003 to April 2005. Groundwater samples were collected with 1,0 L bailers, specific for piezometers sampling. At the main channel and floodplain lakes, sampling was undertaken at the subsurface at stations located near the transitions zone between the aquatic and terrestrial systems. The hydraulic conductivity was determined by slug tests. Values of pH, conductivity, total nitrogen and phosphorus, calcium, magnesium, sodium, aluminum, manganese, barium, zinc and cobalt were obtained for the water samples. Hydraulic gradient and pluviometric data showed that the lotic environment exerts influence during the raining period; during the dry one, this role is played by the lakes. Most variables showed temporal variation when submitted to generalized linear models and the test of Tukey. An increased relationship with time was observed for nitrogen, phosphorus and aluminum concentrations. Values of pH, conductivity, calcium, magnesium, manganese, zinc and cobalt showed a decreasing temporal relationship. Concerning the conductivity, pH and sodium data of the environment, differences among the three lakes were evaluated. Most variables showed significative differences between ground and surface waters (river and lakes). The aquifer and river waters showed differences concerning the concentrations of phosphorus. Mean estimates of the total nitrogen and phosphorus groundwater contribution to the total content fluctuated, in the connected system, between 6%, for the Coqueiral Lake system, to 16%, for Camargo Lake system respectively. For the isolated system Cavalos Lake, the groundwater contribution estimates related to the total content of the lake were higher for total phosphorus (average=11%) when compared to the total nitrogen estimates (average=7%).

Keywords: phosphorus, nitrogen, nutrient load, groundwater.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA-01: Divisão da água abaixo da superfície do solo. ----- | 35 |
| FIGURA-02: Esquema de aquíferos confinados e livres.----- | 38 |
| FIGURA-03: Caracterização de lagos segundo Boyle (1994).----- | 41 |
| FIGURA-04: Imagem da zona de desembocadura do Rio Paranapanema e localização das 03 lagoas marginais do estudo.----- | 49 |
| FIGURA-05: Esquema da disposição dos poços na Lagoa do Camargo e Lagoa do Coqueiral.----- | 51 |
| FIGURA-06: Esquema da disposição dos poços na Lagoa dos Cavalos.----- | 51 |
| FIGURA-07: Esquema do piezômetro em PVC.----- | 52 |
| FIGURA-08: Esquema do poço de monitoração com as variáveis de determinação da condutividade hidráulica (teste slug).----- | 54 |
| FIGURA-09: Valores mensais de pluviosidade (mm) e número de dias com precipitação para a cidade de Angatuba – SP.----- | 63 |
| FIGURA-10: Precipitação pluviométrica (mm) registrada nos anos de 2003, 2004 e 2005, e médias mensais históricas do posto de Angatuba. ----- | 64 |
| FIGURA-11: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrostático no poço de amostragem central do sistema Lagoa do Camargo. ----- | 66 |
| FIGURA-12: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrostático no poço de amostragem central do sistema Lagoa do Coqueiral.----- | 66 |
| FIGURA-13: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrostático no poço de amostragem central do sistema Lagoa dos Cavalos.----- | 67 |
| FIGURA-14: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrométrico do reservatório de Jurumirim.----- | 69 |
| FIGURA-15: Gráfico da variação da cota (m) do nível hidrométrico do reservatório de Jurumirim e da superfície freática dos sistemas Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos.----- | 71 |
| FIGURA-16: Perfil litológico dos sedimentos obtidos no poço central dos sistemas Lagoa do Coqueiral (A), Lagoa dos Cavalos (B) e Lagoa do Camargo (C).----- | 75 |
| FIGURA-17: Gráfico dos valores de pH da água subterrânea no poço central, na água do rio e da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- | 89 |
| FIGURA-18: Gráfico dos valores de pH na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- | 89 |

FIGURA-19: Gráfico dos valores de pH na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 90

FIGURA-20: Gráfico dos valores de pH na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral, no período de 04/2003 a 04/2005.----- 94

FIGURA-21: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de pH, nos diferentes os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 95

FIGURA-22: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de pH nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).----- 95

FIGURA-23: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 98

FIGURA-24: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 99

FIGURA-25: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 99

FIGURA-26: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 102

FIGURA-27: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 104

FIGURA-28: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).----- 105

FIGURA-29: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 107

FIGURA-30: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 107

FIGURA-31: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 108

FIGURA-32: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 112

FIGURA-33: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 114

FIGURA-34: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).----- 115

FIGURA-35: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 117

FIGURA-36: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 117

FIGURA-37: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 118

FIGURA-38: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 121

FIGURA-39: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 124

FIGURA-40: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).----- 124

FIGURA-41: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 126

FIGURA-42: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 127

FIGURA-43: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 127

FIGURA-44: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 129

FIGURA-45: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cálcio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 131

FIGURA-46: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cálcio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).---
----- 131

FIGURA-47: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 133

FIGURA-48: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 134

FIGURA-49: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 134

FIGURA-50: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 136

FIGURA-51: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de magnésio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 139

FIGURA-52: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de magnésio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).----- 139

FIGURA-53: Gráfico dos valores de concentração de sódio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 142

FIGURA-54: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 142

FIGURA-55: Gráfico dos valores de concentração de sódio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 143

FIGURA-56: Gráfico dos valores de concentração de sódio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 145

FIGURA-57: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de sódio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 146

FIGURA-58: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de sódio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).---
----- 146

- FIGURA-59:** Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 150
- FIGURA-60:** Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 150
- FIGURA-61:** Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 151
- FIGURA-62:** Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 153
- FIGURA-63:** Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de alumínio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 154
- FIGURA-64:** Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de alumínio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).----- 154
- FIGURA-65:** Gráfico dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 157
- FIGURA-66:** Gráfico dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 157
- FIGURA-67:** Gráfico dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 158
- FIGURA-68:** Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 161
- FIGURA-69:** Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).----- 161
- FIGURA-70:** Gráfico dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.----- 160
- FIGURA-71:** Gráfico dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.----- 164

FIGURA-72: Gráfico dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.----- 165

FIGURA-73: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 166

FIGURA-74: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).---
----- 166

FIGURA-75: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de zinco ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 169

FIGURA-76: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de zinco ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).---
----- 169

FIGURA-77: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cobalto ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 172

FIGURA-78: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cobalto ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).---
----- 172

FIGURA-79: Gráfico do peso das componentes na variabilidade.----- 175

FIGURA-80: Gráfico de dispersão das duas primeiras componentes diferenciando os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).----- 176

FIGURA-81: Gráfico de dispersão das duas primeiras componentes diferenciando os compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).----- 177

FIGURA-82: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em abril de 2003.----- 179

FIGURA-83: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em maio de 2003.----- 180

FIGURA-84: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em junho de 2003.----- 181

FIGURA-85: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em julho de 2003.----- 182

FIGURA-86: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em agosto de 2003.----- 183

| | |
|--|-----|
| FIGURA-87: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em setembro de 2003.----- | 184 |
| FIGURA-88: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em outubro de 2003.----- | 185 |
| FIGURA-89: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em novembro de 2003.----- | 186 |
| FIGURA-90: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em dezembro de 2003.----- | 187 |
| FIGURA-91: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em janeiro de 2004.----- | 188 |
| FIGURA-92: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em fevereiro de 2004.----- | 189 |
| FIGURA-93: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em março de 2004.----- | 190 |
| FIGURA-94: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em abril de 2004.----- | 191 |
| FIGURA-95: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em maio de 2004.----- | 192 |
| FIGURA-96: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em junho de 2004.----- | 193 |
| FIGURA-97: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em julho de 2004.----- | 194 |
| FIGURA-98: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em agosto de 2004.----- | 195 |
| FIGURA-99: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em setembro de 2004.----- | 196 |
| FIGURA-100: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em outubro de 2004.----- | 197 |
| FIGURA-101: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em novembro de 2004.----- | 198 |
| FIGURA-102: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em dezembro de 2004.----- | 199 |
| FIGURA-103: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em janeiro de 2005.----- | 200 |

- FIGURA-104:** Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em fevereiro de 2005.----- 201
- FIGURA-105:** Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em março de 2005.----- 202
- FIGURA-106:** Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em abril de 2005.----- 203
- FIGURA-107:** Imagem do efeito da erosão na fronteira do sistema Lagoa do Camargo, no período de seca severa 1999-2000.----- 209
- FIGURA-108:** Imagem em detalhe do efeito da erosão na fronteira do sistema Lagoa do Camargo, no período de seca severa 1999-2000.----- 209
- FIGURA-109:** Ilustração da relação dos coeficientes de condutividade e transmissividade hidráulica.----- 212

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA-01: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados do nível hidrostático (cota em metros) nos três sistemas no período de abril/03 a abril/05.----- | 67 |
| TABELA-02: Valor máximo, mínimo e variação da cota do nível hidrostático nos três sistemas estudados e do nível da água no reservatório de Jurumirim, no período de abril/03 a abril/05.----- | 70 |
| TABELA-03: Classificação granulométrica do solo.----- | 74 |
| TABELA-04: Classificação granulométrica, densidade aparente e classificação dos extratos de solo dos sistemas: Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).----- | 76 |
| TABELA-05: Classificação química e agrônômica dos valores de pH em H ₂ O para solos.----- | 78 |
| TABELA-06: Resultado da análise de solo.----- | 80 |
| TABELA-07: Valores da Capacidade de Troca de Cátions (CTC), da Soma das Bases Trocáveis (SB), Porcentagem de Saturação por Bases (V) e Matéria orgânica (MO) no solo dos três sistemas.----- | 81 |
| TABELA-08: Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica. ----- | 83 |
| TABELA-09: Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes. --- ----- | 86 |
| TABELA-10: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de pH, no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ) – (P= piezômetro, R= rio e L= lagoa).----- | 91 |
| TABELA-11: Amplitude dos valores de pH da água subterrânea na RMSF.----- | 92 |
| TABELA-12: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de pH nos ambientes e compartimentos.----- | 96 |
| TABELA-13: Teste de Tukey para a diferença das médias de pH nos ambientes e compartimentos.----- | 96 |
| TABELA-14: Valores médios de condutividade elétrica (µS/cm) da água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ), no período de 04/2003 a 04/2005.----- | 100 |

TABELA-15: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).----- 101

TABELA-16: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de condutividade elétrica nos ambientes e compartimentos.----- 105

TABELA-17: Teste de Tukey para a diferença das médias de condutividade elétrica nos ambientes e compartimentos.----- 106

TABELA-18: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$), no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).----- 109

TABELA-19: Valores médios de nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$) na água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).----- 112

TABELA-20: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de nitrogênio total nos ambientes e compartimentos.----- 116

TABELA-21: Teste de Tukey para a diferença das médias de nitrogênio total nos ambientes e compartimentos.----- 116

TABELA-22: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de fósforo total ($\mu\text{g}/\text{L}$), no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.----- 120

TABELA-23: Valores médios de fósforo total ($\mu\text{g}/\text{L}$) da água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).----- 122

TABELA-24: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de fósforo total nos ambientes e compartimentos.----- 125

TABELA-25: Teste de Tukey para a diferença das médias de fósforo total nos ambientes e compartimentos.----- 125

TABELA-26: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de cálcio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.----- 129

TABELA-27: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de cálcio nos ambientes e compartimentos.----- 132

TABELA-28: Teste de Tukey para a diferença das médias de cálcio nos ambientes e compartimentos.----- 132

- TABELA-29:** Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de magnésio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.----- 135
- TABELA-30:** Valores médios de magnésio (mg/L) da água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).----- 137
- TABELA-31:** Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de magnésio nos ambientes e compartimentos.----- 140
- TABELA-32:** Teste de Tukey para a diferença das médias de magnésio nos ambientes e compartimentos.----- 140
- TABELA-33:** Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de sódio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.---- 144
- TABELA-34:** Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de magnésio nos ambientes e compartimentos.----- 147
- TABELA-35:** Teste de Tukey para a diferença das médias de sódio nos ambientes e compartimentos.----- 147
- TABELA-36:** Valores de SAR na água dos sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.----- 149
- TABELA-37:** Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de alumínio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.----- 152
- TABELA-38:** Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de alumínio nos ambientes e compartimentos.----- 155
- TABELA-39:** Teste de Tukey para a diferença das médias de alumínio nos ambientes e compartimentos.----- 155
- TABELA-40:** Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$), no período de 04/2003 a 04/2004, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.----- 160
- TABELA-41:** Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de manganês nos ambientes e compartimentos.----- 162
- TABELA-42:** Teste de Tukey para a diferença das médias de manganês nos ambientes e compartimentos.----- 162
- TABELA-43:** Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de bário nos ambientes e compartimentos.----- 167

| | |
|---|-----|
| TABELA-44: Teste de Tukey para a diferença das médias de bário nos ambientes e compartimentos.----- | 168 |
| TABELA-45: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de zinco nos ambientes e compartimentos.----- | 170 |
| TABELA-46: Teste de Tukey para a diferença das médias de zinco nos ambientes e compartimentos.----- | 171 |
| TABELA-47: Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de cobalto nos ambientes e compartimentos.----- | 173 |
| TABELA-48: Teste de Tukey para a diferença das médias de bário nos ambientes e compartimentos.----- | 173 |
| TABELA-49: Análise de componentes principais das variáveis estudadas.----- | 174 |
| TABELA-50: Peso das componentes na análise de componentes principais das variáveis estudadas.----- | 174 |
| TABELA-51: Esquematização das informações da ACP para as variáveis estudadas.----- | 175 |
| TABELA-52: Faixa de valores de condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados.----- | 210 |
| TABELA-53: Valores de velocidade de Darcy (cm/dia) para os três sistemas estudados no período de abril/03 a abril/05.----- | 215 |
| TABELA-54: Valores de vazão (m ³ /dia), baseando-se na velocidade de Darcy, para os três sistemas estudados no período de abril/03 a abril/05.----- | 217 |
| TABELA-55: Valores de velocidade linear média (cm/dia) para os três sistemas estudados no período de abril/03 a abril/05.----- | 220 |
| TABELA-56: Valores de vazão (m ³ /dia) para os três sistemas estudados, baseando-se na velocidade linear média, no período de abril/03 a abril/05.----- | 221 |
| TABELA-57: Valores de carga de nitrogênio total e fósforo total (Kg/mês) para os três sistemas estudados, no período de abril/03 a abril/05.----- | 223 |
| TABELA-58: Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para os sistemas estudados, na condição de rio influente.--- | 224 |
| TABELA-59: Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa do Camargo, nos meses com condição de rio influente.----- | 226 |
| TABELA-60: Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa do Coqueiral, nos meses com condição de rio influente.----- | 229 |

TABELA-61: Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa dos Cavalos, nos meses com condição de rio influente.----- 231

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANA – Agência Nacional de Águas
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CTA - Capacidade de troca de Anions
- CTC - Capacidade de Troca de Cátions
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
- K - condutividade hidráulica do solo
- L - comprimento do filtro do piezômetro
- LCM – Lagoa do Camargo
- LCM-L – Água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo
- LCM-P – Água subterrânea do sistema Lagoa do Camargo
- LCM-R - Água do rio do sistema Lagoa do Camargo
- LCQ – Lagoa do Coqueiral
- LCQ -L – Água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral
- LCQ -P – Água subterrânea do sistema Lagoa do Coqueiral
- LCQ -R - Água do rio do sistema Lagoa do Coqueiral
- LCV – Lagoa dos Cavalos
- LCV -L – Água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos
- LCV -P – Água subterrânea do sistema Lagoa dos Cavalos
- LCV -R - Água do rio do sistema Lagoa dos Cavalos
- MO - Matéria orgânica
- PVC – Policloreto de Vinila
- r - raio do poço (piezômetro)
- R - raio da perfuração (piezômetro + envoltório de cascalho)
- SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
- SB - Soma das Bases Trocáveis
- SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- SLC - Sistema Lagoa do Camargo
- SLQ - Sistema Lagoa do Coqueiral
- SLV - Sistema Lagoa dos Cavalos
- T₀ - tempo necessário para que o nível do poço altere 37% da variação inicial
- V - Porcentagem de Saturação por Bases

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 27 |
| 1.1 HIPÓTESE DO TRABALHO | 31 |
| 1.2 OBJETIVOS | 32 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 33 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 47 |
| 3.1 Área de estudo | 47 |
| 3.2 Periodicidade das coletas e distribuição dos pontos de amostragem | 49 |
| 3.3 Amostragem da água subterrânea | 52 |
| 3.4 Condutividade hidráulica | 53 |
| 3.5 Levantamento topográfico, batimétrico e altimétrico | 55 |
| 3.6 Variáveis físicas e químicas da água superficial e subterrânea | 55 |
| 3.6.1 Condutividade elétrica | 55 |
| 3.6.2 pH | 55 |
| 3.6.3 Nitrogênio total e fósforo total | 56 |
| 3.6.4 Cátions | 56 |
| 3.7 Dados pluviométricos | 57 |
| 3.8 Análise do solo | 57 |
| 3.9 Estimativa do fluxo da água subterrânea | 58 |
| 3.10 Carga estimada | 59 |
| 3.11 Tratamento matemático e estatístico dos resultados | 59 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 61 |
| 4.1 Precipitação | 61 |
| 4.2 Solo | 72 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.3 | Água subterrânea e superficial ----- | 87 |
| 4.3.1 | pH da água ----- | 87 |
| 4.3.2 | Condutividade elétrica da água ----- | 97 |
| 4.3.3 | Concentração de nitrogênio total na água ----- | 106 |
| 4.3.4 | Concentração de fósforo total na água ----- | 116 |
| 4.3.5 | Concentração de íons na água ----- | 125 |
| 4.3.5.1 | Cálcio ----- | 125 |
| 4.3.5.2 | Magnésio ----- | 133 |
| 4.3.5.3 | Sódio ----- | 140 |
| 4.3.5.4 | Alumínio ----- | 149 |
| 4.3.5.5 | Manganês ----- | 156 |
| 4.3.5.6 | Bário ----- | 163 |
| 4.3.5.7 | Zinco e Cobalto ----- | 168 |
| 4.4 | Análise de componentes principais ----- | 173 |
| 4.5 | Direção do fluxo da água subterrânea ----- | 177 |
| 4.6 | Estimativa da contribuição de nitrogênio total e fósforo total via água subterrânea ----- | 210 |
| 5. | CONCLUSÕES ----- | 234 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----- | 238 |
| 7. | APÊNDICE ----- | 250 |



1. INTRODUÇÃO

A avaliação da história da humanidade mostra uma relação com a água; o desenvolvimento da civilização ocorreu no entorno dos ambientes lacustres e lóticos. O homem utiliza a água para suas necessidades básicas, como meio de transporte, na agricultura, entre outras atividades. Vidal (2003) considera que as transformações demográficas no mundo em geral, com o incremento das áreas agricultáveis e da produção industrial, demandaram o crescimento exponencial da exploração dos recursos hídricos. Segundo Rebouças (1999a), entre os problemas globais, as preocupações com o ambiente, em geral, e com a água, em particular, adquirem importância, pois as demandas estão se tornando cada vez maiores, sob o impacto acelerado do crescimento da população e de maior uso da água, imposto pelos padrões de conforto e bem-estar da vida moderna.

O Brasil é um país privilegiado porque possui 12% das reservas mundiais de água doce apresentando disponibilidade hídrica de 40.732 m³/hab/ano (ANA, 2002). Contudo, aproximadamente 80% das águas brasileiras estão na Bacia Amazônica, e somente 1,6% no Estado de São Paulo (SABESP, 1994), Estado da União com cerca de 25% da população brasileira. Nos chamados ecossistemas produtivos, em especial os relacionados com a produção agrícola e florestal, a análise da sustentabilidade deve ser feita tomando-se por base o balanço hídrico das bacias

hidrográficas. Qualquer atividade humana que altere os fatores básicos que determinam o balanço hídrico acaba por interferir na disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Os rios, lagos, reservatórios e aquíferos subterrâneos são as principais fontes de água para abastecimento do consumo humano e atividades sociais e econômicas. Segundo Cabral et al. (2003), as águas subterrâneas, apesar de fora da visão das pessoas e muitas vezes esquecida, são muito importantes no contexto do ciclo hidrológico e no aproveitamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. As águas subsuperficiais podem constituir a umidade do solo, que é bastante importante para fins agrônômicos e podem se localizar um pouco mais profundo formando os aquíferos.

De maneira geral as interferências no ciclo de renovação, principalmente das águas superficiais, têm diminuído a quantidade e qualidade de água disponível para consumo. Tais interferências são: extração excessiva, uso inadequado, lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos de água, ausência de controle de erosão, ausência de matas ciliares, bem como ao crescente aumento de custo no seu tratamento (CETESB, 2004).

A transformação dos grandes rios (Grande, Tietê e Paranapanema) no Estado de São Paulo em uma seqüência de reservatórios em “cascatas” na segunda metade do século passado, levou ao desaparecimento de grandes extensões das planícies de inundações laterais a estes cursos de água. Contudo, as zonas de desembocadura dos tributários de represas constituem ainda resquícios da situação pré-barramento dos rios. Nas zonas de desembocadura de rios em represas, as mudanças no nível da água, ao longo do ano, determinam pulsos de inundação nas áreas laterais, cujos atributos (frequência, duração e amplitude), são grandemente

alterados em função do encontro entre as águas dos sistemas lótico e lêntico (o reservatório). De fato, estes últimos atuam como “sistema tampão” dos pulsos hidrológicos de seus tributários (HENRY, 2005; HENRY et al., 2005).

Segundo Lesack (1995), a interação entre lagos e o sistema de águas subterrâneas que o circundam tem recebido maior atenção em estudos hidrológicos nas duas últimas décadas. Porém ainda observa-se um reduzido número de trabalhos limnológicos avaliando a dinâmica do material dissolvido na drenagem superficial e subsuperficial, o movimento de massa de materiais coluviais e a influência na qualidade dos ambientes aquáticos.

Miranda (1997) considera que o interesse, com enfoque limnológico, nos fluxos de matéria e energia entre corpos d’água e o aquífero freático tem aumentado na última década, mas ainda é inexpressivo.

Crowe (1990) sugere que, por conveniência, muitos estudos assumem que a água subterrânea tem pouco significado no balanço hídrico, ou então este componente é completamente ignorado. Há também dificuldade metodológica na determinação dos padrões de fluxos e na sua quantificação entre os ambientes lacustres e a água subterrânea (MIRANDA, 1997) e o intercâmbio entre os sistemas de compostos, elementos biogênicos e contaminantes, que alterem a qualidade da água.

Maître et al. (2003) e Montoroi, Grunberger e Nasri (2002), entre outros autores, consideram a existência de forte relação entre o aquífero e os corpos d’água continentais na dinâmica da concentração do nitrato, sendo o ecótono e a sazonalidade, fatores reguladores. Nesse contexto de zona de transição, Marti et al. (2000) consideram a vegetação ripária como uma região de retenção de água e nutrientes, podendo em eventos hidrológicos exportar esse material para o corpo

d'água. Outros autores (TRISKA et al., 1992) já consideravam que as propriedades físicas e químicas da zona hiporreica atuam nos efeitos de interação entre a água subterrânea e a água superficial.

Miranda e Matvienko (2003) observaram a existência de interação entre aquífero e reservatório adjacente, na carga de fósforo. Considerando-se que o nitrogênio e o fósforo são elementos biogênicos essenciais, conseqüentemente, torna-se importante o estudo dessa interação para obtenção de respostas voltadas à produtividade dos ecossistemas aquáticos continentais.

A proposta do trabalho visa à avaliação da influência do aquífero livre na dinâmica e suprimento de nutrientes para os sistemas aquáticos adjacentes. A região escolhida para estudo foi à zona de desembocadura do Rio Paranapanema na represa de Jurumirim, que apresenta uma seqüência de ambientes entre sistemas lótico e lântico, propícios a estudos de fluxos e descrição de fronteiras. Este trabalho vem complementar uma lacuna importante com relação às quantificações das cargas de nutrientes via fontes difusas em ecossistemas aquáticos.

1.1 - HIPÓTESE DO TRABALHO

Para entender o funcionamento do sistema no qual o aquífero, o rio e a lagoa marginal estão hidráulicamente conectados, é necessário compreender primeiro o comportamento de cada um dos componentes, seguido do conhecimento da interação de cada um com os demais. Nesse sistema podem-se distinguir quatro tipos de interações: a) entradas; b) retiradas do rio; c) retiradas do aquífero e d) retiradas da lagoa. Nesse contexto espera-se encontrar os efeitos da sazonalidade na interação de dois componentes dessa conexão hidráulica, produzindo direções de fluxos alternados entre o rio e as lagoas marginais que possam interferir na produtividade dos ecossistemas lênticos nas planícies de inundação.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - GERAL

- Avaliar a influência do aquífero freático superficial na dinâmica de nutrientes, nitrogênio e fósforo, entre ambientes lóticos e lênticos de uma mesma sub-bacia.

1.2.2 - ESPECÍFICOS

- Determinar o sentido do fluxo da água subterrânea em três lagoas localizadas na zona de desembocadura do rio Paranapanema na Represa de Jurumirim
- Estimar a contribuição do aquífero freático superficial na carga de nitrogênio e fósforo das fontes difusas nas lagoas em estudo.
- Comparar os processos reguladores da concentração de nutrientes, nitrogênio e fósforo, entre uma lagoa isolada, uma lagoa semi-isolada e uma lagoa aberta.



2. REVISÃO DA LITERATURA

Para Codd (2000), a qualidade de água pode ser definida como a capacidade desse elemento em sustentar vários usos ou processos, sendo influenciada por uma larga escala de fatores ambientais (biológico, geológico, hidrológico, meteorológico, e topográfico).

Os ecossistemas sobrevivem por trocar matéria e energia com suas vizinhanças, as quais também necessitam destas trocas, pois são igualmente sistemas ecológicos. Essas trocas (entradas e saídas) se dão em forma de fluxos, que devem ser bem caracterizados para determinar o grau de importância e o seu mecanismo de atuação. Os vários tipos de ambientes aquáticos existentes estabelecem interações de fluxos entre si e com outros sistemas através de suas fronteiras (MIRANDA, 1997).

Ecossistemas aquáticos naturais e artificiais funcionam e respondem a fluxos (pulsos) de entrada e saída de energia e matéria. Para Tundisi (1999), pulsos são definidos como qualquer tipo de flutuação natural ou induzida pelo homem que afetem os sistemas aquáticos. O autor considera que, em corpos d'água, essas trocas devem ser caracterizadas para determinar o seu grau de importância e o seu mecanismo de atuação, estabelecendo interações de fluxos internos e com sistemas adjacentes.

Henry et al. (2005), consideram que a conexão entre o rio e as lagoas marginais é observada quando ocorre um transbordamento do canal ou inundação da planície. Em longos períodos de desconexão, as lagoas podem ser mantidas por outros compartimentos do sistema ou desaparecer pelos efeitos da evaporação, infiltração e fluxo lateral via zona hiporreica.

A conectividade, associação entre o canal principal do rio e os ambientes aquáticos laterais, ocorre quando há uma troca de material biológico, de nutrientes dissolvidos ou adsorvidos ao sedimento (WARD et al., 1999).

Segundo Rebouças (1999), o escoamento de base dos rios é fundamentalmente alimentado pelos fluxos subterrâneos, que deságuam na rede hidrográfica da área em apreço. Vale ressaltar que, mesmo em regiões com excedentes hídricos, a falta de condições geológicas para formação de reservas importantes de água subterrânea, pode engendrar um quadro de rios temporários ou intermitentes, durante o período de estiagem.

Segundo a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas, água subterrânea é a água que ocupa a zona saturada do subsolo ou num sentido mais amplo, toda a água situada abaixo da superfície do solo, na litosfera.

Cabral et al. (2003) consideram que o solo é constituído de três fases: sólida, líquida e gasosa. Um determinado volume de solo contém uma parcela referente ao volume de sólidos, um volume de água que constitui a fase líquida e um volume de ar que constitui a fase gasosa. Portanto representa uma matriz porosa composta por grãos, ou seja, as partículas sólidas do solo, e por espaços que podem ou não estar ocupados por água.

Segundo Caicedo (2002), a distribuição vertical da umidade do solo pode ser dividida em zonas de acordo com a proporção relativa do espaço poroso ocupado

pela água, dividindo-se em: zona de saturação (os poros estão ocupados pela água) e zona de aeração (os poros contêm água e ar). A zona de saturação está limitada superiormente pela linha de saturação (superfície piezométrica) e inferiormente por uma barreira impermeável. As fontes, os poços e as correntes efluentes têm origem na zona de saturação. A zona de aeração ou região não-saturada está localizada entre a linha de saturação e a superfície do terreno.

A figura 01 mostra um esquema da distribuição vertical da umidade do solo, dividindo a zona de aeração em três subdivisões:

- Zona da água no solo – faixa de umidade onde as plantas se desenvolvem,
- Zona intermediária – serve como amortecedor das chuvas intensas,
- Zona capilar – formada pela elevada ascensão capilar.

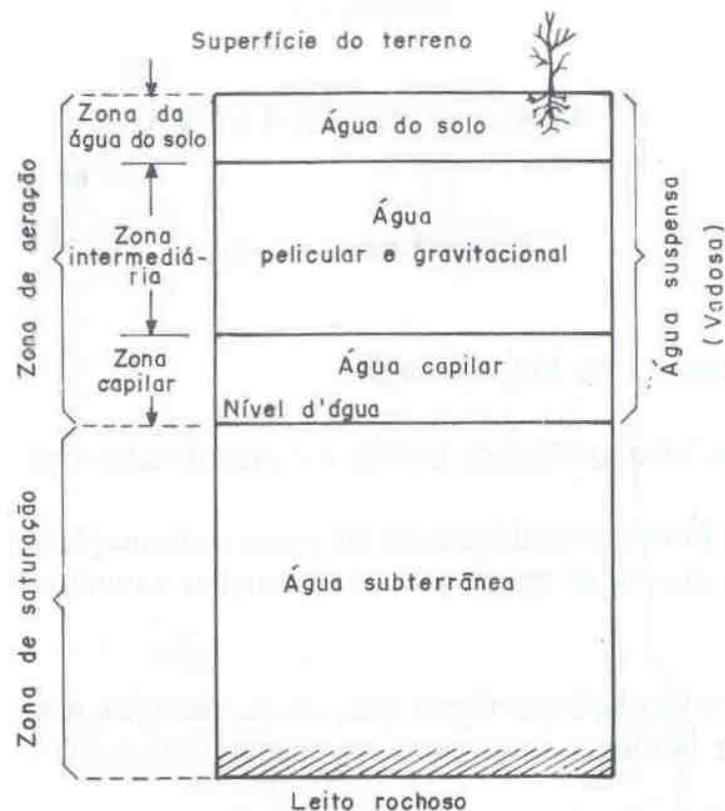


FIGURA 01: Divisão da água abaixo da superfície do solo. (CAICEDO, 2002).

A água subterrânea é a parcela de água meteórica (chuva, neblina e neve), principalmente, que infiltra e se desloca através dos terrenos da bacia hidrográfica. Entretanto, como sua velocidade de deslocamento é, geralmente, muito baixa (da ordem de cm/dia), os fluxos subterrâneos deságuam nos rios, alimentando o escoamento básico, especialmente durante os períodos de estiagem ou sem precipitação.

De modo geral no Estado de São Paulo, em períodos de seca, a vazão dos rios perenes é mantida pela água subterrânea que se acumulou nos aquíferos. A isso se dá o nome de fluxo de base (rios efluentes). Em algumas situações excepcionais, podem ocorrer situações naturais ou artificiais onde o nível da água do aquífero está abaixo do leito e assim o rio cede água ao aquífero (rio influente). Em casos extremos o rio pode até secar, como ocorre em algumas áreas do nordeste brasileiro (CETESB, 2004). Dessa forma podemos considerar os rios como sistemas de drenagem da água doce para o mar, enquanto que os aquíferos representam os sistemas de armazenamento de água doce no continente.

A água subterrânea acumulada na zona saturada do solo não fica estagnada, ela flui por meios porosos sob influência de variações de energia, descarregando de regiões de alta energia para regiões de baixa energia, como ocorre com o fluxo de calor e o fluxo de eletricidade. Segundo Milani (1992), um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada para armazenar e transmitir quantidades significativas de águas sob gradientes hidráulicos naturais.

Segundo Hancock, Boulton e Humphreys (2005), as duas últimas décadas apresentaram um avanço nas pesquisas das áreas de hidrogeologia e ecologia das águas subterrâneas, em especial os trabalhos com ênfase no gerenciamento do

aqüífero e remediação da qualidade da água. Oxtobee e Novakowski (2002), consideram que compreender a interação entre a água subterrânea e a água de superfície pode ser importante para o gerenciamento de recursos hídricos, e na determinação da mobilidade de contaminantes.

Quando a água da chuva atinge o solo, inicia-se um processo de dissolução e arraste que transportará material retirado do solo até os rios e oceanos. Espécies químicas ou elementos comumente encontrados nas águas superficiais incluem íons como cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, nitratos e outros. Aparecem ainda, traços de chumbo, cobre, arsênio, manganês, e uma grande quantidade de compostos orgânicos (CETESB, 1995).

Para Gilbert (1991) a maioria dos compostos encontrados na zona hiporreica dos ambientes está relacionada as seguintes características hidrogeológicas: dinâmica do fluxo da água subterrânea, granulometria do solo, biogeoquímica do solo e interações hidrológicas do aqüífero com ecossistemas superficiais adjacentes.

O processo de infiltração da água meteórica entre as camadas do solo arrasta elementos químicos e altera sua composição. Espera-se que água subterrânea aumente as concentrações de substâncias dissolvidas em seu trajeto. No entanto, muitos outros fatores interferem, tais como, clima, composição da água de recarga, meio físico, além das perturbações antrópicas.

Para Caicedo (2002), a interação de águas superficiais e subterrâneas é um sistema real que inclui elementos naturais (aqüíferos, rios, lagos); elementos introduzidos pelo homem (canais, poços e barragens) e práticas agrícolas (irrigação).

A Figura 02 mostra um esquema da distribuição dos aqüíferos, que podem ser classificados em confinados e não-confinados (livres). O aqüífero confinado

encontra-se a uma pressão maior que a pressão atmosférica, está limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis. No aquífero freático (livre) a superfície piezométrica (freática) serve como fronteira superior.

Segundo Cabral et al. (2003), aquíferos livres são aqueles que conseguem aflorar na superfície, e o seu nível da água serve como limite superior da zona de saturação do solo, apresentando as maiores interações com os corpos d'água superficiais.

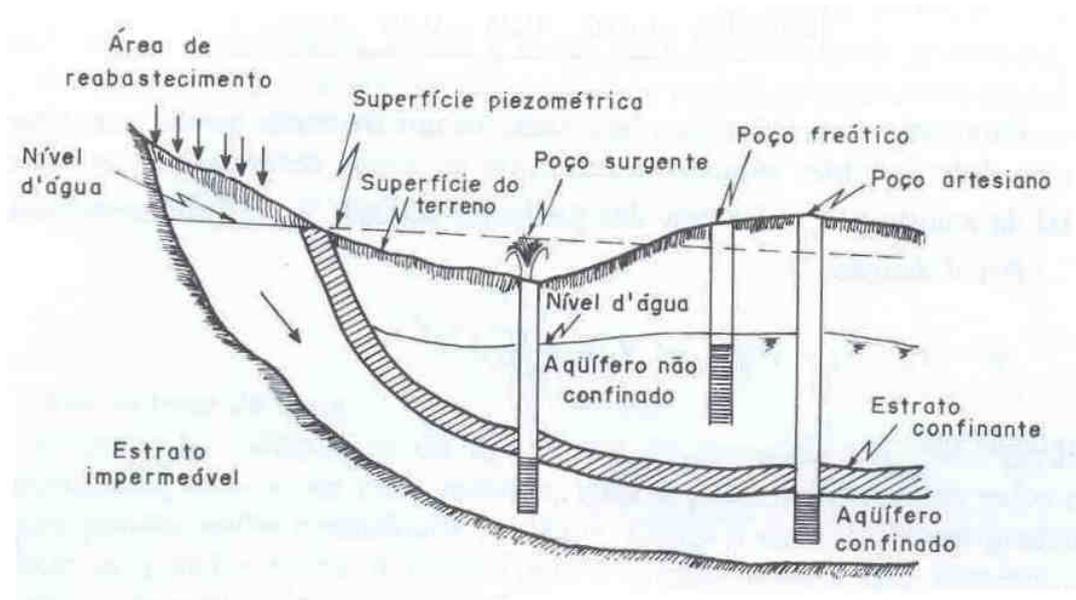


FIGURA 02: Esquema de aquíferos confinados e livres (CAICEDO, 2002).

Segundo Danielopol et al. (2003), os ecossistemas subterrâneos são conectados diretamente aos sistemas aquáticos continentais como rios, lagos e áreas de inundação. Os pulsos controlam a composição e funcionamento dos ecossistemas aquáticos subsuperficiais e terrestres, sendo que o processo dinâmico de troca entre a água superficial e a água subterrânea contribuem muito com a estrutura de comunidade dos sistemas.

Muitos trabalhos estão associados à preservação das águas fluviais e lacustres, que ainda são o principal acesso do ser humano à água com boa qualidade para consumo. Em um planeta que cada vez mais dá ênfase à questão da água, à sua obtenção e preservação, as águas do subsolo ainda encontram-se muitas vezes em um segundo plano, com muitos de seus aspectos desconhecidos, o que é injustificável, dado que 95% da água doce não-congelada do planeta, encontra-se debaixo da terra. Talvez isso se deva ao fato de que, ao contrário da água superficial, a subterrânea não é vista e a mensuração de suas grandezas, de seu potencial hídrico, somente é realizada através de equações matemáticas.

Poucos são os trabalhos em estudos limnológicos que estudem a interação entre água subterrânea e água superficial.

Miranda (1997) analisou o balanço hídrico, através de medidas nos fluxos de águas superficiais, na represa do Lobo observando que existem contribuições de entrada (input), que não são provenientes dos rios e córregos, que deságuam na mesma. O autor concluiu que a quantidade de fluxo necessária para completar o balanço hídrico deve estar sendo proveniente do aquífero freático, através do escoamento subsuperficial.

Likens e Bormann (1974) dividem em três classes as formas de transporte de energia e matéria entre um corpo d'água e o ambiente terrestre adjacente: meteorológicas, geológicas e biológicas. O movimento do ar transportando água e substâncias dissolvidas, material particulado e gases constitui as formas meteorológicas. O deslocamento de material dissolvido ou em suspensão na drenagem superficial e no subsolo, e o movimento de massas de materiais coluviais constituem a classe geológica. A biológica é constituída pelos organismos de maneira geral.

Os aquíferos de maneira geral sofrem o aporte da água, proveniente das áreas superficiais, que se infiltra pela zona pedológica acima, comumente chamadas de zona de recarga. No contrário, se a água subterrânea flui para áreas mais baixas como lagos essa é denominada área de descarga.

Segundo Boyle (1994), os lagos podem ser identificados em função das características de contribuição de águas subterrâneas e de superfície (Figura 03). O autor descreve as características e contribuições de águas subterrâneas e de superfície em lagos temporários de deposição glacial, considerando ainda que outros tipos possam ser criados dentro desta classificação. Os esquemas **a** e **b** da figura 03 apresentam uma recarga uniforme difusa, sendo que **a** apresenta uma descarga pontual e em **b** a descarga é difusa. No esquema **c** as fontes de recarga são pontuais e difusas, e a descarga pontual. Em **d** o lago depende totalmente do nível hidrostático e os pontos de recarga e descarga seguem o fluxo do aquífero livre. Nos esquemas **e** e **f** a recarga é pontual, sendo em **e** a descarga difusa e uniforme por todo o leito do lago e em **f** a descarga é difusa em um ponto específico do lago.

Os componentes que afetam o volume de água em um lago são todos mensuráveis ou estimados por fórmulas padrões, como no caso da evaporação. No caso da água subterrânea, os fluxos de entrada e saída podem não ser medidos de maneira precisa devido à complexidade geológica da subsuperfície e complexidade metodológica de campo para caracterizar a hidroestratigrafia (CROWE, 1990).

Para Miranda (1997) os mananciais subterrâneos são alvos de constante preocupação em função da crescente exploração através de poços.

O aumento na demanda de água associada ao desenvolvimento urbano e da agricultura tem gerado em grande escala, resíduos que são despejados nos

ambientes aquáticos (HAVENS et al., 1996). Estudos das interações entre águas subterrâneas e superficiais são, portanto necessários. A identificação da direção dos fluxos entre os sistemas aquáticos é um importante instrumento na exploração racional da água.

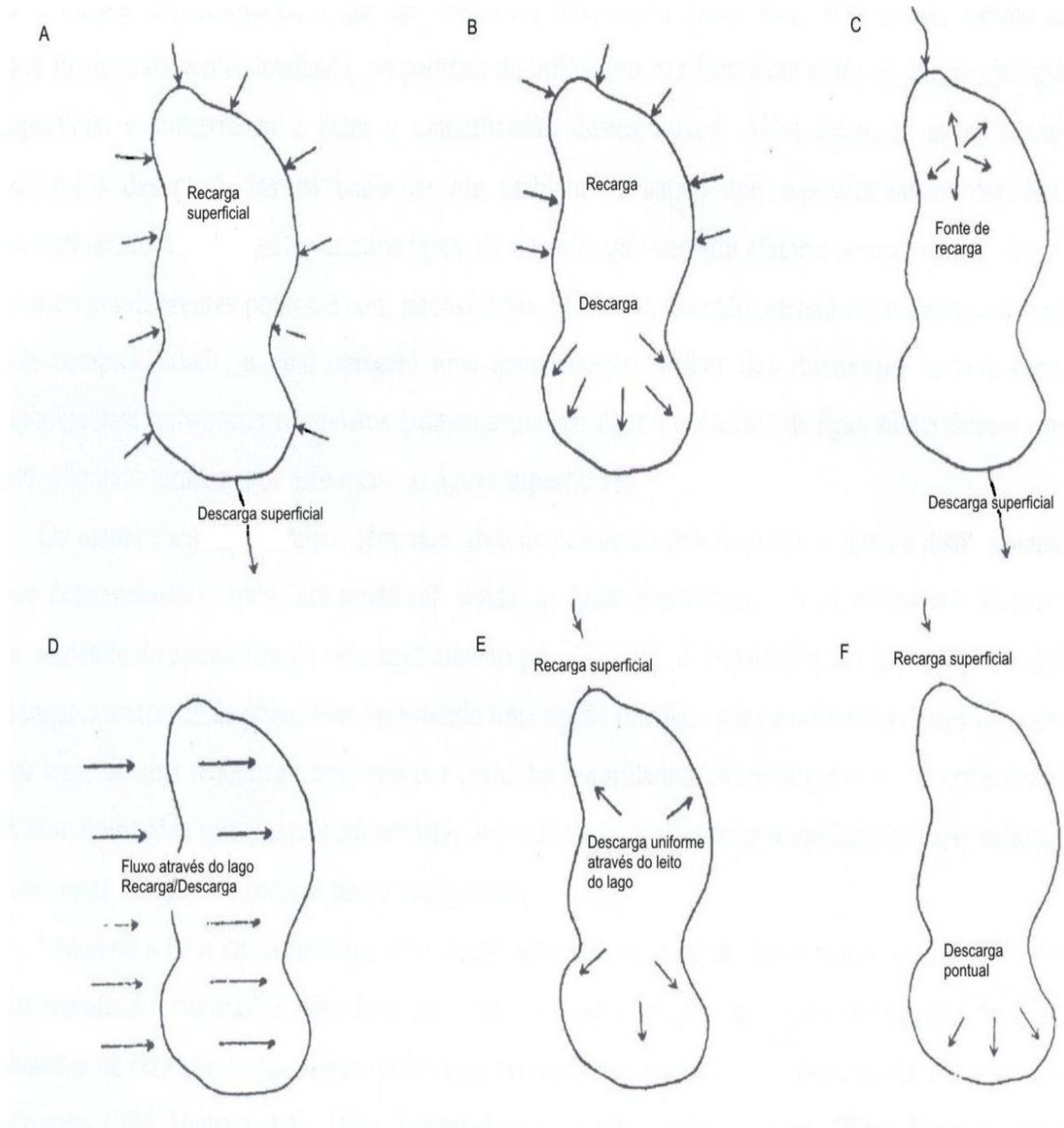


FIGURA 03: Caracterização de lagos segundo Boyle (1994)

Sobre a interação entre águas subterrâneas e superficiais, a maioria dos trabalhos enfoca a atuação da mata ciliar e das áreas alagadas na dinâmica dos nutrientes (COOPER, 1990; HANSON et al., 1994; SCHNABEL et al., 1996; GROFFMAN et al., 1996).

Fatores antrópicos e naturais (geologia e topografia) podem promover interferências químicas e físicas (MIRANDA, 1997) provocando mudanças na qualidade e no sentido do fluxo do aquífero freático, alterando as características dos cursos d'água e de ambientes lacustres. O solo, de maneira geral, atua como um "filtro", tendo a capacidade de depuração e imobilizando grande parte dos elementos químicos e impurezas nele depositadas. No entanto, alterações da qualidade do solo podem ocorrer, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos.

Dhondt et al. (2002), em seu estudo sobre a dinâmica sazonal do nitrato na região de interface entre o aquífero e a zona riparia (ecótono), consideraram que a concentração de nitrato na água subterrânea está associada ao conceito de "turnover" da zona riparia, envolvendo os processos de imobilização e mineralização do elemento. Conseqüentemente, essa interface torna-se uma região reguladora no aporte de nutrientes em corpos d'água provenientes da zona saturada do solo. Maître et al. (2003) também consideraram que os ecótonos tem elevada importância na carga de nitrato proveniente do aquífero para os ecossistemas aquáticos adjacentes. No trabalho realizado nas proximidades das montanhas pertencentes às unidades geográficas do platô suíço (Suíça), os autores estimaram valores de retenção do nitrato entre 27% a 38% no inverno, considerando que no verão os

valores podem ser muito mais expressivos em função da variação da altura do nível d'água do aquífero.

Montoroi, Grunberger e Nasri (2002) consideram que a composição química da água subterrânea envolve os processos de permeabilidade do solo e de infiltração da água da chuva em conjunto com as características pedológicas e litológicas. O principal fluxo para os corpos d'água proveniente da zona saturada é oriundo da água subterrânea com baixo tempo de residência "meteoric groundwater".

Em estudos limnológicos, são escassos os trabalhos sobre a interação entre o aquífero freático superficial e a água superficial, especialmente com relação ao aporte ou remoção de nutrientes via água subterrânea.

A seleção de parâmetros analíticos para o monitoramento da qualidade de águas subterrâneas é necessária em função da complexidade hidrogeológica, da variada gama de elementos potencialmente presentes nas águas, do difícil acesso e representatividade das amostras e do custo relativamente alto das análises de laboratório. Várias espécies químicas, tais como: sódio, cloreto, magnésio, sulfato, ferro manganês, flúor, bário, cromo, etc., podem estar presentes naturalmente nas águas subterrâneas, como um resultado da interação geoquímica água-solo-rocha, em alguns tipos de ambiente hidrogeológico (CETESB, 2001). Além disso, uma avaliação da qualidade do solo e das águas subterrâneas requer associações com base na questão da saúde humana, outros importantes aspectos do meio ambiente, considerando os efeitos sobre os processos biológicos e outras funções do solo.

Danielopol (1980), enfatiza a necessidade do limnólogo aprofundar os estudos sobre água subterrânea e sua influência sobre os corpos de água superficiais.

A interferência da água subterrânea no balanço hídrico varia entre o insignificante até ser a principal fonte de entrada de nutrientes e manutenção do nível d'água em ambientes lênticos. O lago Bysjön, ao sul da Suécia, é um exemplo onde a principal entrada de água é através do aquífero freático, incluindo um efeito de eutrofização em função da carga de fósforo advinda neste fluxo (VANEK, 1993).

Miranda e Matvienko (2003) estimaram que a contribuição do aquífero na carga de fósforo introduzida no Reservatório do Broa foi de 12 %, sendo a segunda principal fonte desse elemento para o corpo d'água. Em um trabalho sobre o aporte de nutrientes em um lago urbano, Carmo (2000) estimou que somente 34 % do aporte de nitrogênio total são provenientes dos tributários e precipitação, o restante é introduzido no reservatório pelas fontes difusas.

Macbride e Pfannkuch (1975) estão entre os pioneiros nos estudos de determinação de padrões de infiltração. Os autores propuseram um modelo onde os fluxos de água subterrânea que penetram em um ambiente de água superficial são mais intensos próximo à borda e decaem exponencialmente à medida que se afastam da mesma, indo em direção das regiões mais profundas.

Alguns trabalhos confirmam os padrões propostos por Macbride e Pfannkuch (1975) (LEE, 1977; JOHN; LOCK, 1977; LOCK; JOHN, 1978; FELLOWS; BREZONIK, 1980; FRAPE; PATTERSON, 1981), enquanto outros propõem padrões diferentes com base na heterogeneidade existente sob o corpo d'água (CHERKAUER; NADER, 1989). Em trabalhos com enfoque limnológico, a avaliação dos padrões de infiltração no ambiente de estudo é importante subsídio na interpretação de resultados (MIRANDA, 1997).

Segundo Rebouças (1999), as condições de ocorrência das águas subterrâneas numa região são muito variadas, visto que dependem da interação de

fatores climáticos (irregulares no espaço e no tempo) e de fatores geológicos, cuja variabilidade também é muito grande e depende da escala do estudo.

Uma das características da água subterrânea, na zona de saturação, é a circulação sob a ação do gradiente hidráulico, sendo que parcela desse fluxo deságua na superfície dos terrenos (nascentes) e abastece poços e, a outra parcela deságua diretamente em rios, lagos e oceanos.

A abordagem hidrogeológica do sistema de fluxos subterrâneos vai ser à base da inserção das águas subterrâneas no gerenciamento de bacias hidrográficas como unidades de planejamento (REBOUÇAS, 1999), aprofundando os estudos limnológicos sobre as fontes difusas de nutrientes para os ecossistemas lacustres.

A percepção de que os processos de degradação da qualidade de água dos rios e lagos também podem atingir o manancial subterrâneo, é relativamente recente, década de 70, nos Estados Unidos e Canadá e década de 80 na Comunidade Econômica Européia (REBOUÇAS, 1999). Atualmente, os fatores que podem afetar a qualidade das águas subterrâneas já começaram a ser tratados nas suas devidas dimensões, na medida em que já se tem um melhor conhecimento dos processos que regulam os seus impactos entre as fronteiras (FREDERICK, 1993). Para as substâncias inorgânicas de interesse ambiental (metais pesados), que ocorrem naturalmente no solo, os valores de referência de qualidade podem ser estabelecidos em função das suas concentrações naturais, levando-se em consideração a variação das propriedades do solo. A expressão “metal pesado” é comumente utilizada para designar metais classificados como poluentes, na verdade aplica-se a elementos que têm peso específico maior que 5 g.cm^{-3} ou que possuem um número atômico maior que 20. A expressão engloba metais, semimetais e mesmo não metais como o selênio (Se). Trata-se, portanto, de um conjunto muito

heterogêneo de elementos. Imprópria ou não, a expressão “metal pesado” parece ter sido a mais usada para designar metais classificados como poluentes do ar, água, solo, alimentos e forragens. Na lista de metais pesados estão com maior frequência os seguintes elementos: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb (MALAVOLTA, 1994). Considerando a interação existente no sistema hídrico, o que ocorrer com o solo repercutirá nas águas subterrâneas, influenciando a água superficial, podendo resultar em alterações de sua qualidade. Desta forma, a migração dos elementos químicos através do solo, para as águas superficiais e subterrâneas, constitui uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos utilizados em abastecimento público, industrial, agrícola, comercial, lazer e serviços.

Em ambientes lênticos, em função das maiores taxas metabólicas e tempo de residência da água, torna-se importante à caracterização da dinâmica dos fluxos entre os sistemas adjacentes, de forma a permitir a compreensão da estrutura de funcionamento da solubilização, transporte e disponibilização de elementos químicos por fontes difusas nesses sistemas.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área de estudo

Para estudar a interação entre lagos e o sistema de águas subterrâneas, escolheu-se a zona de desembocadura do Rio Paranapanema na Represa de Jurumirim.

O Rio Paranapanema tem sua nascente localizada num plateau Cristalino (Planalto Atlântico), nasce na serra de Paranapiacaba (leste do Estado) e deságua no rio Paraná (oeste do Estado). É uma bacia endorréica, porque o rio Paranapanema, um dos principais afluentes do alto rio Paraná no Estado de São Paulo, flui da costa (Planalto Atlântico) para o interior (HENRY e NOGUEIRA, 1999).

A represa de Jurumirim é localizada na parte sudeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos $23^{\circ} 08'S$ e $23^{\circ} 35'S$ e os meridianos $48^{\circ} 30'W$ e $49^{\circ} 13'W$. O corpo d'água é alimentado principalmente por dois grandes tributários, os rios Paranapanema e Taquari (HENRY e NOGUEIRA, 1999).

Segundo Moschini-Carlos, Pompêo e Henry (1999), na zona de desembocadura do rio Paranapanema, ocorre um grande número de ambientes aquáticos com diferentes características hidrodinâmicas, representadas por lagoas isoladas do rio com conexão temporária na estação chuvosa; lagoas com conexão permanente e grande circulação de água, lagoas com conexão permanente, porém com canal de ligação bastante estreito com o rio e lagoas completamente isoladas.

O local em estudo caracteriza-se por ser uma zona de desaceleração da velocidade da correnteza do ambiente lótico (CASANOVA e HENRY, 2004) e uma elevada sedimentação do material alóctone transportado pelo rio Paranapanema (HENRY e MARICATO, 1996). A paisagem do local de estudo é composta por ambientes laterais lacustres a montante da zona de influência do rio na represa de Jurumirim (SUIBERTO, 2005)

Foram escolhidas, para estudo, três lagoas marginais, com diferentes graus de conexão com o rio Paranapanema: 1) Lagoa do Coqueiral, com elevada conectividade com o Rio Paranapanema; 2) Lagoa do Camargo, com conexão permanente com o rio, mas com baixa troca de “informações” e 3) Lagoa dos Cavalos, ambiente isolado do ecossistema lótico, não recebendo qualquer influência aparente, exceto em períodos de inundação extrema.

Segundo Henry et al. (2005), a conectividade provocando um distúrbio lateral é mantida através da conexão e da frequência de pulsos, sendo que alguns eventos alteraram temporariamente o padrão de conexão dos ambientes em estudo, destacando-se o período de inundação em fevereiro de 1997 que conectou ao rio a Lagoa dos Cavalos e o período de seca severa entre outubro de 1999 a dezembro de 2000 que desconectou as Lagoas do Coqueiral e Camargo do rio Paranapanema.

A Figura 04 mostra a localização dos corpos d’água escolhidos para estudo, sendo uma lagoa isolada (Lagoa dos Cavalos), uma lagoa com conexão temporária (Lagoa do Camargo) e uma lagoa com conexão permanente (Lagoa do Coqueiral) em conjunto com trecho do canal do Paranapanema que atravessa a região das lagoas.

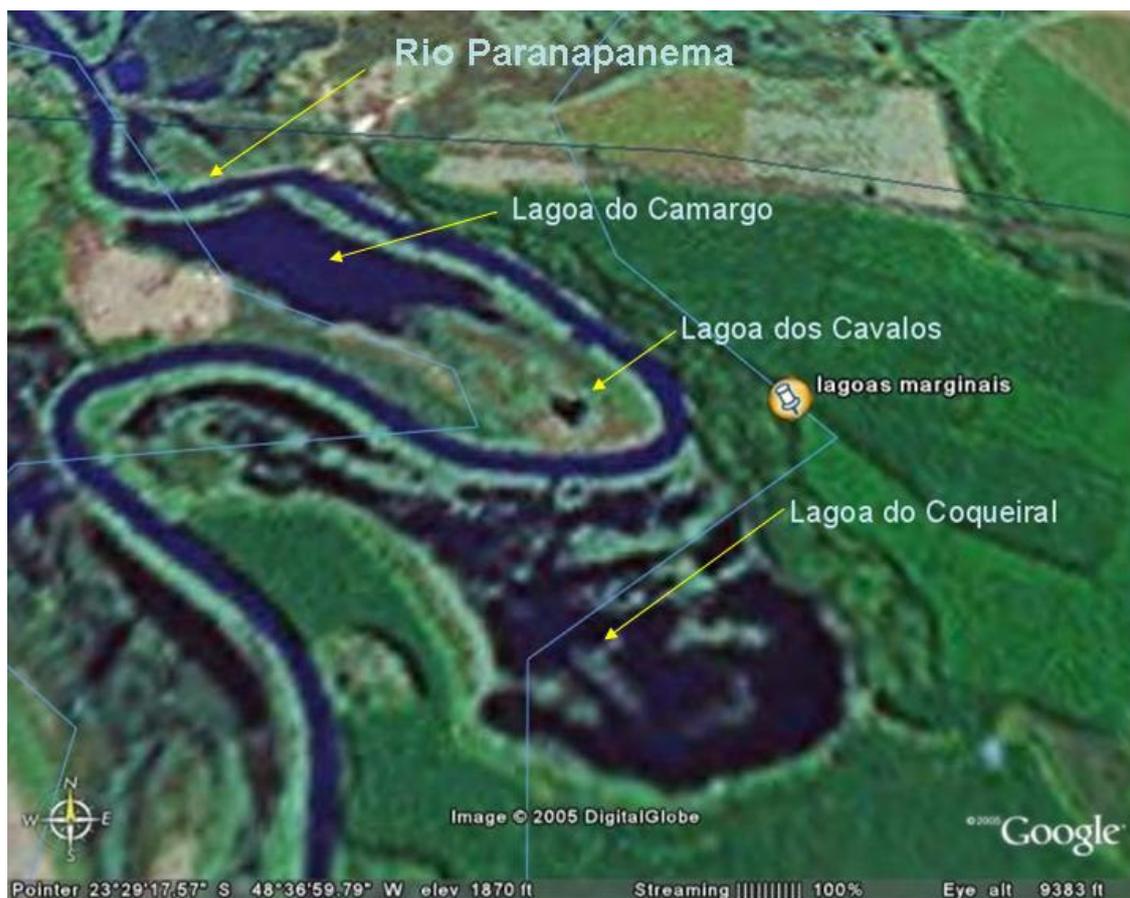


FIGURA 04: Imagem da zona de desembocadura do Rio Paranapanema e localização das 03 lagoas marginais do estudo.

3.2 - Periodicidade das coletas e distribuição dos pontos de amostragem

Foram realizadas mensalmente campanhas de amostragem da água superficial (rio e lagoas) e subterrânea no período de 04/2003 a 04/2005.

Os pontos amostrais entre as lagoas e o rio Paranapanema foram estabelecidos através de estudo prévio de campo. Aspectos relacionados à topografia, facilidade de acesso e cota foram levados em consideração na determinação do número e localização dos poços.

As perfurações para instalação dos piezômetros foram realizadas no período de seca na região (outubro/02), com o intuito de alcançar a maior extensão de perfuração manual sem técnicas de contenção de barrancos. No trabalho de campo foi utilizado um trado manual com 20 cm de diâmetro e a profundidade de poço alcançada variou em função do nível da água encontrado.

A distribuição dos poços de amostragem (piezômetros) da água subterrânea foi agrupada em três locais, identificados como sistemas:

- Sistema Lagoa do Camargo - SLC (conexão temporária): foram instalados três poços vizinhos, formando um transecto entre o rio e a lagoa (Figura 05).
- Sistema Lagoa do Coqueiral – SLQ (conexão permanente): foram instalados três poços vizinhos, formando um transecto entre o rio e a lagoa (Figura 05).
- Sistema Lagoa dos Cavalos – SLV (sistema isolado): foram instalados cinco poços vizinhos, formando dois transectos, sendo perpendicular entre o rio e a lagoa e outro paralelo ao rio (Figura 06).

A distribuição dos poços visou avaliar o gradiente do fluxo lateral entre o rio e as lagoas, caracterizando as possíveis variações sazonais no sentido do fluxo em função do regime hidrológico. No sistema Lagoa dos Cavalos, por ser um ambiente isolado e recarga de água ser essencialmente via hiporreica, foram acrescentados dois poços paralelos ao canal do rio, visando à análise do fluxo lateral e longitudinal.

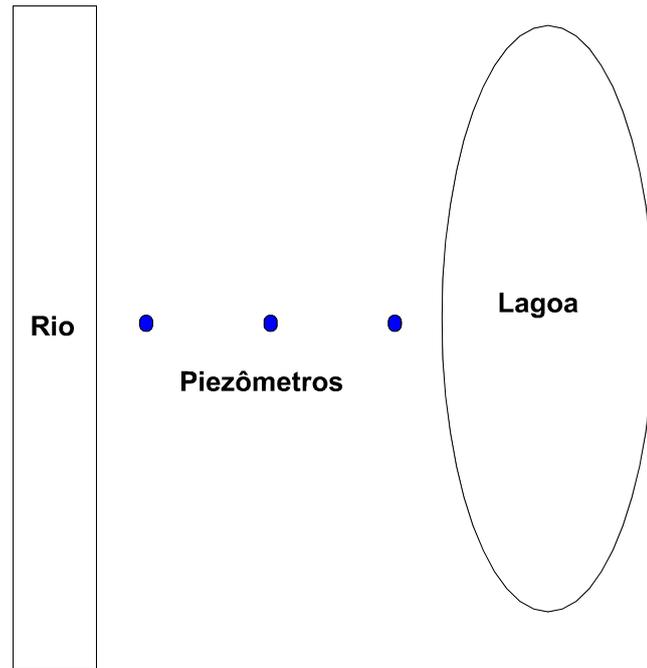


FIGURA 05: Esquema da disposição dos poços na Lagoa do Camargo e Lagoa do Coqueiral

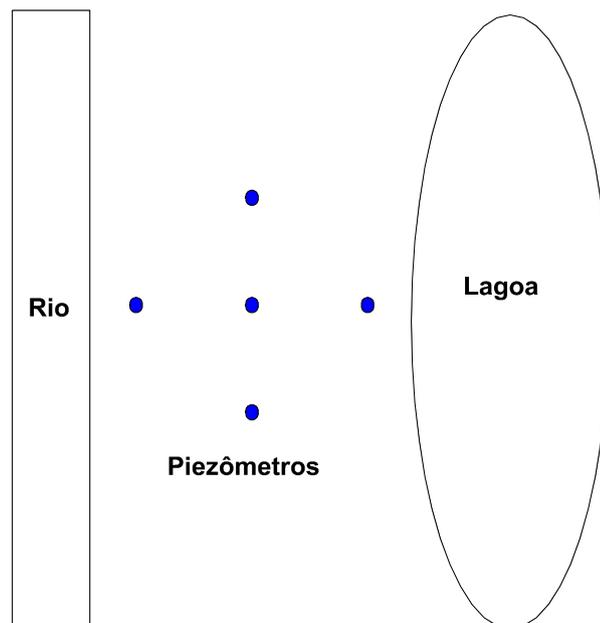


FIGURA 06: Esquema da disposição dos poços na Lagoa dos Cavalos

3.3 - Amostragem da água subterrânea

As amostras de água do aquífero livre foram feitas com o auxílio de garrafas de coleta (bailers), com volume de 1,0 L., específicas para amostragem em piezômetros. Os piezômetros foram construídos com tubos de PVC de 75 mm de diâmetro externo. A extremidade inferior recebeu 256 furos (perfurados com broca de 6,0mm) ocupando uma extensão de 1 metro (Figura 07) e foi revestida com tela de náilon para impedir a entrada de material parental, mas permitir a passagem da água. Após a introdução da estrutura do piezômetro no poço, a área perfurada de captação da água subterrânea recebeu um envoltório de cascalho.

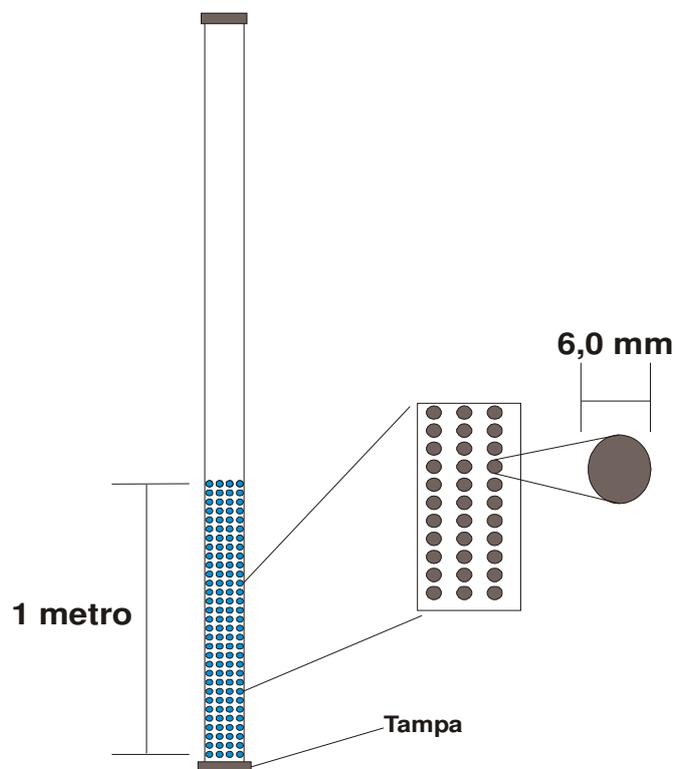


FIGURA 07: Esquema do piezômetro em PVC

3.4 - Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica foi determinada no campo utilizando-se testes do tipo slug, onde uma quantidade conhecida de água é adicionada ou retirada do piezômetro e a variação do nível de água é observada no decorrer do tempo. A condutividade hidráulica foi determinada através da equação proposta por Hvorslev (1951 apud FETTER, 1994) para poços parcialmente penetrantes em aquíferos livres:

$$K = \frac{r^2 \ln\left(\frac{L}{R}\right)}{2LT_0}$$

sendo:

r = raio do poço,

L = comprimento do filtro,

R = raio do furo,

T_0 = tempo necessário para que o nível do poço suba ou desça 37% da variação inicial ($h/h_0=0,37$).

Segundo FREEZE & CHERRY (1979), a diferença de potencial hidráulico entre o interior do piezômetro e o aquífero local é produzida pela alteração do nível de água no piezômetro partindo do nível estático, sendo medido o tempo (com cronômetro) para o nível de água recuperar estabilidade.

O procedimento consistiu em (Figura 08):

- Medir e registrar a profundidade do nível hidrostático do poço;
- Retirar um volume de água do poço;
- Registrar o tempo e o nível da água até que este voltasse às condições iniciais.

- Baseando-se nos dados de campo foi calculada a carga hidráulica normalizada $(H-h)/(H-H_0)$;
- Foi plotado o gráfico de $(H-h)/(H-H_0)$ em função do tempo em escala semi-log;
- Foi feito o ajuste de uma reta aos dados em escala semi-log;
- T_0 foi determinado em $(H-h)/(H-H_0)=0,37$.

O valor da condutividade hidráulica vai estar associado à forma e dimensão do piezômetro. Para esse tipo de teste é necessário assumir que o meio é infinito, isotrópico e homogêneo, que o solo e a água são incompressíveis, que o atrito é desprezível e a Lei de Darcy pode ser aplicada. Como a porção do aquífero ensaiada é limitada, a condutividade hidráulica determinada no teste é um valor pontual que não pode ser estendido muito além das fronteiras do poço em estudo (FETTER, 1994).

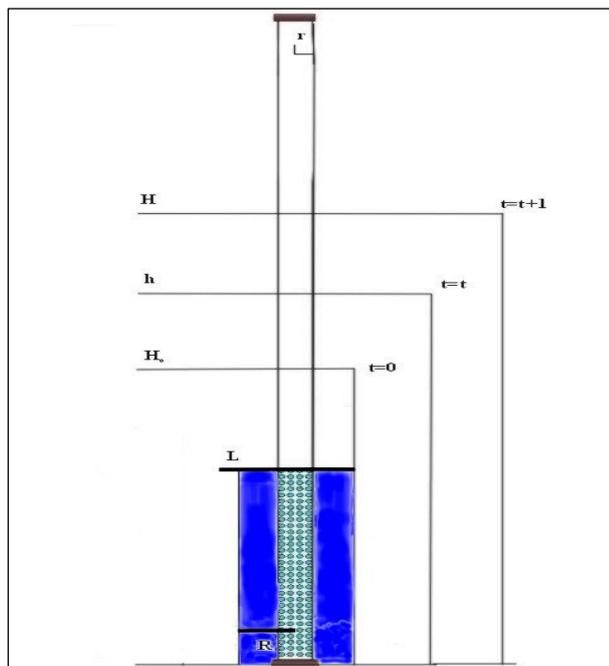


FIGURA 08:Esquema do poço de monitoração com as variáveis de determinação da condutividade hidráulica (teste slug).

3.5 – Levantamento topográfico, batimétrico e altimétrico

Foi realizado um levantamento topográfico do terreno, onde foram instalados os piezômetros, com o auxílio de um teodolito tipo transit com bússola modelo TV MZ Nº 3.243 (DF VASCONCELLOS). Posteriormente com o auxílio de um altímetro modelo EB 833 (Oregon Scientific) foi elaborado um croqui da malha piezométrica do entorno dos três sistemas estudados.

Simultaneamente ao perfil topográfico foi executado o levantamento batimétrico da lagoa e do rio, com o auxílio de uma ecosonda para elaboração dos mapas das cotas dos níveis de água dos sistemas.

3.6 - Variáveis físicas e químicas da água superficial e subterrânea

3.6.1 – Condutividade elétrica

A condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) foi determinada através do método eletrométrico, por meio de um condutivímetro HACH-2511. Foi utilizada a compensação linear para a temperatura de 25 °C (GOLTERMAN et al, 1978).

3.6.2 – pH

Os valores de pH foram obtidos através de potenciômetro digital, marca Micronal modelo B-378.

3.6.3 - Nitrogênio total e fósforo total

As amostras para determinação de nutrientes totais foram congeladas logo após a coleta para posterior análise, em período sempre inferior a 90 dias.

As determinações das concentrações de nitrogênio total e fósforo total nas amostras de água do rio, das lagoas e do aquífero livre seguiram o método proposto por Valderrama (1981).

O método consiste na adição de um reagente de oxidação (persulfato de potássio + hidróxido de sódio + ácido bórico) na amostra e posterior digestão em autoclave (120 - 130 °C) durante 45 minutos. Os produtos da oxidação são nitrato, nitrito e ortofosfatos que são determinados por processos colorimétricos segundo Mackereth et al (1978), para os íons nitrogenados, e Strickland & Parsons (1960), para fosfatados.

3.6.4 – Cátions

A análise de cátions cálcio, magnésio, sódio, alumínio, manganês, bário, zinco, cobalto, molibdênio foi realizada no Laboratório de Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP - Campus Piracicaba. Foi utilizado o método instrumental de Espectrometria de Emissão Ótica com fonte de Plasma acoplado indutivamente (ICP OES) do inglês (Inductively Coupled Plasma optical Emission Spectrometry) e quantificação por curva analítica levantada com soluções padrão de alta pureza preparadas com água deionizada em sistema milli-Q ®. exatidão usando soluções de controle de qualidade analítica QCS-21(Quality Control Standard preparada pela High-Purity Standards).

3.7 – Dados pluviométricos

Os dados de pluviosidade, no período de janeiro de 2003 a 15 de abril de 2005, foram obtidos na Estação Pluviométrica nº E5-017 (latitude: 23°29' e longitude: 48°25') do Departamento de Águas e Energia Elétrica (D. A. E. E.) de Angatuba-SP.

3.8 – Análise do solo

Para os três sistemas foram realizadas sondagens para investigação das características do solo. As amostras foram coletadas homogeneizando extratos em intervalos de 1,0 m a partir da superfície, no momento de montagem do piezômetro central, até encontrar o nível de água. Todos os poços centrais dos sistemas ultrapassaram os 3 metros de profundidade, mas não alcançaram os 4 metros de profundidade, com exceção do sistema Lagoa do Coqueiral. Portanto fração homogeneizada apresentada no estrato entre 3 e 4 metros representam o intervalo de 3 a 3,4 m para o sistema Lagoa do Camargo e 3 a 3,6 m para o sistema Lagoa dos Cavalos.

O material de cada estrato foi acondicionado em sacos plásticos inertes e transportado para o laboratório, onde sofreram o processo de secagem exposta ao ar (TFSA - terra fina seca ao ar). Após este processo inicial, as amostras foram novamente homogeneizadas e fracionada em sacos plásticos inertes, transparentes e de alta resistência. As análises físicas e químicas do solo foram realizadas no laboratório do Instituto Campineiro de Análises de Solo (ICASA) em Campinas – SP.

O solo foi analisado para determinar a granulometria, a porosidade, o pH, a quantidade de matéria orgânica (MO), a capacidade de troca de cátions (CTC), a

soma das bases trocáveis (SB), porcentagem de saturação por bases (V) e a concentração de N, P, Ca, Mg, K, Al, S, Na, Mn, Cu, Zn, B.

As técnicas analíticas usadas na análise de solo foram:

Resina trocadora aniônica + catiônica (RAIJ & GUAGGIO, 2001): P , K , Ca, Mg

Extrator DTPA-TEA : Mn, Cu, Zn

Extrator cloreto de bário 0,125%: B

3.9 – Estimativa do fluxo da água subterrânea

A vazão de água que flui entre os compartimentos dos sistemas foi estimada levando-se em consideração a diferença na altura hidráulica e a distância entre o piezômetro central e o rio ou a lagoa, dependendo da direção do fluxo estabelecido.

A vazão (Q) foi determinada através da expressão:

$$Q = v \times A$$

sendo:

Q= vazão ($m^3.d^{-1}$)

v= velocidade do fluxo ($m. d^{-1}$)

A= área da zona saturada em estudo (m^2)

Para a determinação da velocidade do fluxo foi usada a expressão:

$$v = K \times i$$

sendo:

K = condutividade hidráulica ($m.d^{-1}$)

i = razão entre a variação do nível freático e a distância entre os dois pontos.

3.10 – Carga estimada

A estimativa do aporte de nitrogênio e fósforo nos compartimentos dos sistemas foi obtida através do produto entre os valores de vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) e a concentração ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) do nutriente obtida através da análise química.

3.11 – Tratamento matemático e estatístico dos resultados

As amostras de águas foram avaliadas em um experimento com dois fatores: o ambiente e o compartimento, ambos com três níveis. Para cada uma das nove combinações de ambiente e compartimento foram observadas duas amostras. As variáveis de interesse foram monitoradas mensalmente em um período de 13 a 25 meses. O objetivo do trabalho foi verificar se o sistema, o compartimento e o tempo exercem influência nas variáveis monitoradas.

Primeiramente, foi observada a influência dos fatores e do tempo nas variáveis monitoradas de forma descritiva, através de gráficos de colunas.

Para representar o perfil temporal de cada variável selecionada, foram utilizadas representações gráficas do tipo *box-plot*. Esta metodologia possibilita a visualização da assimetria da distribuição, a faixa de variação dos dados, além de permitir a detecção de possíveis pontos extremos. As representações de *box-plot* possibilitam ainda a visualização das seguintes grandezas estatísticas: a mediana (divide o conjunto de dados ao meio, deixando metade dos dados abaixo e metade acima dela), o máximo, o mínimo, o 1º quartil (é o valor que deixa $\frac{1}{4}$ das observações abaixo dele), o 3º quartil (é o valor que deixa $\frac{3}{4}$ das observações abaixo dele).

A observação da escala temporal nos ambientes (Lagoa do Camargo – LCM, Lagoa dos Cavalos – LCV e Lagoa do Coqueiral – LCQ) e nos compartimentos (água subterrânea – P, água da lagoa – L e água do rio R) nas variáveis monitoradas, foi feita através de gráficos de dispersão. Em seguida, foi verificado se as diferenças observadas de forma descritivas são significantes. Para isso, foi ajustado um modelo linear generalizado para cada variável de interesse, considerando esta como variável dependente e os compartimentos e o tempo como variáveis independentes.

A análise estatística multivariada foi aplicada como ferramenta de auxílio na organização, interpretação e avaliação dos resultados em função do grande número de dados gerados. Essa ferramenta pode reduzir a complexidade do problema, sem acarretar numa perda relevante de informação e ao mesmo tempo evidencia as relações entre as variáveis constituintes da base de dados. O método estatístico utilizado foi à análise multivariada por componentes principais (ACP), que tem como finalidade identificar novas variáveis, denominadas componentes, que são combinações lineares dos dados originais. Os principais componentes foram utilizados em representações gráficas para análise dos dados espaciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação

Os valores de precipitação mensal (mm), no período de janeiro de 2003 a 15 de abril de 2005, estão apresentados na Figura 09. Na região o período chuvoso se estende de novembro a março e os meses mais secos concentram-se entre abril e outubro, com pequenas alterações anuais.

Carvalho et al. (2003), usando dados de precipitação no Posto Meteorológico da Usina Hidroelétrica “Engenheiro Armando Avellanal Laydner” (barragem do reservatório de Jurumirim), caracterizaram um período de seca evidente entre os meses de maio e agosto de 1995 e entre abril e setembro no ano 1996. Em escala regional o posto meteorológico fica a uma distância de aproximadamente 100 km da zona de desembocadura do Rio Paranapanema na Represa de Jurumirim.

No período de estudo, a precipitação mensal máxima observada foi de 322 mm em janeiro de 2004 e durante o mês agosto de 2004 não foi registrada precipitação na estação de Angatuba (distanciada de cerca de 20 km do local de estudo).

Os dados pluviométricos obtidos no SIGRH do DAEE da Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo, baseados em

uma série histórica de 40 anos para a bacia Itapetininga (prefixo E5-007, latitude: 23°30' e longitude: 48°18'), apresentaram uma precipitação média anual de 1.214,7 mm em uma área de bacia hidrográfica correspondente a 100 km², englobando a área do presente estudo (<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu> - 10/05/2005).

A precipitação pluviométrica medida na estação de Angatuba mostra que em 2003 a precipitação foi de 1.321,3 mm e no ano de 2004 ocorreu uma redução de aproximadamente 10% do volume precipitado, alcançando o valor de 1.189,3 mm. Considerando o intervalo entre abril/2003 a março/2005, utilizado no presente trabalho, a precipitação anual média foi de 1.157,2 mm, sendo que no primeiro período de doze meses (abril/03 a março/04) obtivemos um acumulado de 1.237,2 mm e no segundo período 1.077,2 mm.

Na região Henry (2005) tabulou os dados de precipitação, da estação de Angatuba, no intervalo de 1998 a 2001, obtendo os valores de 1.544,3 mm, 1273,8 mm, 1080,2 mm e 1438,7 mm para a seqüência anual respectiva. O conjunto dos dados, obtidos na estação de Angatuba, indica que variações anuais superiores a 10% de aumento ou redução do volume precipitado são característicos da região.

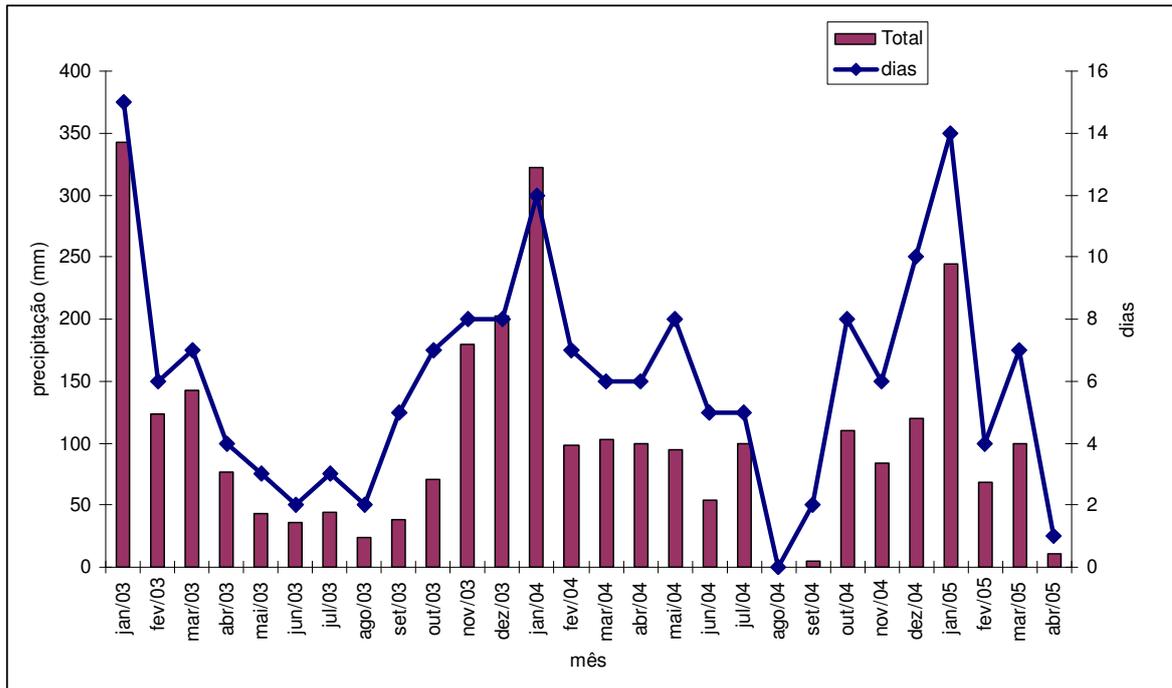


FIGURA 09: Valores mensais de pluviosidade (mm) e número de dias com precipitação para a cidade de Angatuba – SP.

Os dados mensais obtidos no presente trabalho e as médias históricas de precipitação da região estão apresentados na Figura 10, demonstrando que o período de estudo representa as características pluviométricas da região.

A precipitação sobre a superfície do solo é a fonte de todo o recurso hídrico de uma região. A principal forma de interação entre águas superficiais e subterrâneas ocorre durante a precipitação, onde uma parte do volume precipitado escoar sobre a superfície do solo e a outra parte penetra no solo no processo conhecido como infiltração. Uma fração da água que infiltra no solo após a chuva alcança a zona de saturação, constituindo e produzindo alterações no reservatório de água subterrânea e contribuindo para as funções de armazenamento e transmissão do aquífero livre.

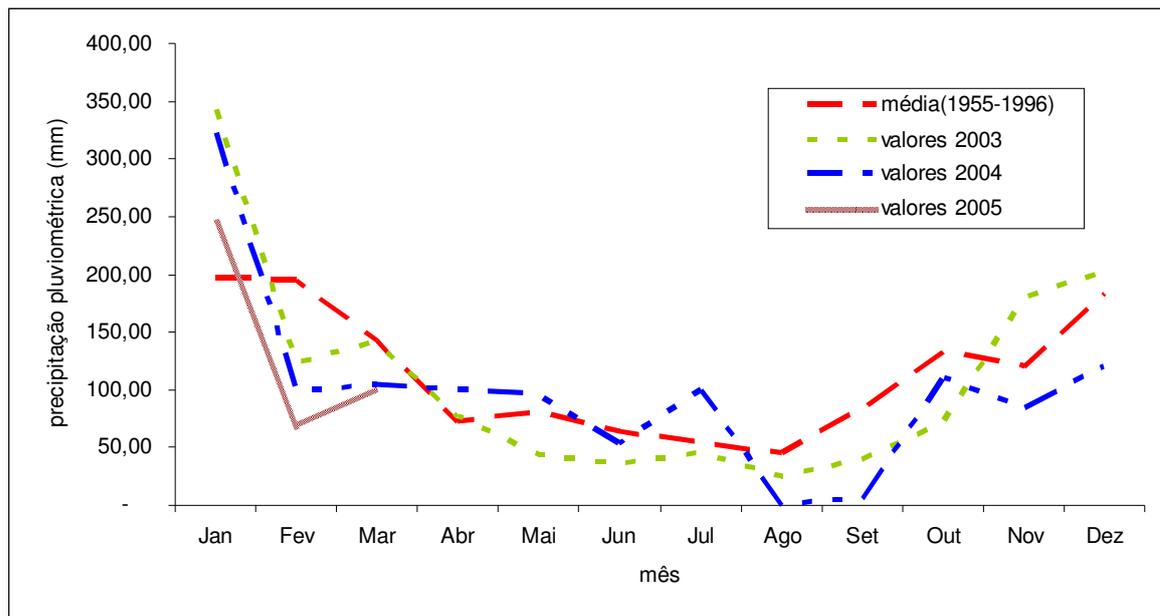


FIGURA 10: Precipitação pluviométrica (mm) registrada nos anos de 2003, 2004 e início de 2005, e médias mensais históricas do posto de Angatuba.

Segundo Cabral et al. (2003), a infiltração é o fenômeno pelo qual a água oriunda da precipitação natural ou da prática da irrigação penetra no solo e nele se distribui. O movimento da água no solo a partir de uma quantidade aplicada na superfície pode se dar de duas formas: a infiltração propriamente dita, que é caracterizada pela distribuição da umidade no solo a partir de um suprimento de água na superfície; e a redistribuição, processo também denominado de drenagem interna do solo, onde depois de cessado o suprimento de água na superfície, a umidade se distribui no solo.

Estimativas de Coimbra (1987) mostram que cerca de 12% da precipitação total infiltra na zona vadosa, efetivamente alcançando a zona saturada do solo. A partir dessa contribuição, o fluxo e o escoamento em aquíferos livres, principalmente nos aquíferos considerados rasos, são afetados por perdas através da capilaridade e da evapotranspiração da umidade na zona vadosa.

De maneira geral os rios, lagos e outros corpos d'água podem contribuir para ou sofrerem o aporte da água do aquífero. Em um estudo na área do Distrito Federal, Carmelo (2002) avaliou que um volume superior a 20% da precipitação total infiltra através da zona vadosa do domínio poroso para recarregar a zona saturada do domínio aquífero fraturado da região.

As Figuras 11, 12 e 13 apresentam a variação temporal da profundidade da zona saturada (nível hidrostático) na região dos três sistemas estudados, demonstrando o comportamento esperado de oscilação em função dos eventos de precipitação. O comportamento das linhas gráficas demonstra que as alterações da altura hidráulica tendem a seguir o comportamento da linha de precipitação com um pequeno atraso temporal.

A TABELA 01 apresenta uma análise da tendência central e dispersão dos valores do nível hidrostático nos três sistemas estudados.

O processo de infiltração associado ao período chuvoso tende a aumentar progressivamente a umidade solo, elevando o nível hidrostático do aquífero livre; enquanto que no processo de redistribuição associada ao período de seca ocorre o processo inverso.

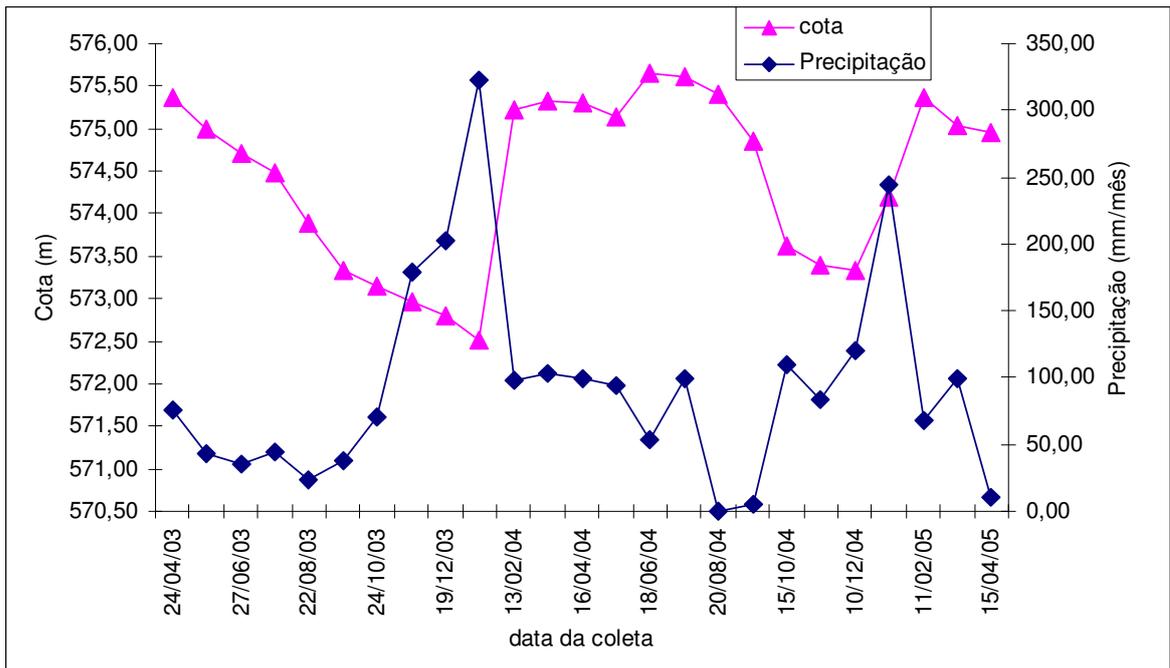


FIGURA 11: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrostático no poço de amostragem central do sistema Lagoa do Camargo.

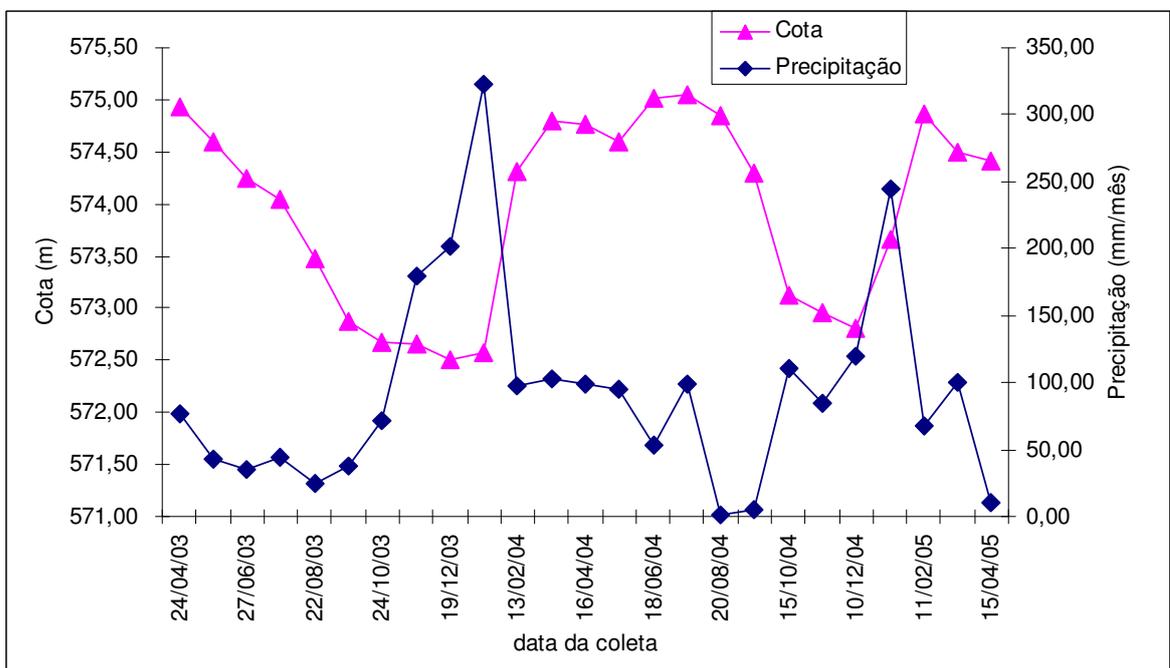


FIGURA 12: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrostático no poço de amostragem central do sistema Lagoa do Coqueiral.

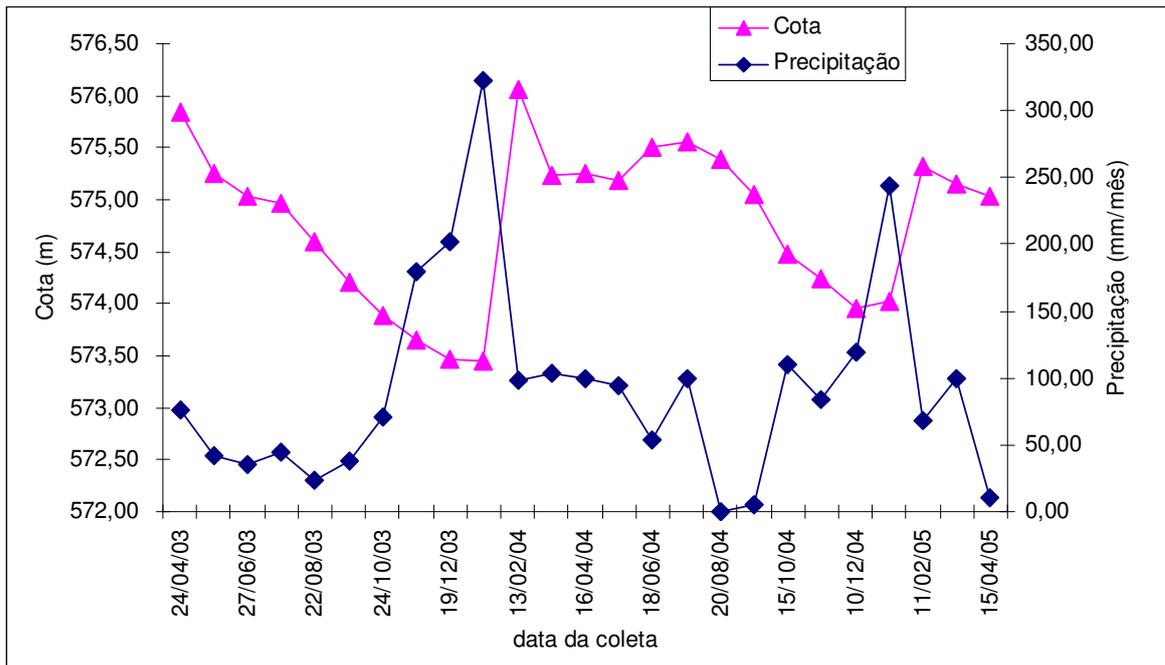


FIGURA 13: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrostático no poço de amostragem central do sistema Lagoa dos Cavalos.

TABELA -01: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados do nível hidrostático (cota em metros) nos três sistemas no período de abril/03 a abril/05.

| Sistema | Máximo | Mínimo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|--------------------|--------|--------|--------|---------------|------------------------------|
| Lagoa do Camargo | 575,65 | 572,52 | 574,40 | 1,002 | 0,17 |
| Lagoa do Coqueiral | 575,05 | 572,51 | 573,93 | 0,91 | 0,16 |
| Lagoa dos Cavalos | 576,06 | 573,45 | 575,29 | 0,75 | 0,13 |

Para Sophocleous (2002), a água subterrânea e a água superficial não são componentes isolados do sistema hidrológico, mas interagem em uma variedade de paisagens fisiográficas e climáticas. Na região em estudo, a precipitação é um dos fatores que atuam na movimentação da água subterrânea, outro fator importante

para o sistema em estudo é a operação no Reservatório de Jurumirim, o primeiro de um sistema em “cascata” presente no rio Paranapanema.

A variação da cota média mensal do nível de água da Represa de Jurumirim associada aos valores de precipitação está apresentada na Figura 14.

Um reservatório artificial é resultado da intervenção antrópica com o objetivo de modificar as vazões naturais dos rios atendendo as necessidades da sociedade; essa alteração passa a ser um importante agente modificador do sistema hidrológico regional, provocando alterações a montante e a jusante do ponto em que está instalado.

Segundo Girard, Silva e Abdo (2003), o reservatório da Hidrelétrica de Manso, localizada na região do Alto Pantanal e construída no rio Manso na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, teve um efeito acentuado na redução dos picos de inundação e alterou a planície de inundação da região.

Segundo Henry (2005), os efeitos dos pulsos hidrológicos em regiões de desembocadura dos tributários nas represas são atenuados em função do manejo da massa de água armazenada nos reservatórios. Em trabalhos realizados na mesma região de estudo Pompêo, Henry e Moschini-Carlos (1999), Henry (2005) e Henry et al. (2005) consideraram que o padrão de variação do nível da água no reservatório é o mesmo que acontece em águas superficiais de sistemas lóticos na zona de desembocadura do rio Paranapanema na represa de Jurumirim.

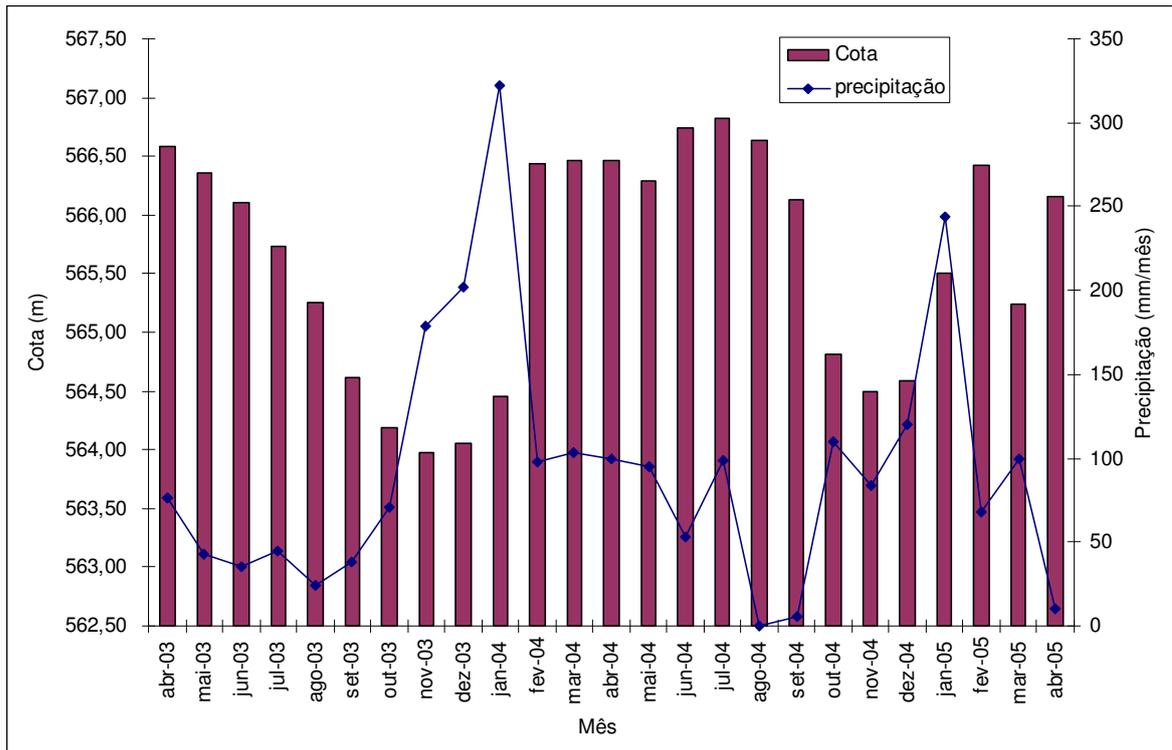


FIGURA 14: Gráfico da variação da precipitação mensal (mm) e da cota (m) do nível hidrométrico do reservatório de Jurumirim.

Henry et al. (2005), detectaram em um estudo nas lagoas marginais (Lagoa do Camargo e Lagoa do Coqueiral) e o Rio Paranapanema, durante o período de seis anos (1998 a 2003), que a cota 563,60m no nível da água da represa é o limite na manutenção da conexão rio e as lagoas marginais. Valores inferiores ao proposto provocariam a desconexão pontual do sistema, ficando as lagoas conectadas somente via zona hiporrêica com o canal do rio.

A TABELA 02 apresenta a variação da cota no nível de água na barragem do reservatório e no nível hidrostático da água subterrânea nos sistemas estudados. No presente estudo não foi registrado nenhum valor de cota, na represa, inferior à fronteira de conexão dos sistemas proposta por Henry et al. (2005).

TABELA -02: Valor máximo, mínimo e variação da cota do nível hidrostático nos três sistemas estudados e do nível da água no reservatório de Jurumirim, no período de abril/03 a abril/05.

| | Represa | Lagoa do Camargo | Lagoa do Coqueiral | Lagoa dos Cavalos |
|----------|----------|------------------|--------------------|-------------------|
| Mínimo | 563,85 m | 572,52 m | 572,51 m | 573,45 m |
| Máximo | 566,89 m | 575,65 m | 575,05 m | 576,06 m |
| Variação | 3,04 m | 3,13 m | 2,54 m | 2,61 m |

O comportamento gráfico na variação do nível da água nos três sistemas estudados foi bastante similar ao apresentado na operação do Reservatório de Jurumirim e está representado na Figura 15.

Girard, Silva e Abdo (2003), no estudo da relação aquífero-rio em uma região marginal ao Rio Cuiabá, também encontraram uma padronização na variação do nível hidrostático do aquífero livre e a variação do nível da água no canal de Jacurutubinha. A região estudada faz parte do Pantanal brasileiro e os autores concluíram que a recarga do aquífero livre nos pulsos de inundação é um fator importante na manutenção dos canais no período de seca e desconexão superficial com o Rio Cuiabá.

As lagoas do Coqueiral e Cavalos apresentaram os resultados esperados corroborando na premissa que a velocidade de escoamento da água subsuperficial do solo é mais lenta que o escoamento fluvial. Esse fato permite aos aquíferos desempenhar, de maneira eficiente, duas funções importantes: o armazenamento e a transmissão de água; os interstícios e poros de um aquífero servem tanto para acumulação de água como para movimento. Contudo, esse movimento, formado por percursos das zonas de abastecimento até as zonas de descarga, é lento. Dessa

forma na interação rio-aquífero a variação da superfície freática normalmente apresenta valores próximos, porém inferiores ao meio fluvial em sistemas perenes.

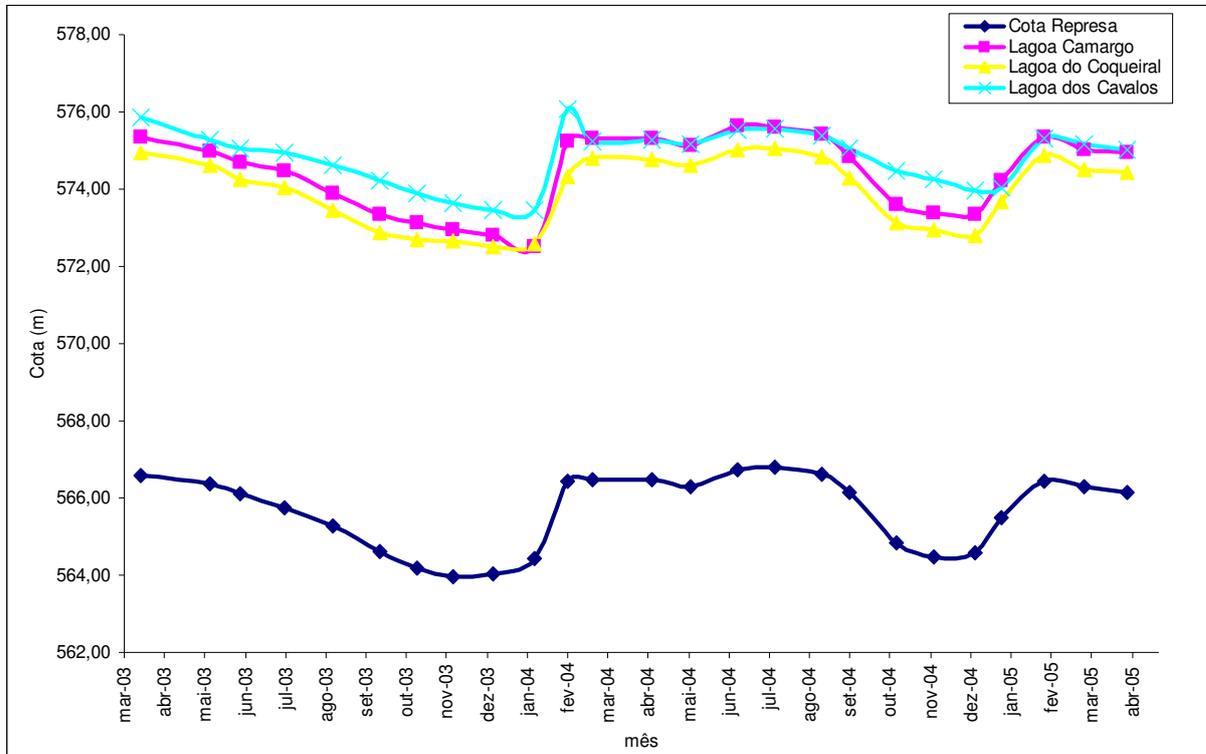


FIGURA 15: Gráfico da variação da cota (m) do nível hidrométrico do reservatório de Jurumirim e da superfície freática dos sistemas Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos.

O sistema Lagoa do Camargo apresentou uma variação superior no nível hidrostático (variação de 3,13 m) em comparação ao valor obtido no corpo do reservatório (variação de 3,04 m). Essa alteração em relação aos demais sistemas pode estar associada à influência e alteração antrópica observada durante o período de estudo. Nas atividades de campo para coleta, foram observadas modificações no ponto de conexão da lagoa com o rio provocada por pescadores, que para entrarem com seus barcos na lagoa e instalarem suas redes, alteraram a profundidade e largura do canal, modificando dessa forma as trocas de água com o Rio Paranapanema e o equilíbrio dos sistemas hidrológicos no local. Suiberto (2005)

também constatou a interferência antrópica no sistema Lagoa do Camargo, seus dados indicam que em agosto de 2003 o nível do rio Paranapanema e da lagoa do Camargo estavam baixos (cota 565,14 m na barragem do reservatório de Jurumirim), tendendo ao isolamento da lagoa. No mês seguinte (setembro cota 564,43 m), a construção de um canal por moradores no local, não existente anteriormente, causou uma grande exportação de água proveniente da lagoa do Camargo em direção ao rio Paranapanema. Esta saída de água estendeu-se até o mês de dezembro.

Os processos hidrogeológicos apresentam propriedades e características que variam com as escalas espaciais e temporais, em consequência da heterogeneidade tanto no sistema quanto nos processos estudados. Grapes, Bradley e Petts (2005) observaram variações no incremento das vazões na extensão de uma bacia hidrográfica e consideraram que avaliações em escala local podem resultar em observações de alterações importantes nas conexões e modificações dos fluxos da água subterrânea.

A característica química da água subterrânea reflete os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de solos drenados e com os produtos das atividades humanas adquiridos ao longo de seu trajeto.

4.2 Solo

De maneira geral os solos podem ser classificados em função do tamanho das partículas de sua fase sólida, conforme apresentado na TABELA 03. A análise táctil-visual das amostras de solo dos três sistemas em estudo mostrou o caráter arenoso destes.

O processo de intemperismo na formação do solo reduz o tamanho de suas partículas; as alterações físicas e químicas produzem partículas de tamanho extremamente reduzido, conhecidas como colóides. Os colóides argilosos são frações menores que 0,001 mm ou 1,0 micra; essas partículas são os principais responsáveis pela atividade química do solo.

Os perfis litológicos obtidos durante a perfuração do poço central nos três sistemas encontram-se ilustrados na Figura 16. Durante a realização das sondagens para instalação dos piezômetros foi observado uma alta permeabilidade dos sedimentos constituintes da zona saturada; devido à rápida infiltração da água e acumulação no espaço gerado pela perfuração.

O sistema Lagoa do Coqueiral mostrou o maior valor da fração de argila, 19,2 % no primeiro metro do sistema, reduzindo para 11,9 % na zona de captação do piezômetro. Nos demais sistemas, os valores oscilaram de 6,7 % a 7,9 % na Lagoa dos Cavalos e de 6,3 % a 6,1 % na Lagoa do Camargo no primeiro metro e na zona de captação, respectivamente. Do conjunto de dados avaliados, nenhum extrato apresentou mais do que 350 g. kg⁻¹ de argila, valor estabelecido pela EMBRAPA (1999) como limite inferior da classe textural argilosa.

TABELA 03: Classificação granulométrica do solo.

| CLASSIFICAÇÃO | DIMENSÃO (mm) |
|---------------|------------------------|
| Calhaus | 20 a 2 |
| Areia grossa | 2 a 0,2 |
| Areia fina | 0,2 a 0,02 |
| Limo | 0,02 a 0,002 |
| Argila | < 0,002 ou 2 micra (μ) |

Em termos práticos os extratos de solo dos três sistemas apresentaram características semelhantes em relação à composição granulométrica, a densidade aparente, classe e subclasse (TABELA 04).

O solo é um compartimento natural constituído por componentes minerais e orgânicos, com suas propriedades físicas, químicas e biológicas. As propriedades do solo, entretanto, não podem ser uma simples combinação das propriedades de seus componentes. A composição dos solos é extremamente diversa e governada por muitos fatores, sendo os mais importantes, as condições climáticas e o material parental (CETESB, 2001). Os elementos químicos em solos são derivados tanto do intemperismo, que age sobre o material parental, como de fontes externas naturais (erupção vulcânica) ou antrópicas (indústrias, agricultura).

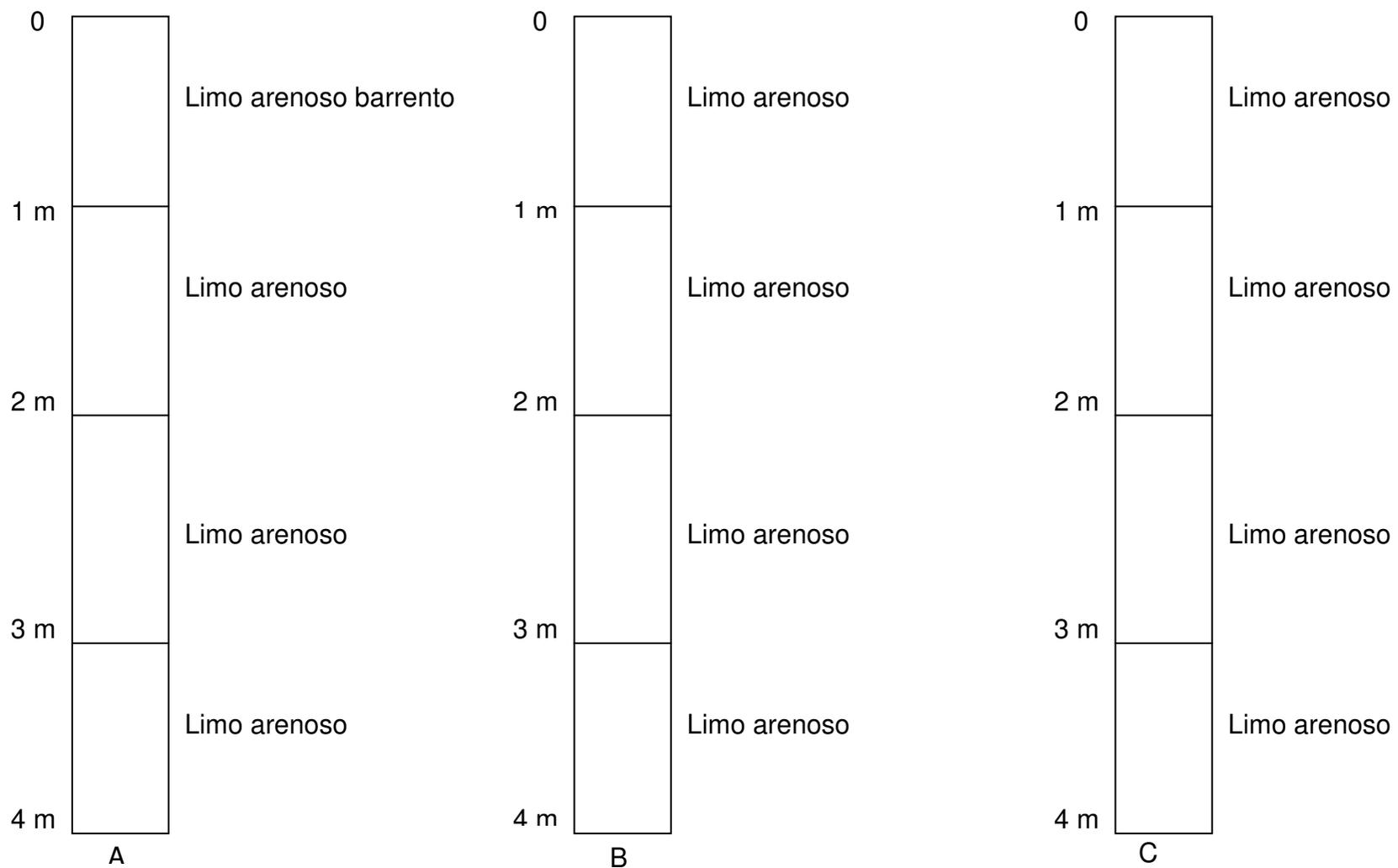


FIGURA 16- Perfil litológico dos sedimentos obtidos no poço central dos sistemas Lagoa do Coqueiral (A), Lagoa dos Cavalos (B) e Lagoa do Camargo (C).

TABELA 04: Classificação granulométrica, densidade aparente e classificação dos extratos de solo dos sistemas: Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).

| Sistema | Composição granulométrica (%) | | | | | Densidade aparente | Classe | Sub-classe |
|----------|-------------------------------|--------------|------------|------|--------|--------------------|---------------------|---------------|
| | Cascalho | Areia Grossa | Areia Fina | Limo | Argila | | | |
| LCQ - 1m | 0,0 | 5,8 | 33,9 | 41,1 | 19,2 | 1,06 | Limo areno barrento | Limo barrento |
| LCQ - 2m | 0,0 | 9,1 | 66,3 | 17,4 | 7,2 | 1,26 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCQ - 3m | 0,0 | 3,7 | 51,4 | 30 | 14,9 | 1,25 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCQ - 4m | 0,0 | 3,3 | 52,8 | 32 | 11,9 | 1,22 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCV - 1m | 0,0 | 19,8 | 65 | 8,5 | 6,7 | 1,26 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCV - 2m | 0,0 | 26,5 | 52,7 | 13,7 | 7,1 | 1,31 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCV - 3m | 0,0 | 33,7 | 42,4 | 15,6 | 8,3 | 1,28 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCV - 4m | 0,0 | 39,5 | 37,3 | 15,3 | 7,9 | 1,50 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCM - 1m | 0,0 | 23 | 60,7 | 10 | 6,3 | 1,20 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCM - 2m | 0,0 | 22,4 | 66,2 | 6,6 | 4,8 | 1,12 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCM - 3m | 0,0 | 16,8 | 61,5 | 15,3 | 6,4 | 1,19 | Limo arenoso | Fino arenoso |
| LCM - 4m | 0,0 | 13,8 | 66 | 14,1 | 6,1 | 1,23 | Limo arenoso | Fino arenoso |

A natureza dos constituintes minerais e orgânicos é um dos fatores determinantes da concentração de elementos químicos na fase sólida do solo. A adsorção desses compostos está associada, preferencialmente, à presença de colóides inorgânicos; dessa forma, a maior composição do solo em relação a sua fração de argila, resultará em uma maior capacidade de reter e disponibilizar nutrientes.

Todas as amostras de solo dos sistemas estudados apresentaram valores de pH menores que 5,0, indicando uma acidez elevada (TABELA 05), o maior valor foi encontrado no primeiro metro do solo do sistema Lagoa do Coqueiral (pH= 4,3 em solução de CaCl_2). Rajj e Quaggio (1983), observaram que o pH em CaCl_2 apresenta um decréscimo de 0,6 unidade em relação ao pH em água, dessa forma o valor máximo corresponderia ao pH= 4,9 em água.

Soarez (2004), avaliando 30 amostras de solos representativos do Estado de São Paulo encontrou valores de pH oscilando entre 4,01 a 7,25 com valor médio de 5,23. O autor considerou que o valor máximo representa uma condição pouco comum em solos da região tropical, porém o resultado não foi considerado discrepante.

TABELA 05: Classificação química e agronômica dos valores de pH em H₂O para solos. Adaptado de ALVAREZ et al (1999) apud MOREL (2005).

| CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA | | | | | | |
|--------------------------|----------------|--------------|--------------|------------|----------------------|----------------------|
| Acidez muito elevada | Acidez elevada | Acidez média | Acidez fraca | Neutra | Alcalinidade e fraca | Alcalinidade elevada |
| < 4,5 | 4,5-5,0 | 5,1-6,0 | 6,1-6,9 | 7,0 | 7,1-7,8 | >7,8 |
| CLASSIFICAÇÃO AGRONÔMICA | | | | | | |
| Muito baixo | Baixo | Bom | Alto | Muito alto | | |
| <4,5 | 4,5-5,4 | 5,5-6,0 | 6,1-7,0 | >7,0 | | |

O valor de pH do solo tem uma forte relação com a distribuição e variabilidade dos nutrientes do solo, influenciando diretamente a fertilidade e a capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de troca de ânions (CTA) do solo. Os resultados da análise de solo dos sistemas variaram de 3,7 a 4,3 para o pH em CaCl_2 e, conseqüentemente, de 4,3 a 4,9 para o pH em água (TABELA 6).

Segundo Lopes e Guilherme (1992), a influência do pH do meio na CTC será tanto maior, quanto maiores forem as presenças de espécies de minerais de argila com dominância de cargas dependentes de pH e, ou, matéria orgânica que, praticamente, só apresenta esta característica. As concentrações de nitrogênio, fósforo e dos cátions e ânions estudados nas amostras de solo dos três sistemas estão apresentados na TABELA 06. Os valores da CTC, da soma das bases trocáveis (SB), porcentagem de saturação por bases (V) e matéria orgânica (MO) estão apresentados na TABELA 07.

Segundo Lopes e Guilherme (1992), cátions retidos (adsorvidos) nos colóides do solo podem ser substituídos por outros cátions. Isto, em termos práticos, significa que eles são trocáveis. O cálcio pode ser trocado por hidrogênio e, ou, potássio, ou vice-versa. O número total de cátions trocáveis que um solo pode reter (a quantidade de sua carga negativa) é chamado de sua Capacidade de Troca (adsorção) de Cátions ou CTC. Quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter. A CTC também indica a quantidade de íons positivos (cátions) que o solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar por quantidades estequiométricas equivalentes de outros cátions (íons de mesmo sinal), e é função da intensidade de cargas negativas que se manifesta nos colóides.

Tabela 06: Resultado da análise de solo. Unidades: g/dm³ (N), mg/dm³ (P, S, Na, Mn, Cu, Zn e B) e mmolc/dm³ (K, Ca, Mg e Al). O valor do pH foi determinado em solução de CaCl₂.

| Sistema | pH | N | P | K | Ca | Mg | Al | S | Na | Mn | Cu | Zn | B |
|-----------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| LCQ 1m | 4,3 | 1,7 | 11,0 | 1,3 | 46,0 | 18,0 | 7,0 | 6,0 | 11,0 | 39,8 | 2,1 | 9,9 | 0,28 |
| LCQ 2m | 3,9 | 1,8 | 3,0 | 0,6 | 17,0 | 7,0 | 17,0 | 4,0 | 8,0 | 8,5 | 0,8 | 2,7 | 0,17 |
| LCQ 3m | 3,6 | 1,4 | 4,0 | 0,6 | 8,0 | 5,0 | 40,0 | 4,0 | 13,8 | 18,2 | 0,7 | 9,0 | 0,21 |
| LCQ 4m | 3,7 | 1,4 | 4,0 | 0,6 | 5,0 | 5,0 | 49,0 | 4,0 | 18,5 | 16,3 | 0,7 | 7,0 | 0,27 |
| LCV 1m | 3,9 | 1,6 | 5,0 | 0,6 | 10,0 | 3,0 | 10,0 | 10,0 | 6,0 | 17,3 | 1,1 | 1,5 | 0,16 |
| LCV 2m | 4,1 | 2,1 | 3,0 | 0,4 | 10,0 | 2,0 | 9,0 | 6,0 | 4,0 | 36,8 | 0,9 | 1,0 | 0,15 |
| LCV 3m | 4,0 | 1,4 | 4,0 | 0,4 | 7,0 | 2,0 | 14,0 | 8,0 | 1,0 | 17,2 | 0,6 | 2,0 | 0,11 |
| LCV 4m | 4,1 | 1,6 | 6,0 | 0,7 | 7,0 | 2,0 | 12,0 | 10,0 | 6,0 | 17,3 | 0,4 | 0,7 | 0,20 |
| LCM 1m | 4,1 | 1,6 | 5,0 | 0,5 | 9,0 | 2,0 | 10,0 | 6,0 | 5,0 | 5,8 | 0,7 | 2,4 | 0,18 |
| LCM 2m | 4,0 | 1,6 | 4,0 | 0,3 | 6,0 | 2,0 | 10,0 | 4,0 | 4,0 | 3,5 | 0,4 | 1,0 | 0,11 |
| LCM 3m | 3,8 | 1,4 | 3,0 | 0,4 | 5,0 | 2,0 | 21,0 | 6,0 | 4,0 | 10,0 | 0,4 | 2,5 | 0,13 |
| LCM 4m | 3,7 | 1,4 | 3,0 | 0,4 | 5,0 | 2,0 | 28,0 | 6,0 | 4,0 | 11,4 | 0,5 | 2,7 | 0,13 |

Tabela 07: Valores da capacidade de troca de cátions (CTC), da soma das bases trocáveis (SB), porcentagem de saturação por bases (V) e matéria orgânica (MO) no solo dos três sistemas.

| Sistema | CTC mmolc/dm³ | SB mmolc/dm³ | V (%) | MO g/ dm³ |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| LCQ 1m | 117,7 | 65,7 | 55,8 | 17,0 |
| LCQ 2m | 66,9 | 24,9 | 37,2 | 3,0 |
| LCQ 3m | 127,5 | 20,1 | 15,6 | 3,0 |
| LCQ Fundo | 153,6 | 18,6 | 12,1 | 3,0 |
| LCV 1m | 51,8 | 13,8 | 26,7 | 6,0 |
| LCV 2m | 43,5 | 12,5 | 28,8 | 3,0 |
| LCV 3m | 56,4 | 9,4 | 16,7 | 3,0 |
| LCV Fundo | 51,9 | 9,9 | 19,1 | 3,0 |
| LCM 1m | 45,7 | 11,7 | 25,6 | 8,0 |
| LCM 2m | 33,4 | 8,4 | 25,3 | 3,0 |
| LCM 3m | 47,5 | 8,4 | 25,3 | 3,0 |
| LCM Fundo | 59,5 | 7,5 | 12,7 | 1,0 |
| Mínimo | 33,4 | 7,5 | 12,1 | 1,0 |
| Máximo | 153,6 | 65,7 | 55,8 | 17,0 |
| Média | 71,28 | 17,51 | 24,03 | 4,5 |

Normalmente os maiores valores da CTC estão associados às maiores porcentagens de argila, maiores concentrações de matéria orgânica, maior capacidade de retenção de nutrientes e maior capacidade de retenção de umidade.

Mattiazzo e Gloria (1995) observaram que os efeitos prejudiciais da presença de metais manifestaram-se em solos com baixa capacidade de troca catiônica - CTC (< 5,0 cmol/100 cm³) e baixos conteúdos de argila, particularmente quando o pH do solo, determinado em água, estava ao redor de 4,0. Estes mesmos autores concluíram ainda que, da mesma forma que em solos de clima temperado,

a quantidade máxima permissível de elementos químicos a ser adicionada em solos de clima tropical pode ser limitada pelo valor CTC e pH do solo, no momento da adição.

Considerando os valores obtidos da CTC para os sistemas e as classes de interpretação de solos (TABELA 08) proposta por Alvarez et al (1999) apud Morel (2005), podemos concluir que os três sistemas apresentam baixa capacidade de retenção de cátions. O sistema Lagoa do Coqueiral apresentou os maiores valores, variando de 66,9 mmol_c/dm³ a 153,6 mmol_c/dm³ com média de 116,4 mmol_c/dm³, caracterizando o sistema na classe de valor baixo de CTC, contra a classificação muito baixo para os sistemas Lagoa dos Cavalos (mínimo= 43,5 mmol_c/dm³, máximo= 56,4 mmol_c/dm³ e média= 50,9 mmol_c/dm³) e Lagoa do Camargo (mínimo= 33,4 mmol_c/dm³, máximo= 59,5 mmol_c/dm³ e média= 46,5 mmol_c/dm³).

Lopes e Guilherme (1992) comparam a CTC efetiva de um solo do cerrado (100 mmol_c/dm³) com a de um Latossolo Roxo Eutrófico, por exemplo, 1500 mmol_c/dm³, e enfatizam a conclusão óbvia do comportamento diferencial destes solos em termos de retenção de cátions, perdas por lixiviação, necessidade de parcelamento das adubações potássicas, entre outras características.

O trabalho de Demattê et al. (2003), também mostrou valores baixos de CTC, variando de 32,5 mmol_c/dm³ a 107,0 mmol_c/dm³, em uma área localizada no Estado de São Paulo, às coordenadas 22°45' - 22°70' S e 48°60' - 49°47' W, compreendendo Lençóis Paulista, Macatuba e Bauru como municípios principais. Os autores descrevem a ocorrência de extensas deposições de material de textura variável, sobretudo de textura média a arenosa pertencente à Formação Botucatu e Grupo Bauru.

TABELA 08: Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica. Adaptado de Alvarez et al (1999) apud Morel (2005).

| Característica | Unidade | | | | | |
|----------------|------------------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----------|
| | | Muito baixo | Baixo | Médio | Bom | Muito bom |
| MO | % | ≤ 0,70 | 0,71 – 2,00 | 2,01– 4,00 | 4,01 – 7,00 | > 7,0 |
| SB | mmol _c /dm ³ | ≤ 60 | 61 – 180 | 181 – 360 | 361 – 600 | > 600 |
| CTC | mmol _c /dm ³ | ≤ 80 | 81 – 230 | 231 – 460 | 461 – 800 | > 800 |
| V | % | ≤ 20 | 20,1 – 40,0 | 40,1– 60,0 | 60,1– 80 | >80,0 |

A zona de desembocadura do rio Paranapanema na Represa de Jurumirim encontra-se a uma distância de aproximadamente 100 km da região do estudo de Demattê et al. (2003), que se caracteriza também como uma zona de deposição de material com textura arenosa. Os baixos valores de CTC associados à baixa concentração e atividade da argila nos três sistemas (mínimo= 61g/kg e máximo= 192g/kg) em condições ácidas permitem inferir que os sistemas apresentam baixa capacidade de reter cátions e elevado potencial de perdas de elementos químicos por lixiviação e transporte através do aquífero freático.

Os resultados obtidos de SB e V indicam que no solo há um baixo número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por bases e apresentam baixo potencial agrícola. Segundo Lopes e Guilherme (1992), solos com valores de V% menores que 50 são considerados de menor fertilidade e os que apresentam valores maiores que 50 são classificados como férteis. A única exceção ocorreu no primeiro metro do sistema Lagoa do Coqueiral, onde o valor de V alcançou 55,8 %.

Observações de campo mostraram que apesar do baixo potencial agrícola do solo, a área em estudo é explorada para subsistência, por agricultura e criação animais (caprinos e suínos), por pequenos produtores. Dessa forma espera-se que

grande parte dos elementos químicos, oriundos da complementação nutricional (adubação) e da decomposição da excreção dos animais e restos de cultura, percolem no solo no período de chuvas em direção ao aquífero freático, enriquecendo o mesmo.

Os valores da concentração de nitrogênio e fósforo no solo dos sistemas variaram de 1,4 a 2,1 g/kg e 3,0 a 11,0 mg/kg, respectivamente (TABELA 06). O maior valor de P foi encontrado no primeiro metro de solo do sistema Lagoa do Coqueiral, em contrapartida o sistema Lagoa dos Cavalos apresentou o maior valor na concentração de N aos dois metros de profundidade.

As concentrações de nitrogênio alcançaram o máximo de 0,21 % da massa de solo, normalmente os colóides de cargas negativas predominam na superfície do solo e atraem os cátions. Esta característica dos colóides justifica os baixos teores de nitrogênio, visto que a forma de nitrato (NO_3^-) é a preferencial em solos com baixos teores de MO, característica do solo dos três sistemas estudados. O nitrato apresenta uma carga negativa fraca, assim sendo, é pouco retido no solo, permanecendo como íon livre na água capilar, passível de ser lixiviado através do perfil de certos solos e sob certas condições pluviométricas.

Esperava-se no sistema Lagoa do Camargo, em função da criação de pequenos animais na área, encontrar os maiores valores de nitrogênio, devido aos processos de excreção e decomposição formarem, preferencialmente, a forma de amônio (NH_4^+) que lixívia com menor intensidade. Esse fato vem corroborar com os demais dados, indicando que caso essa rota de formação do nitrogênio amoniacal tenha sido realizada, o solo não foi capaz de reter esse cátion.

A concentração de MO obtidas foi inferior a 1% em todas as amostras analisadas (TABELA 07). Para a EMBRAPA (1999), solos devem apresentar em sua

composição valores maiores que 4%, para integrar a classificação bom na tabela de Classes de Interpretação de Fertilidade do Solo. Segundo Nuvolari et al. (1996), embora os teores de matéria orgânica sejam baixos em solos tropicais, sua presença, mesmo em pequenas quantidades, aumenta a superfície específica média dos solos, pelo elevado grau de divisão dessas partículas, provocando mudanças na CTC dos solos.

Com relação à concentração dos macronutrientes (K, Ca, Mg e S) no solo, todos os sistemas apresentaram valores baixos (TABELA 06). Os resultados variaram de 0,30 a 1,30 mmol/dm³, de 5,0 a 46,0 mmol/dm³, de 2,0 a 18,0 mmol/dm³, de 4,0 a 10 mg/dm³ para o potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente.

Garcia et al. (2003) encontraram concentrações de 9,2 mmol/dm³ para o potássio, 32,8 mmol/dm³ para o cálcio e 529,0 mmol/dm³ para o magnésio em amostras de solo fértil, latossolo vermelho amarelo do Estado de São Paulo, em uma área testemunha protegida por mata sem influência direta da adubação. Esses valores podem servir de referência da capacidade de retenção, em solos apropriados, dos macronutrientes; corroborando na classificação de baixa fertilidade da região em estudo.

Em contrapartida, o Al apresentou uma concentração expressiva, com os valores variando entre 7,0 e 49,0 mmol/dm³ (TABELA 06). Garcia et al. (2003) detectaram concentrações de alumínio até 54 vezes menores para um solo fértil protegido por mata, com valores máximos de 0,9 mmol/dm³.

Segundo Abichequer (2003), o alumínio prejudica a absorção de fósforo de duas formas: reduz o crescimento do sistema radicular e liga-se ao fósforo, tanto na superfície quanto no interior das células, formando compostos de baixa solubilidade.

Desta forma, ocorre redução na absorção de fósforo, bem como precipitação do nutriente nas raízes, restringindo a sua translocação para a parte aérea.

Normalmente solos ácidos, similares aos encontrados no presente estudo, promovem a concentração de elementos tóxicos (Al) para as plantas, reduzindo a presença de alguns nutrientes para as mesmas.

Os micronutrientes apresentaram valores melhores de fertilidade (TABELA 6) quando comparados com os valores propostos por Alvarez et al. (1999) apud Morel (2005) para classes de fertilidade (TABELA 09). Os valores máximos encontrados para o cobre (2,10 mg/dm³), o zinco (9,90 mg/dm³) e o manganês (39,80 mg/dm³) foram superiores ao limite inicial da classificação muito bom para a disponibilidade de micronutrientes. A concentração de boro foi classificada como baixa disponibilidade, com valor máximo encontrado de 0,28 mg/dm³ (TABELA 06).

TABELA 09: Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes. Adaptado de Alvarez et al (1999) apud Morel (2005).

| Micronutriente mg/dm ³ | Classificação | | | | |
|--------------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| | Muito baixo | Baixo | Médio | Bom | Muito Bom |
| Zinco | ≤ 0,4 | 0,5 - 0,9 | 1,0 - 1,5 | 1,6 - 2,2 | >2,2 |
| Manganês | ≤ 2 | 3 - 5 | 6 - 8 | 9 - 12 | > 12 |
| Cobre | ≤ 0,3 | 0,4 - 0,7 | 0,8 - 1,2 | 1,3 - 1,8 | >1,8 |
| Boro | ≤0,15 | 0,16 - 0,35 | 0,36 - 0,60 | 0,61 - 0,90 | > 0,90 |

Os valores de sódio não alcançaram 1 % da TFSA (TABELA 06), indicando baixa concentração desse elemento e ausência do efeito de sodificação do solo. Normalmente, em relação ao sódio, considera-se que elevadas concentrações desse elemento podem reduzir a capacidade de infiltração em função de alterações na estrutura do solo através da obstrução ou extinção dos macroporos.

Fatores associados ao processo de amostragem do solo, destacando-se o uso de equipamento de perfuração composto por ferro, obrigaram a omissão dos valores de concentração obtidos na análise desse elemento.

A caracterização física e química do solo dos três sistemas estudados demonstra homogeneidade dos perfis litológicos, com baixas concentrações de elementos químicos e valores de CTC. A alta porcentagem de areia associada aos reduzidos teores de matéria orgânica indica que o solo e conseqüentemente a água subterrânea dessa região sofrem os efeitos da lixiviação de elementos químicos.

4.3 Água subterrânea e superficial

4.3.1 pH da água

Os valores de pH indicam a medida da concentração de íons H^+ na água, o equilíbrio dos íons hidrogênio e hidróxido (OH^-) determina a característica ácida ou básica da mesma. Na água quimicamente pura os íons H^+ estão em equilíbrio com os íons OH^- e seu pH é neutro, ou seja, igual a 7.

O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 e para as águas superficiais. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor entre 6,0 e 9,0 para as principais classes, sendo que o valor de pH 5,0 é permissível em águas salobras de classe 3.

Os valores obtidos de pH nos sistemas estudados estão representados nas Figuras 17, 18, 19.

Na água subterrânea o menor valor médio (pH= 5,85) foi observado na Lagoa do Coqueiral, elevando-se para pH= 5,92 na Lagoa dos Cavalos e alcançando o valor de pH= 6,05 na Lagoa do Coqueiral.

Segundo Vidal (2003), os valores de pH encontrados na água subterrânea do Aquífero da Serra Grande no Piauí, variaram de 5,30 até o máximo de 8,60. Das amostras estudadas, aproximadamente 50 % apresentaram valores compreendidos entre 7,00 e 8,00, sendo consideradas neutras; 40% foram caracterizadas como ligeiramente alcalinas, com pH entre 8,00 e 8,60 e apenas 10% apresentam pH menor do que 7,00, consideradas como águas ligeiramente ácidas.

No Estado de São Paulo os dados do relatório da CETESB (2004), referente ao monitoramento da qualidade da água subterrânea, no período de 2001 a 2003, apresentaram uma amplitude de variação para o pH, em águas subterrâneas de aquíferos confinados e semi-confinados, de 5,1 a 9,9 no Sistema Aquífero Bauru. Na água de aquífero livre, os valores encontrados foram de 4,6 a 7,8 no Sistema Aquífero Guarani. A região de estudo do presente trabalho integra a UGRHI do Médio Paranapanema, que está assentado e distribuído sobre os dois sistemas descritos.

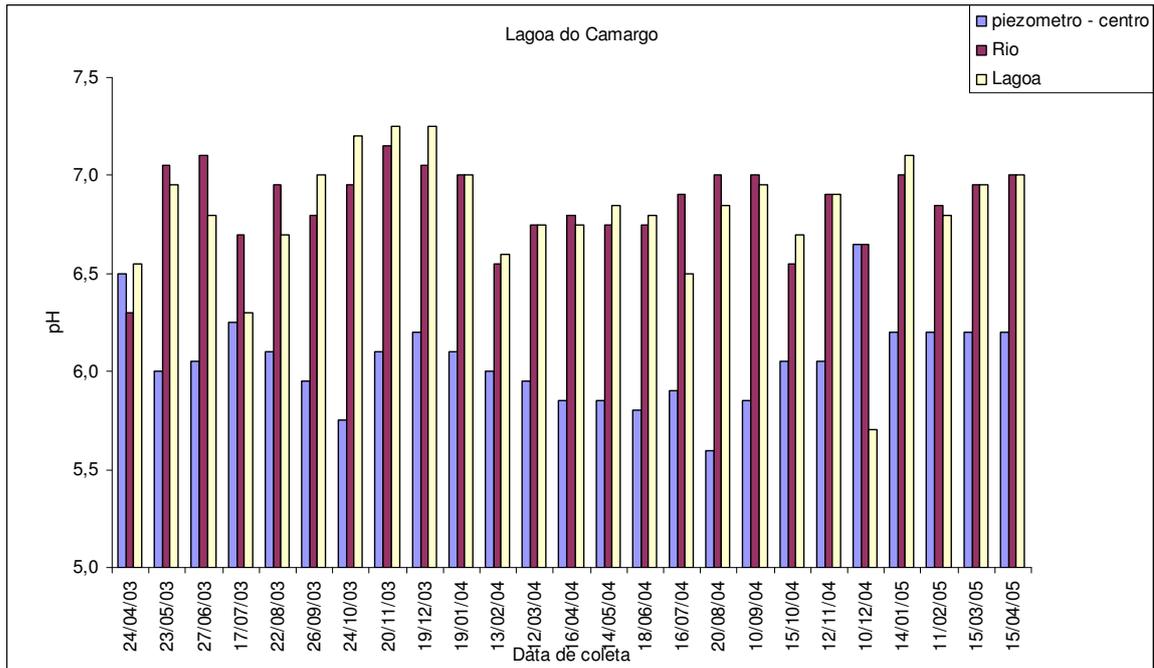


FIGURA 17: Gráfico dos valores de pH da água subterrânea no poço central, na água do rio e da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

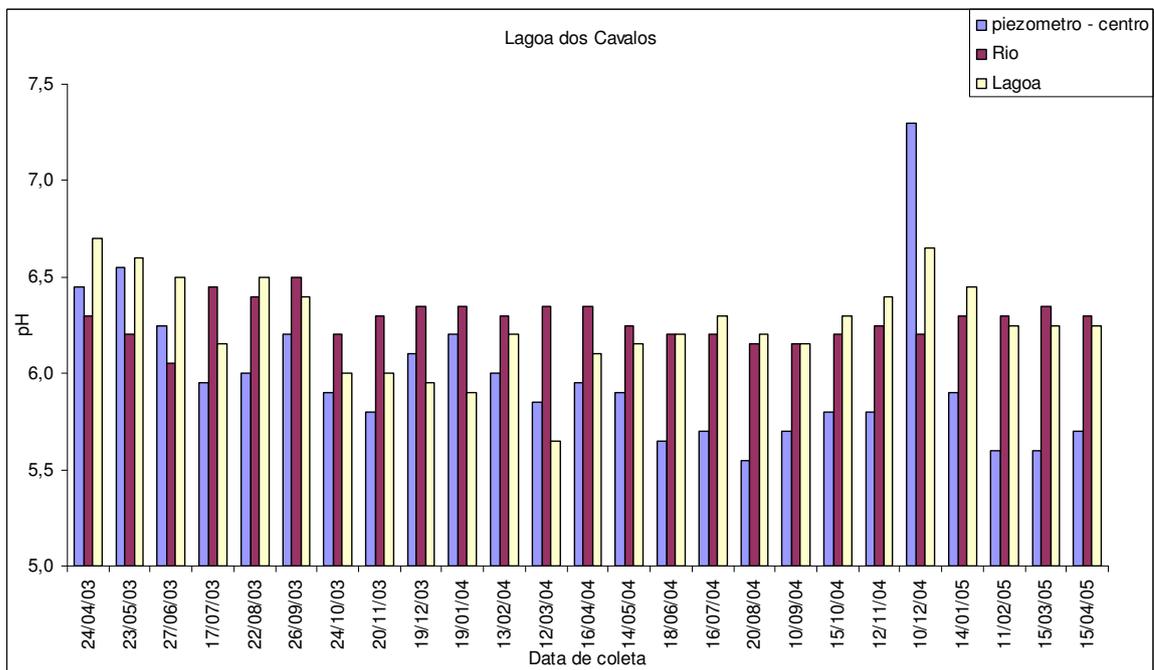


FIGURA 18: Gráfico dos valores de pH na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

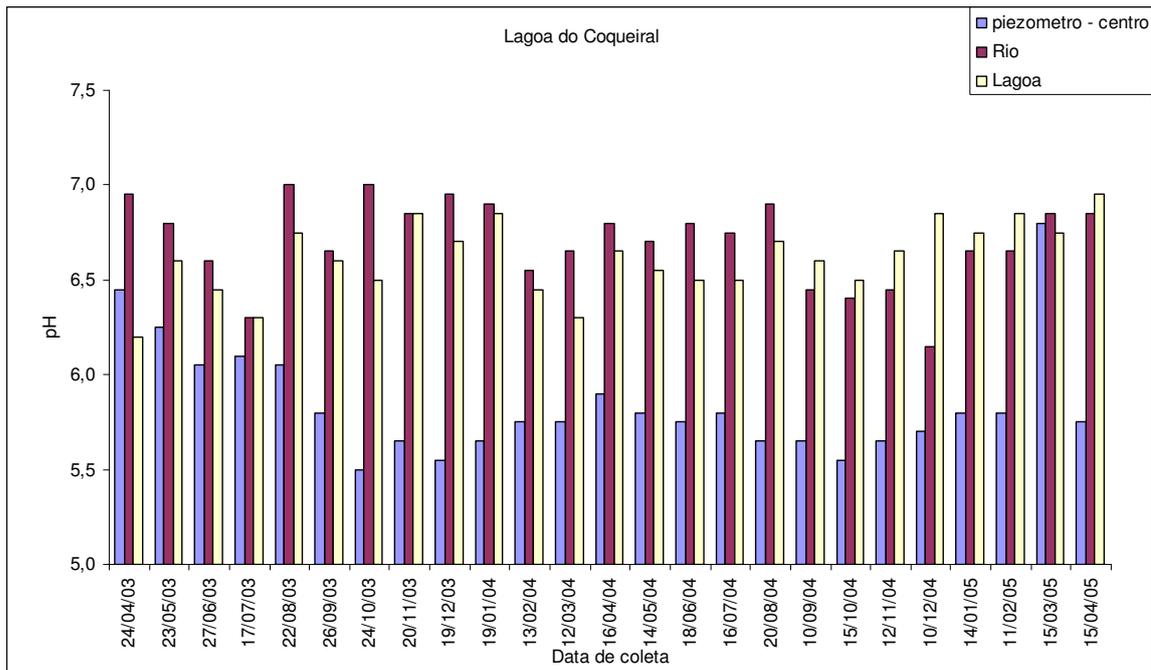


FIGURA 19: Gráfico dos valores de pH na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Uma análise estatística descritiva referente aos valores de pH da água subterrânea e superficial dos três sistemas é apresentada na Tabela 10.

Nos valores encontrados na água subterrânea, a Lagoa do Coqueiral apresentou a maior variação, com valores de pH oscilando entre 5,4 a 6,8; em seguida a Lagoa do Camargo, com valores entre 5,6 a 6,8 e a Lagoa dos Cavalos variando entre 5,5 a 6,6. O pH da maior parte das águas subterrâneas é controlado pelo teor de dióxido de carbono dissolvido e carbonatos, variações nos valores normalmente estão associadas ao uso e ocupação do solo e a efeitos sazonais.

Resultados obtidos por Scopel, Teixeira e Binotto (2005), em um trabalho de caracterização hidrogeoquímica de água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Taquarintas, no Rio Grande do Sul, mostraram os valores de pH, sem variações significativas nas diferentes campanhas de amostragens. O pH, nos diferentes poços, variou entre 6,2 a 8,5, indicando valores próximos a neutro até levemente alcalinos.

TABELA 10 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de pH, no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ) – (P= piezômetro, R= rio e L= lagoa).

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 50 | 5,60 | 6,80 | 6,05 | 0,23 | 3,84 |
| LCM-R | 50 | 6,30 | 7,20 | 6,86 | 0,21 | 3,08 |
| LCM-L | 50 | 5,60 | 7,40 | 6,81 | 0,35 | 5,13 |
| LCV-P | 50 | 5,50 | 6,60 | 5,92 | 0,27 | 4,54 |
| LCV-R | 50 | 6,00 | 6,60 | 6,28 | 0,12 | 1,91 |
| LCV-L | 50 | 5,60 | 6,80 | 6,25 | 0,26 | 4,09 |
| LCQ-P | 50 | 5,40 | 6,80 | 5,85 | 0,31 | 5,30 |
| LCQ-R | 50 | 5,80 | 7,10 | 6,70 | 0,26 | 3,95 |
| LCQ-L | 50 | 6,20 | 7,00 | 6,61 | 0,20 | 2,98 |

O aquífero freático, devido a sua proximidade da superfície, sofre os efeitos diretos e pontuais do uso e ocupação. A TABELA 11 apresenta um levantamento de dados de valores de pH encontrados na RMSP (Região Metropolitana de São Paulo), mostrando uma variação entre as amplitudes observadas em diferentes regiões. Segundo Ross (1981), as águas subterrâneas da RMSP são de boa qualidade para o consumo, porém os aquíferos mais superficiais estão contaminados principalmente por esgotos, rompimento de dutos condutores ou despejo irregular, e o uso de fossas sépticas.

Silva (2001) encontrou valores de pH, em águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM), que indicaram acidez com valores variando de 4,3 a 5,7. O autor considerou que essa característica para as águas estudadas pode

ser explicada em função da composição mineralógica das rochas do aquífero, da cobertura vegetal, da recarga rápida e do processo de interação água-rocha/solo; ressaltando que o pH da água de chuva na região em estudo variou de 4 a 5,3, sendo semelhante aos encontrados em águas superficiais de rios de água preta.

TABELA 11 – Amplitude dos valores de pH da água subterrânea na RMSP. Adaptado do trabalho de Matos (2001).

| Local | pH | Fonte |
|--|-----------|------------------|
| Centro-Oeste do município de São Paulo | 5,0 – 8,0 | PARISOT (1983) |
| Cidade Universitária | 3,0 – 7,0 | IRITANI (1993) |
| Noroeste do município de São Paulo | 5,0 – 8,0 | MENEGASSE (1991) |
| Sumaré e Pompéia | 4,0 – 7,0 | VELASQUEZ (1996) |
| Itaquera | 4,0 – 7,0 | SILVA (2000) |

A distribuição dos valores de pH entre as águas subterrâneas e superficiais dos três sistemas estudados pode ser observada na Figura 20, onde a mediana dos valores de pH da água subterrânea apresentaram uma tendência à acidez quando comparados aos resultados da água das lagoas e do rio. Essa característica ácida da água do aquífero freático mantém uma associação com a acidez elevada do meio em que percola.

Os resultados obtidos no valor de pH da água do rio Paranapanema variaram de 6,30 a 7,20 no sistema Lagoa do Camargo, de 6,00 a 6,60 no sistema Lagoa dos Cavalos e de 5,80 a 7,10 na Lagoa do Coqueiral (TABELA 10). Segundo Marques (1995), valor de pH encontrado em águas superficiais não impactadas oscila entre 5,0 a 8,6.

Suiberto (2005) observou, em uma amostragem intensiva, valores médios entre 6,78 e 7,19 no rio Paranapanema, 6,37 e 7,23 na Lagoa do Camargo e 6,70 e 7,10 na Lagoa do Coqueiral. A mesma autora apresentou dados médios anuais, no

período de fevereiro de 2003 a janeiro de 2004, de 7,30 para o rio e Lagoa do Camargo e 7,20 para a Lagoa do Coqueiral.

No sistema Lagoa dos Cavalos, que apresenta a conectividade preferencial via aquífero freático, a interação água subterrânea e superficial é mais evidente quando se observa a menor variação dos valores de pH da água entre as amostras LCV-P, LCV-R e LCV-L.

Vários fatores podem influenciar os valores de pH em águas superficiais (atividade fotossintética, alterações verticais da temperatura da coluna d'água, quantidade de matéria orgânica, entre outros), justificando dessa forma o padrão de variação observado nos três sistemas pouco relacionado à sazonalidade.

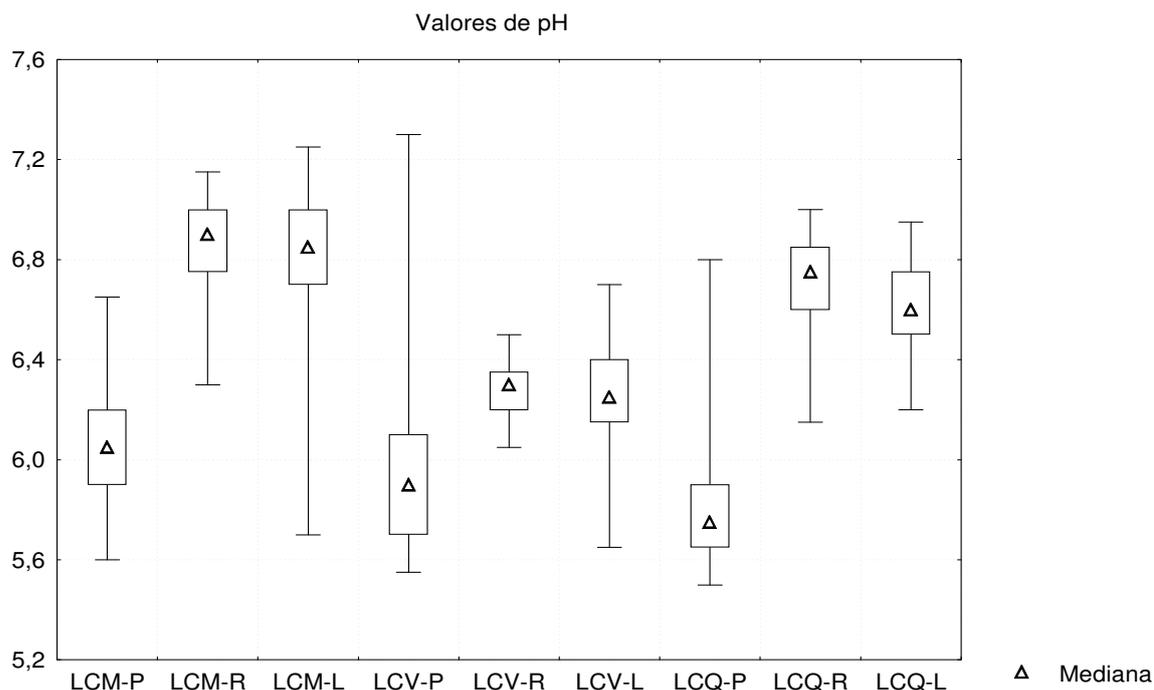


FIGURA 20: Gráfico dos valores de pH na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral, no período de 04/2003 a 04/2005.

A Figura 21 mostra o gráfico de dispersão do pH contra o tempo, levando-se em consideração os três sistemas em estudo.

O comportamento dos dados demonstra que com o passar do tempo há uma leve queda nos valores de pH. Em relação aos sistemas notamos que, em geral, o LCV apresenta valores menores e uma variabilidade menor que os demais, o LCQ apresenta valores intermediários e o LCM valores superiores.

Quando a análise é feita em relação aos compartimentos, verificamos uma clara distinção entre os compartimentos P e R, onde o compartimento P apresenta valores inferiores ao R. Já o compartimento L apresentou valores de pH um pouco mais dispersos, com alguns valores próximos ao do P. A maioria dos valores se aproximou ao do compartimento R (Figura 22).

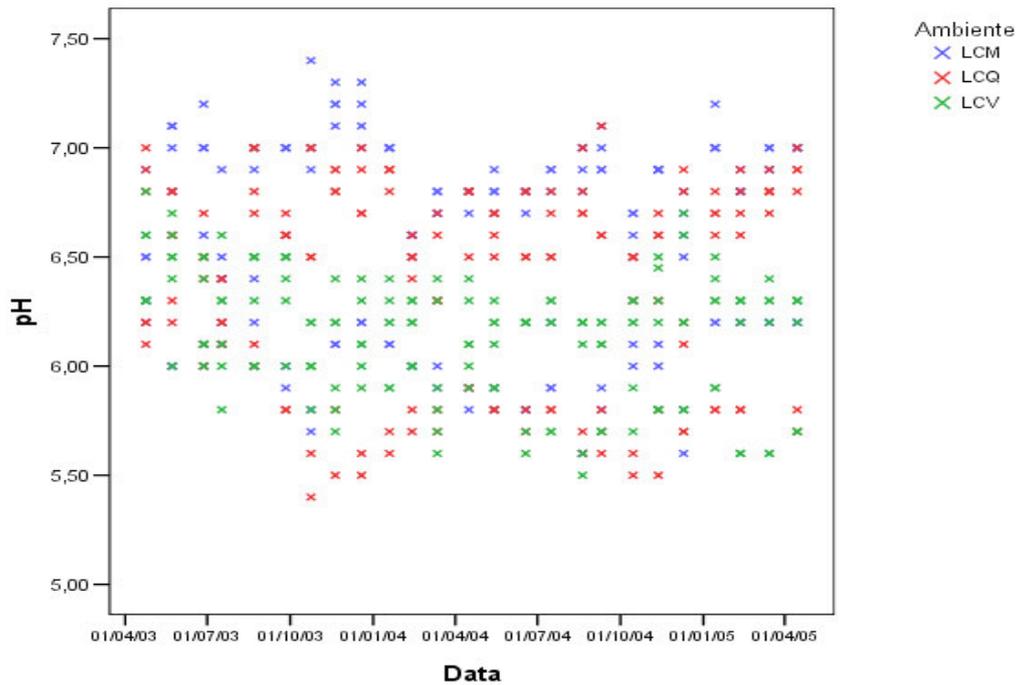


FIGURA 21: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de pH, nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

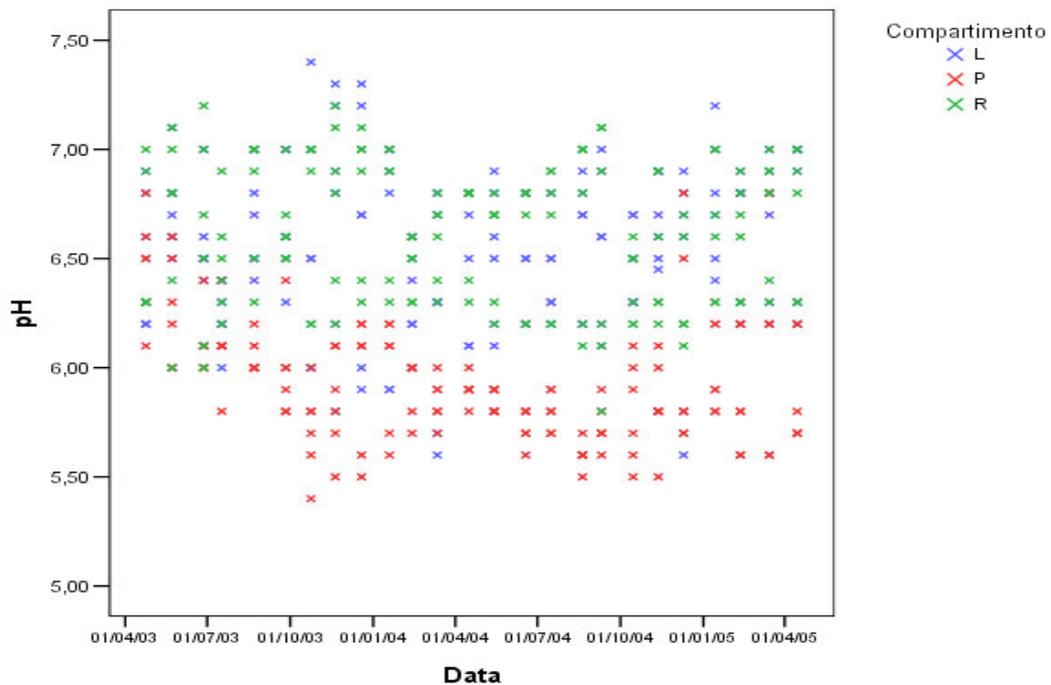


FIGURA 22: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de pH nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

Através do modelo linear generalizado utilizando o pH como variável resposta, verificamos que existe influência do ambiente, do compartimento e do tempo no pH (TABELA 12). Existe efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do ambiente no pH depende do compartimento.

A TABELA 13 apresenta o resultado do teste de *Tukey* para a diferença das médias do pH entre os ambientes e os compartimentos, demonstrando que existem diferenças significantes entre o pH médio dos três ambientes. Quanto ao compartimento, há diferença significativa entre o pH médio do compartimento P e dos demais.

TABELA 12 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de pH nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 13 – Teste de *Tukey* para a diferença das médias de pH nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de <i>Tukey</i> * |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------------------|
| Ambiente | LCM | 6,5733 | A |
| Ambiente | LCQ | 6,3880 | B |
| Ambiente | LCV | 6,1483 | C |
| Compartimento | R | 6,6133 | A |
| Compartimento | L | 6,5577 | A |
| Compartimento | P | 5,9387 | B |

* Nível de Significância: 5%

** Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.2 - Condutividade da água

A variação dos valores de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para os três sistemas estudados estão apresentados nas Figuras 23, 24 e 25.

A condutância elétrica (CE) é a capacidade de uma substância conduzir a corrente elétrica. A água quimicamente pura tem uma condutância elétrica muito baixa, porém uma pequena quantidade de mineral dissolvida, quando dissociado em cátions e ânions, pode torná-la condutora. Em soluções a condutância é proporcional à quantidade de minerais dissolvidos, sendo diversa para soluções de minerais diversos.

Carvalho et al. (2000), em um estudo da qualidade da água no Ribeirão do Feijão no município de São Carlos – SP, constataram correlação entre os valores de condutividade elétrica e os valores de temperatura da água ($r = 0,74$), pH ($r = 0,70$), pluviosidade ($r = 0,67$), turbidez ($r = 0,42$) e material em suspensão ($r = 0,26$).

Carvalho et al. (2000) sugerem que a determinação de nutrientes dissolvidos e em suspensão (provenientes do solo) auxiliaria na especificação de quais ânions e cátions poderiam estar sendo liberados em reações desencadeadas pelo aumento da temperatura, e na compreensão de processos biológicos e ecológicos da fauna aquática.

O padrão dos resultados obtidos (TABELA 14) mostrou uma associação da CE com os períodos de chuva (outubro a março) e seca (abril a setembro). Na água subterrânea e na água do rio os valores médios de CE foram maiores na seca nos três sistemas, exceto no rio do sistema LCQ. Na água da lagoa o sistema LCV, sistema isolado, foi o único que apresentou maiores valores de CE no período de chuva. Essa constatação pode estar associada às características hidrodinâmicas do

sistema, indicando que a baixa conectividade hidráulica modifica o comportamento de interação.

Henry et al. (2005) encontraram evidências (correlações negativas) do efeito de diluição, como por exemplo, com a quantidade de material em suspensão nas lagoas do Coqueiral e Camargo e condutividade elétrica da água restrita ao primeiro sistema citado. Em outro trabalho realizado no rio Paranapanema em Campina do Monte Alegre (cerca de 30 km a montante da zona de desembocadura na Represa de Jurumirim) nos anos de 1992 e 1993, Henry et al. (1999) reportaram o efeito de diluição da condutividade elétrica da água com aumento da vazão do rio.

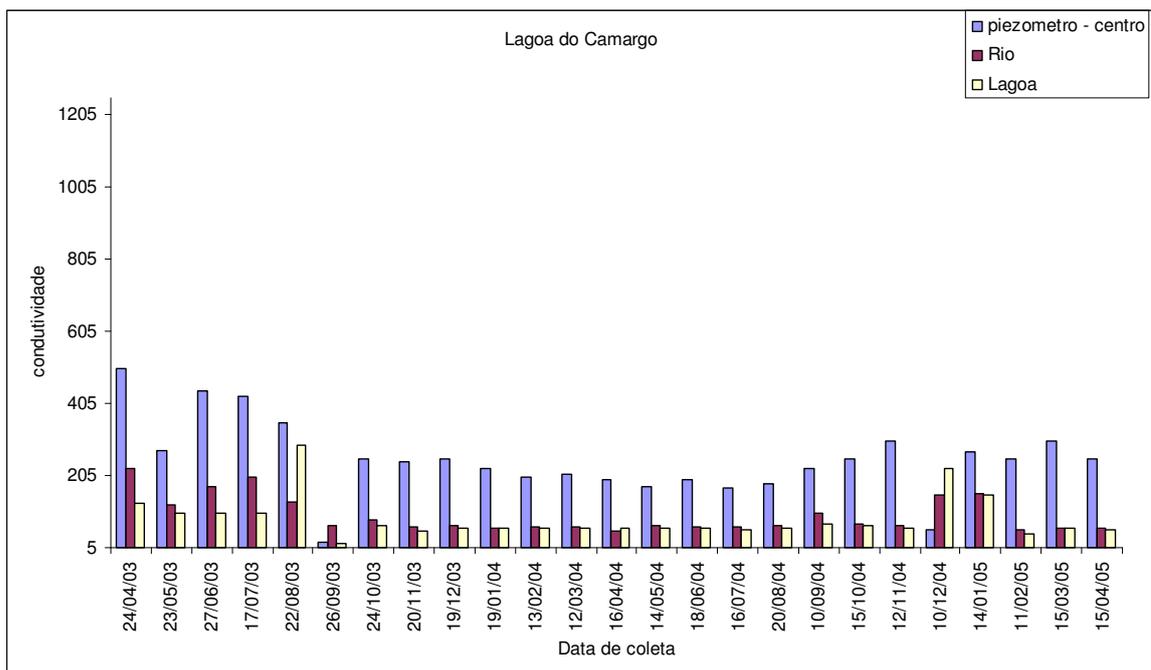


FIGURA 23: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

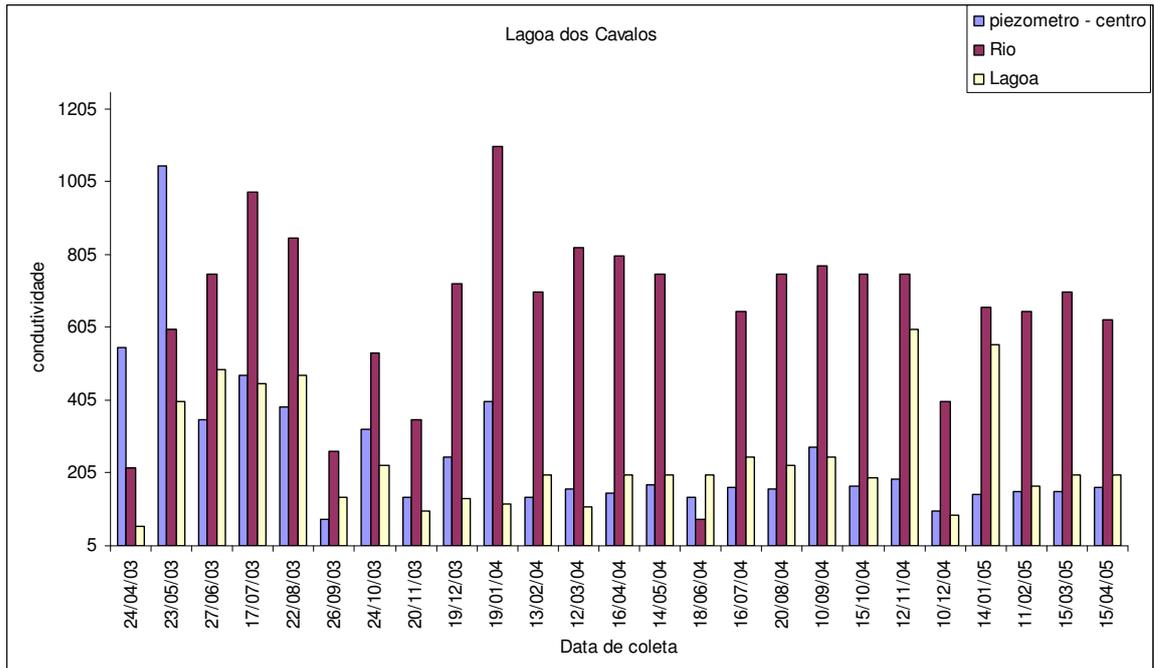


FIGURA 24: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

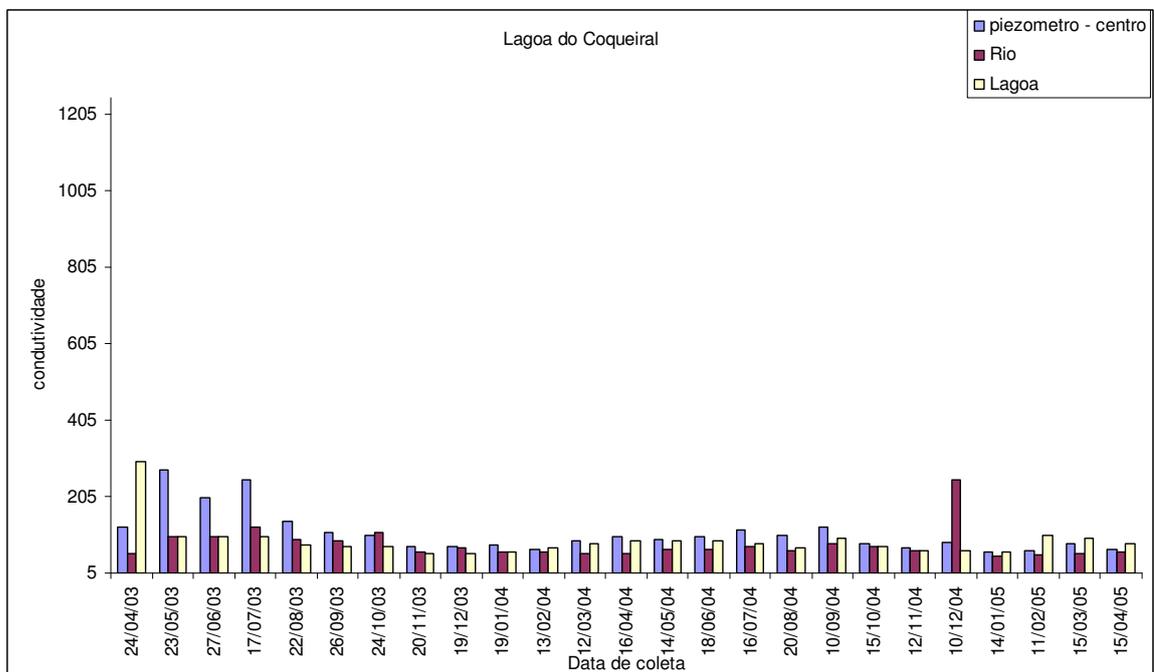


FIGURA 25: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

TABELA 14 - Valores médios de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ), no período de 04/2003 a 04/2005.

| Sistema | Período de seca | Período de chuva |
|---------|-----------------|------------------|
| LCM-P | 246,4 | 233,8 |
| LCM-R | 98,4 | 79,0 |
| LCM-L | 82,9 | 79,6 |
| LCV-P | 288,0 | 193,4 |
| LCV-R | 75,3 | 63,2 |
| LCV-L | 89,4 | 119,6 |
| LCQ-P | 130,8 | 76,8 |
| LCQ-R | 76,3 | 80,4 |
| LCQ-L | 100,2 | 71,7 |

Carvalho et al. (2000), consideraram que a correlação da pluviosidade com condutividade elétrica, que pode ser resultado do uso e ocupação do solo que favorece o aporte de materiais do solo para o ambiente aquático, aumentando a concentração de sólidos suspensos que acabam favorecendo esta característica limnológica.

A amplitude de variação e a média dos valores da CE na água estão apresentados na TABELA 15. Os valores oscilaram de 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na Lagoa do Camargo a 1150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ encontrado na água subterrânea do sistema Lagoa dos Cavalos.

Suiberto (2005), observou um aumento nos valores de CE, na região da zona de desembocadura do rio Paranapanema, no período de fevereiro a junho, com um decréscimo acentuado no mês de julho e um pequeno declínio entre agosto de 2003 e janeiro de 2004. Na lagoa do Camargo foi registrado o valor máximo em junho/03 ($86 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o mínimo em julho/03 ($23 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Para o rio Paranapanema e a lagoa do Camargo a maior média foi observada em setembro/03 com ($93 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e a menor em julho/03 ($23 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sendo que no rio foram

observadas as maiores variações entre os meses amostrados. Na lagoa do Coqueiral o maior valor médio foi registrado em outubro/03 ($92 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o menor em fevereiro/03 ($29 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

TABELA 15 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|-----------------------------|
| LCM-P | 50 | 20 | 550 | 248 | 105 | 42 |
| LCM-R | 50 | 25 | 1.050 | 130 | 197 | 152 |
| LCM-L | 50 | 15 | 500 | 84 | 74 | 88 |
| LCV-P | 50 | 25 | 1.150 | 257 | 218 | 85 |
| LCV-R | 50 | 25 | 1.100 | 649 | 237 | 37 |
| LCV-L | 50 | 30 | 600 | 249 | 154 | 62 |
| LCQ-P | 50 | 51 | 300 | 109 | 57 | 52 |
| LCQ-R | 50 | 50 | 250 | 80 | 41 | 51 |
| LCQ-L | 50 | 55 | 300 | 88 | 45 | 51 |

A Figura 26 apresenta uma análise da distribuição dos dados de condutividade elétrica, baseando-se nos valores de mediana, para os três sistemas estudados. Os resultados mostram que o sistema Lagoa dos Cavalos apresentou os maiores valores de CE, sendo que as amostras referentes ao rio nesse sistema apresentaram valores muito superiores aos demais pontos com valor médio no período de $649,18 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Quando comparado com os demais, o sistema isolado LCV não apresenta ocupação por agricultura e criação de animais. As alterações nos valores de CE podem estar associadas à dinâmica interna da lagoa, principalmente os processos

que envolvem a decomposição da biomassa submersa em função da elevação do nível da água. Esse mecanismo mantém uma elevada influência nas características da água subterrânea e superficial, visto que os pontos de coleta no rio foram escolhidos para avaliar a influência da interação hidrodinâmica.

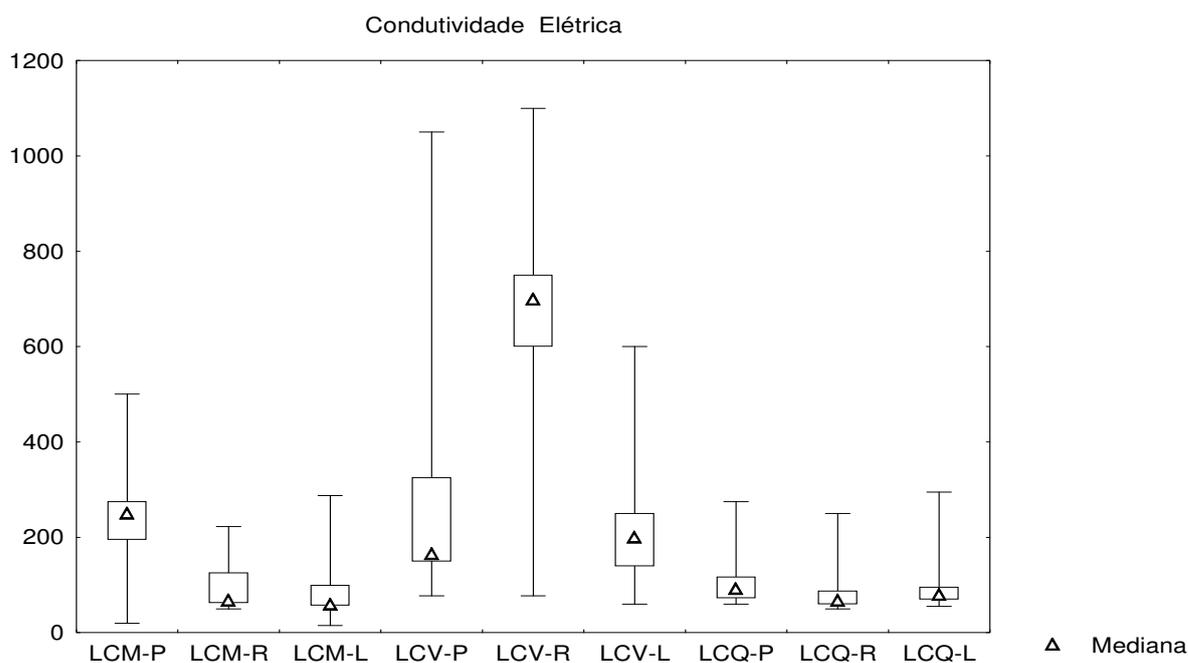


FIGURA 26: Gráfico dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Takatert, Sanchez-Perez e Trémolières (1999), encontraram valores de condutividade elétrica na água subterrânea entre 300 a 400 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em um estudo na bacia hidrográfica do rio Rhine (oeste da França), sendo que em uma única estação o valor excedeu a 900 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os autores constataram que a variação na condutividade elétrica (avaliada pelo desvio padrão) foi menor na água subterrânea mais profunda quando comparada com os valores das camadas superficiais, próximas do nível hidrostático. Trémolières et al. (1993), já haviam discutido, no mesmo sistema, que os valores de condutividade elétrica e

a composição iônica da água subterrânea mais profunda eram intermediários entre os resultados obtidos para o aquífero superficial e a água do rio Rhine. Os resultados foram justificados pelo efeito do escoamento superficial e seu efeito na água do rio Rhine, o efeito da zona de transição e o efeito de diluição em direção ao aquífero profundo.

Pedro (2003), em um estudo realizado durante os ciclos hidrológicos de 1999 e 2000 em dois rios intermitentes da região semi-árida do Brasil, riacho dos Avelós e rio Taperoá, encontrou valores de CE oscilando entre 1930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 6100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o riacho e 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o rio. O autor considerou que no riacho dos Avelós ocorreu uma associação entre os elevados valores de CE e os dados de salinidade, sendo que no período de cheias as alterações de vazão provocaram uma diluição, diminuindo os valores de CE. Em contrapartida no rio Taperoá a resposta da condutividade foi inversa em relação à sazonalidade.

Na Figura 27 podemos observar que com o passar do tempo há uma queda suave nos valores de condutividade. Em relação aos ambientes, os valores do sistema Lagoa do Coqueiral estão abaixo dos 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$; para o sistema Lagoa do Camargo os valores são um pouco maiores, mas a maioria não ultrapassa 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; já para o sistema Lagoa dos Cavalos os valores estão mais distribuídos e alguns deles ultrapassam 1000.

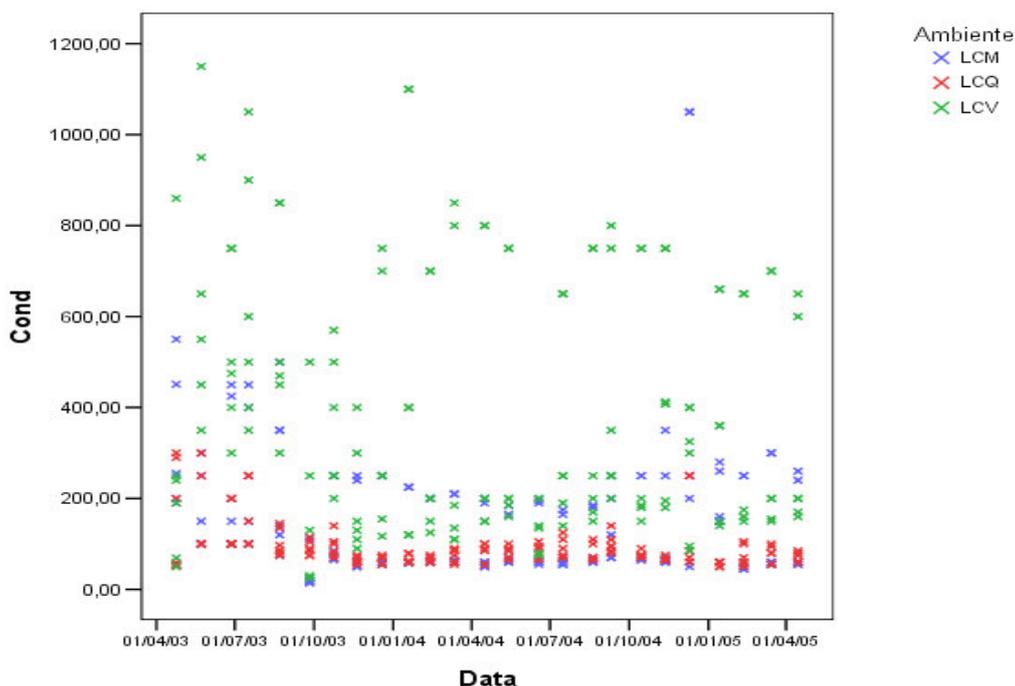


FIGURA 27: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

Em relação aos compartimentos (Figura 28) verificamos que na água subterrânea os valores da condutividade elétrica no início do experimento são altos, mas após os primeiros meses eles diminuem ficando próximos aos valores da água da lagoa. Isto mostra que o aquífero freático influenciou os ambientes lânticos estudados. Em contrapartida a água do rio apresentou valores de condutividade mais elevados que os demais compartimentos durante todo o experimento.

A partir do modelo linear generalizado, utilizando-se a condutividade elétrica como variável resposta, observamos que existe influência do ambiente, do compartimento e do tempo na resposta da condutividade, além do efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando a influência do compartimento na condutividade do ambiente (TABELA 16).

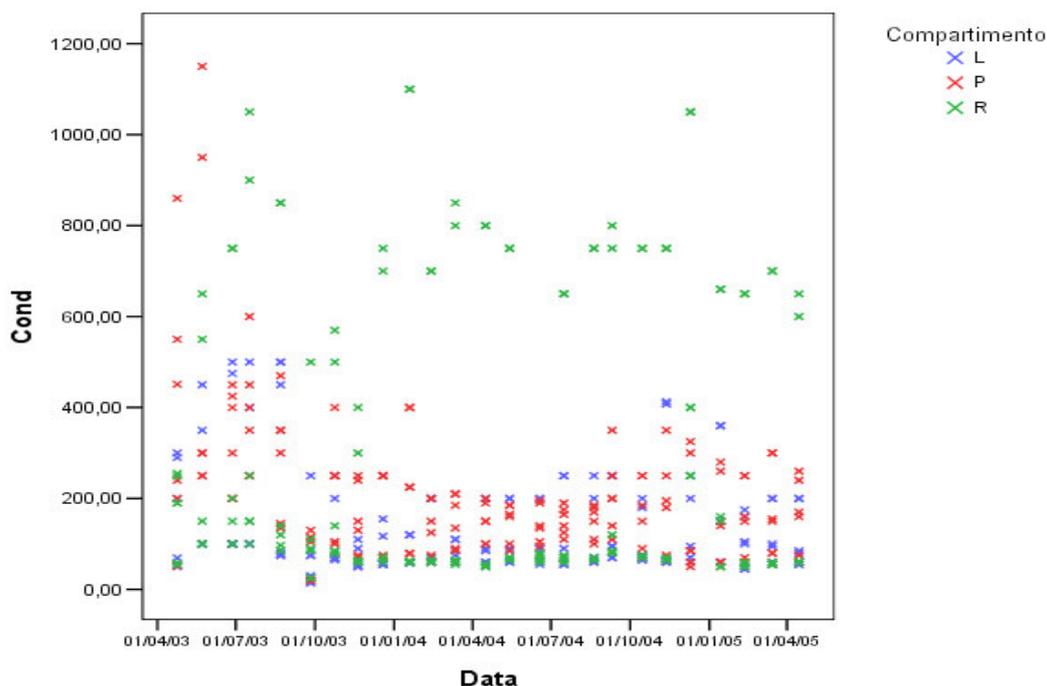


FIGURA 28: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).

TABELA 16 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de condutividade elétrica nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|---------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

Pelo teste de Tukey para a diferença das médias de condutividade elétrica entre os ambientes e os compartimentos, notamos que existem diferenças significantes entre os três ambientes e os três compartimentos (TABELA 17).

TABELA 17 – Teste de Tukey para a diferença das médias de condutividade elétrica nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCV | 382,93 | A |
| Ambiente | LCM | 153,92 | B |
| Ambiente | LCQ | 92,34 | C |
| Compartimento | R | 286,18 | A |
| Compartimento | P | 207,70 | B |
| Compartimento | L | 135,31 | C |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.3 - Concentração de nitrogênio total na água

Os resultados obtidos da variação das concentrações de nitrogênio total nos três sistemas estudados estão apresentados nas Figuras 29, 30 e 31.

O nitrogênio é continuamente reciclado pelas plantas e animais. Nas águas subterrâneas, os diferentes compostos nitrogenados ocorrem em teores em geral abaixo de 5mg/L. As formas de nitritos e amônia normalmente são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias.

A variação do teor de nitrogênio nas diversas águas é grande; em muitas águas subterrâneas parece não ter relação com as formações geológicas. Segundo Dhondt et al. (2002), a utilização excessiva de fertilizantes e a criação de animais resultam em grandes movimentações de nutrientes nas bacias hidrográficas em áreas de produção agropecuária. Os autores consideraram que esta fonte difusa é uma ameaça à qualidade da água, à diversidade e à estabilidade da flora e da fauna de rios e de lagos.

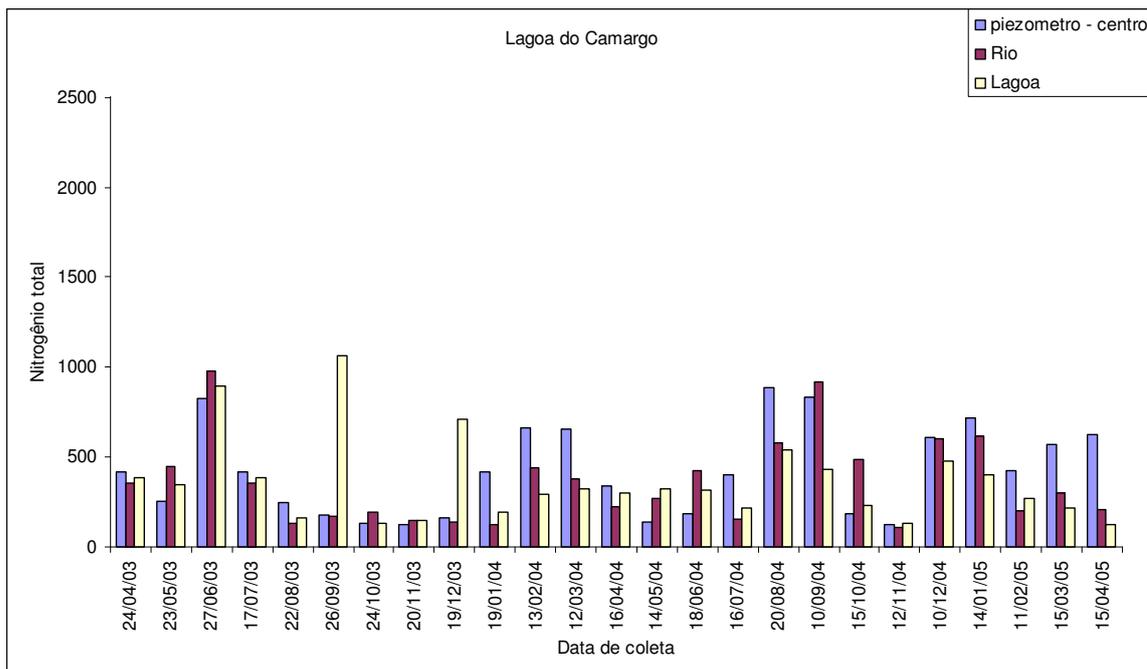


FIGURA 29: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

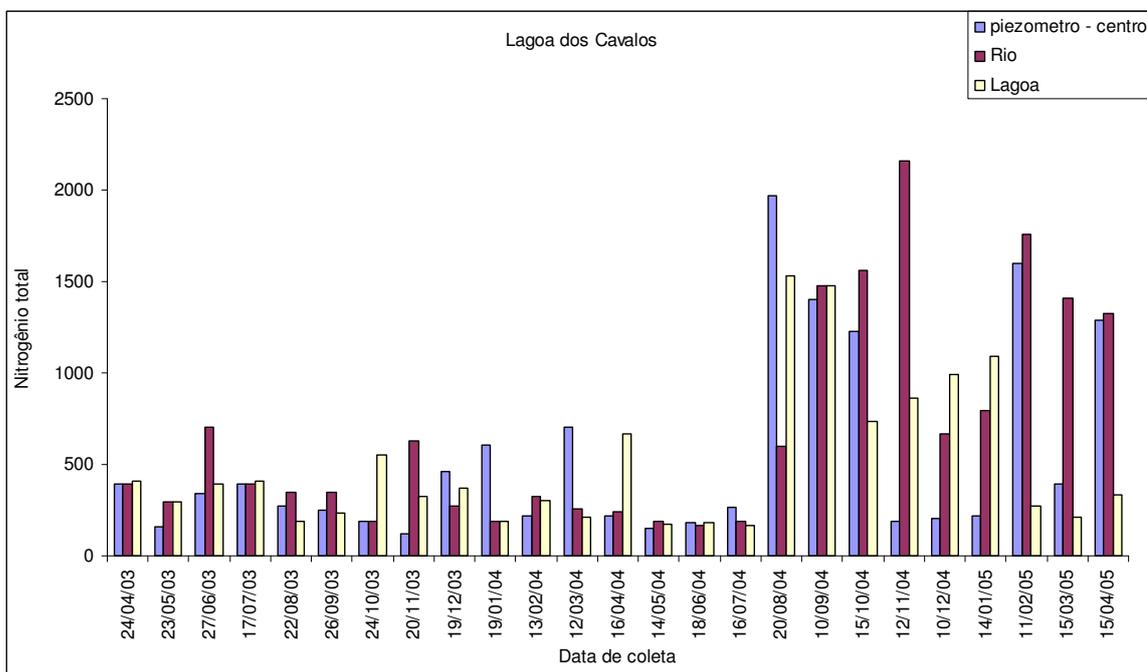


FIGURA 30: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

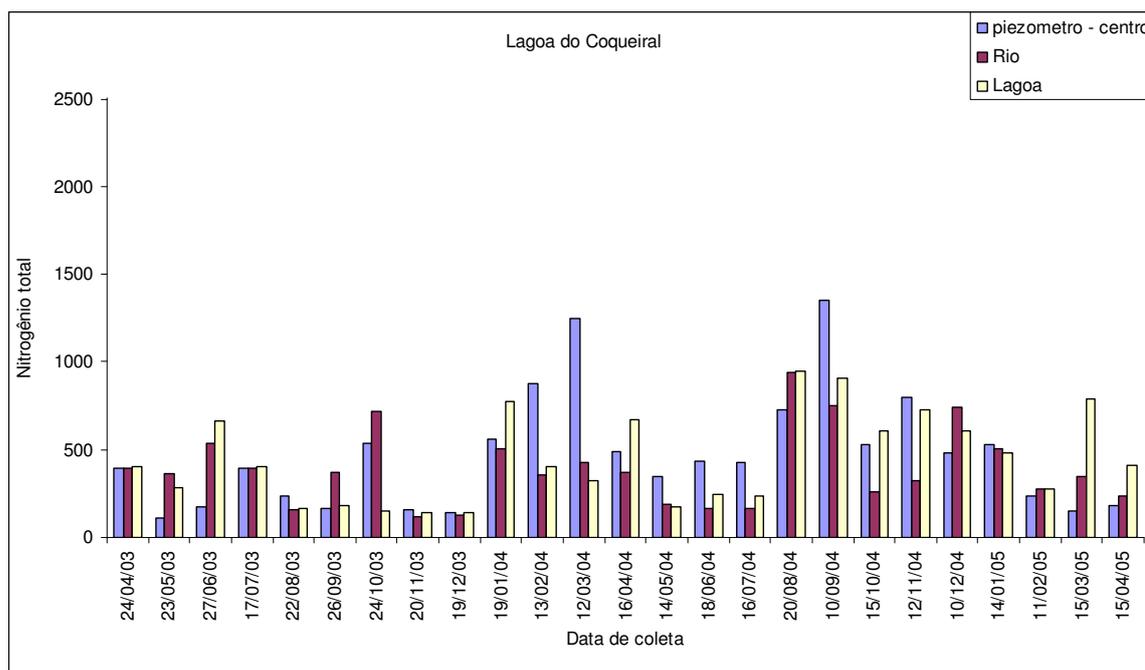


FIGURA 31: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

As variações dos teores de compostos nitrogenados na água subterrânea podem resultar da penetração direta da água de superfície ou da infiltração de água enriquecida através das camadas subjacentes do solo.

As maiores concentrações de nitrogênio foram encontrados no sistema LCV, com valores médios de $676 \mu\text{g/L}$, $536 \mu\text{g/L}$ e $503 \mu\text{g/L}$ na água subterrânea, do rio e da lagoa, respectivamente (TABELA 18).

Segundo Wetzel (1993), a quantidade de nitrogênio que chega aos lagos e suas bacias de drenagem vinda das fontes atmosféricas, tem sido, em geral, consideradas de menor importância em comparação com o aporte via escoamento superficial.

Sanches-Pérez e Trémolières (2003), consideram que o aumento de constituintes inorgânicos sofre os efeitos da flutuação do nível da água. Os autores observaram que as concentrações de nitrogênio e de fósforo sofrem incrementos durante o período de chuva, justificando a ocorrência pelo fato de que a elevação de

níveis do aquífero freático permite que os compostos nitrogenados e fosforados acumulados no solo durante o período seco sejam solubilizados.

Entre os sistemas o menor valor foi encontrado na lagoa – LCM (103 µg/L) e o maior valor no ponto de amostragem do rio – LCV (2.262 µg/L). Os resultados encontrados são comparativamente baixos considerando-se os limites, estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, de 10,0 mg/L para a forma ionizada (NO_3^-) para água superficial classes 1, 2 e 3.

TABELA 18 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de nitrogênio total (µg/L) , no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 50 | 120 | 885 | 421 | 247 | 59 |
| LCM-R | 50 | 106 | 1049 | 358 | 236 | 66 |
| LCM-L | 50 | 103 | 1080 | 360 | 235 | 65 |
| LCV-P | 50 | 104 | 1982 | 536 | 523 | 97 |
| LCV-R | 50 | 155 | 2262 | 676 | 578 | 85 |
| LCV-L | 50 | 157 | 1569 | 503 | 417 | 83 |
| LCQ-P | 50 | 111 | 1468 | 466 | 336 | 72 |
| LCQ-R | 50 | 116 | 946 | 390 | 218 | 56 |
| LCQ-L | 50 | 139 | 951 | 445 | 263 | 59 |

Scopel, Teixeira e Binotto (2005), encontraram valores de nitrato oscilando entre 0,50 mg/L a 11,00 mg/L em um estudo de caracterização hidrogeoquímica de água subterrânea na bacia do rio Taquarintas no Rio Grande do Sul. Os maiores

valores (média de 10,56 mg/L) foram encontrados em um dos 07 poços monitorados, estando dessa forma acima dos limites aceitos para a água potável. Os autores consideraram que os valores mais altos desse elemento têm como fonte as práticas agropecuárias na região (agricultura e suinocultura), concluindo que uma vez que já estão sendo detectadas concentrações elevadas de nitrato nas águas subterrâneas, a tendência é que as águas superficiais também apresentem elevadas concentrações.

A distribuição dos valores médios de concentração de nitrogênio apresentou um padrão onde, comparativamente, o sistema com teores mais elevados na água subterrânea também apresentou as maiores concentrações nas águas superficiais (lagoa e rio).

A mobilidade do nitrogênio mantém uma associação ao seu estado de oxidação. Segundo Bonilla (2005), o NO_3^- e o NOD (nitrogênio orgânico dissolvido) são as principais formas de perda de nitrogênio em solução dos ecossistemas, enquanto que o NH_4^+ pode ser absorvido pelas plantas e microorganismos ou ficar adsorvido às partículas carregadas negativamente e à matéria orgânica do solo.

O NO_3^- é a principal forma de N lixiviado às águas subterrâneas, pois sendo um íon negativamente carregado, é repellido pelas partículas do solo e pode ser carregado com a água que percola.

O movimento do NO_3^- através do solo depende, principalmente do fluxo de massa com a solução de solo, e da difusão dentro da solução de solo. Entre os fatores que controlam as concentrações do NO_3^- na água subterrânea, estão a diluição e a proximidade de fontes de N. A água subterrânea flui de áreas de maior pressão para menor pressão; este movimento é lento e há pouca mistura entre as diferentes fontes de água (FOLLET & DELGADO, 2002 apud BONILLA, 2005).

As características da região em estudo indicam que o solo é bem drenado e, portanto o nitrogênio pode ser lixiviado além do sistema radicular e alcançar a água subterrânea. O deslocamento desse elemento no subsolo pode sofrer a desnitrificação no ecótono de transição entre o ecossistema terrestre e aquático, dessa forma justificando os valores médios de concentração menores nas águas superficiais.

A partir da Figura 32 pode-se observar a variação da concentração de NT entre os três sistemas, verificando-se que as interações entre as águas superficiais e subterrâneas não apresentaram um comportamento padronizado.

Maître et al. (2003) consideraram que o efeito de diluição da chuva pode ser significativo na variação da concentração de nitrogênio na água subterrânea influenciando os sistemas adjacentes. Os autores relacionam outros trabalhos (LOWRANCE et al., 1984; BRUSCH & NILSSON, 1993) que relacionaram o efeito de diluição, porém sem apresentar uma quantificação do efeito.

O efeito da precipitação não foi observado no presente trabalho; os compartimentos LCM-R, LCM-L, LCV-L apresentaram concentrações médias de nitrogênio menores no período de chuva; nos demais, com exceção do LCM-P que não apresentou variação, ocorreu o inverso (TABELA 19).

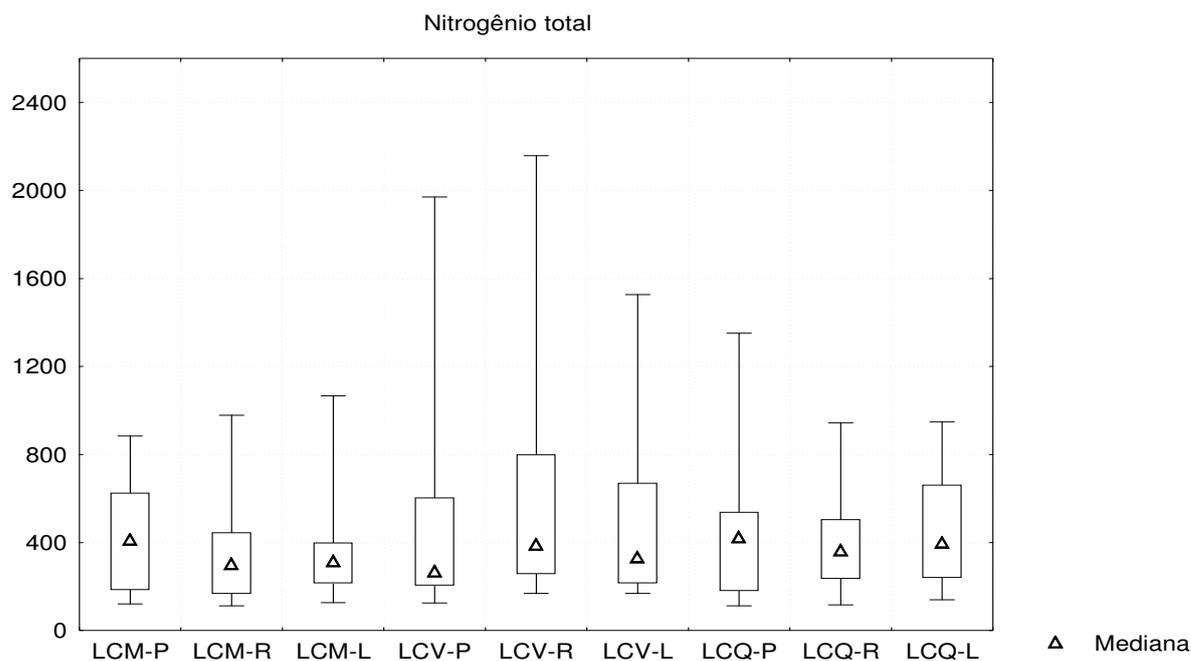


FIGURA 32: Gráfico dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

TABELA 19 - Valores médios de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).

| Sistema | Período de seca | Período de chuva |
|---------|-----------------|------------------|
| LCM-P | 397,9 | 397,9 |
| LCM-R | 373,7 | 311,5 |
| LCM-L | 402,6 | 292,9 |
| LCV-P | 486,7 | 511,1 |
| LCV-R | 522,0 | 538,7 |
| LCV-L | 631,2 | 584,4 |
| LCQ-P | 413,2 | 519,5 |
| LCQ-R | 361,2 | 392,4 |
| LCQ-L | 420,6 | 451,6 |

Bonilla (2005), em seu trabalho referente ao balanço de nitrogênio em microbacias pareadas (floresta x pastagem), não encontrou elementos para

identificar as principais vias hidrológicas que contribuem na concentração desse elemento no igarapé que atravessa os sistemas. Os resultados analíticos das formas de nitrogênio e principais cátions não apresentaram diferença clara entre a precipitação interna, o escoamento superficial e a água subsuperficial e subterrânea.

De maneira geral, a concentração de nitrogênio na água é o resultado do manejo e uso e ocupação do solo, considerando-se também a movimentação das cargas desse elemento provocadas pela chuva. Segundo a CETESB (2004), no Estado de São Paulo, os compostos nitrogenados, em especial o nitrato, tem origem antrópica cuja fonte potencial são os esgotos sanitários e/ou as adubações nitrogenadas de diversas origens na área rural. O nitrogênio de origem mineral ocorre em rochas denominadas evaporitos que não têm registro de ocorrência no Estado de São Paulo. Dessa forma, pode-se dizer que o nitrato observado nas águas subterrâneas tem origem no ciclo biológico desse elemento na natureza.

O gráfico de dispersão do NT na escala temporal, de acordo com o ambiente (Figura 33), mostra que com o passar do tempo surgem, principalmente no sistema Lagoa dos Cavalos, valores mais altos para a concentração de nitrogênio total. No início do experimento o sistema Lagoa do Camargo apresentou os valores mais altos, após alguns meses o sistema Lagoa do Coqueiral apresentou teores que superavam os demais e nos últimos meses há uma elevação do número de observações no sistema Lagoa dos Cavalos com concentrações acima de 1000 µg/L.

O diferente comportamento dos sistemas estudados na concentração de nitrogênio pode estar associado às características de conexão de cada um dos ambientes com o rio Paranapanema.

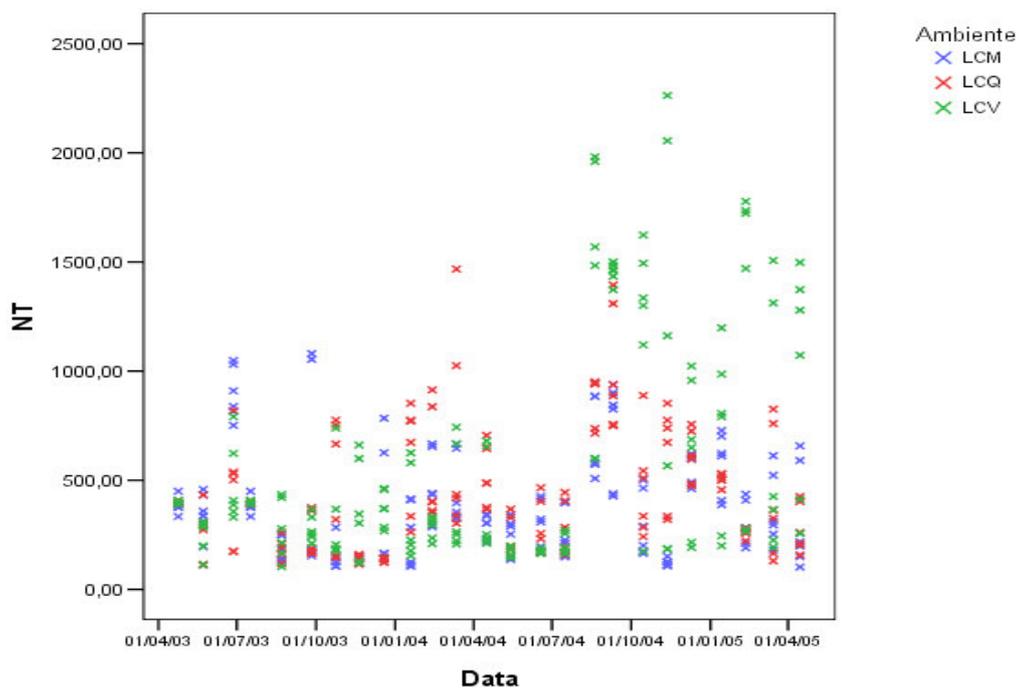


FIGURA 33: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

Um comportamento similar pode ser observado no gráfico de dispersão do nitrogênio total no tempo, em relação aos compartimentos estudados (Figura 34).

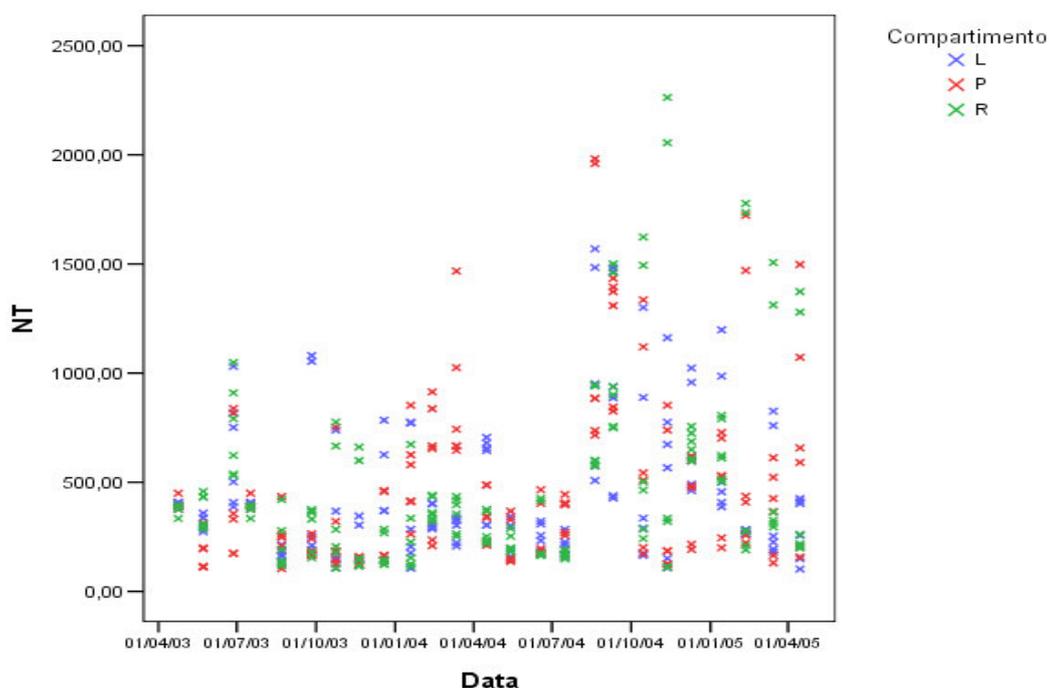


FIGURA 34: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de nitrogênio total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).

Utilizando um modelo linear generalizado com as concentrações de nitrogênio total como variável resposta (TABELA 20), verificamos que o ambiente e o tempo exercem influência nos valores da variável, para o compartimento não foi identificado um efeito significativo. Os resultados também apresentam um efeito da interação entre ambiente e compartimento, indicando que o efeito do ambiente na concentração de nitrogênio total depende do compartimento.

O teste de *Tukey* para a diferença das médias da concentração de nitrogênio total entre os ambientes (TABELA 21) mostra que existe diferença significativa entre o sistema Lagoa dos Cavalos e os demais ambientes, possivelmente a diferença foi identificada em função do aumento dos valores de nitrogênio total no ambiente no final do experimento.

TABELA 20 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de nitrogênio total nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | 0,4358 | Não rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | 0,0278 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 21 – Teste de Tukey para a diferença das médias de nitrogênio total nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|--------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCV | 571,87 | A |
| Ambiente | LCQ | 433,62 | B |
| Ambiente | LCM | 379,71 | B |

* Nível de Significância: 5%

** Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.4 Concentração de fósforo total na água

As Figuras 35, 36 e 37 apresentam os resultados obtidos da concentração de fósforo no período de estudo. O sistema Lagoa do Coqueiral apresentou a maior amplitude, com valores oscilando de 5 a 501 µg/L, no sistema Lagoa do Camargo a variação foi compreendida entre 2 e 187 µg/L e no sistema Lagoa dos Cavalos entre 3 e 314 µg/L. Nas águas subterrâneas a concentração de fósforo variou entre 3 e 501 µg/L, sendo que entre os sistemas a variação nos piezômetros ficou entre 12 a 137 µg/L na Lagoa do Camargo, 3 a 214 µg/L na Lagoa dos Cavalos e oscilou de 5 a 501 µg/L na Lagoa do Coqueiral. O incremento nos valores desse elemento na água estão exclusivamente associados ao tipo de solo e uso e ocupação do mesmo. Em função dessas características e da elevada variabilidade das concentrações, o

fósforo não apresenta valores de referência e não está incluído nos elementos potencialmente tóxicos monitorados pela Cetesb.

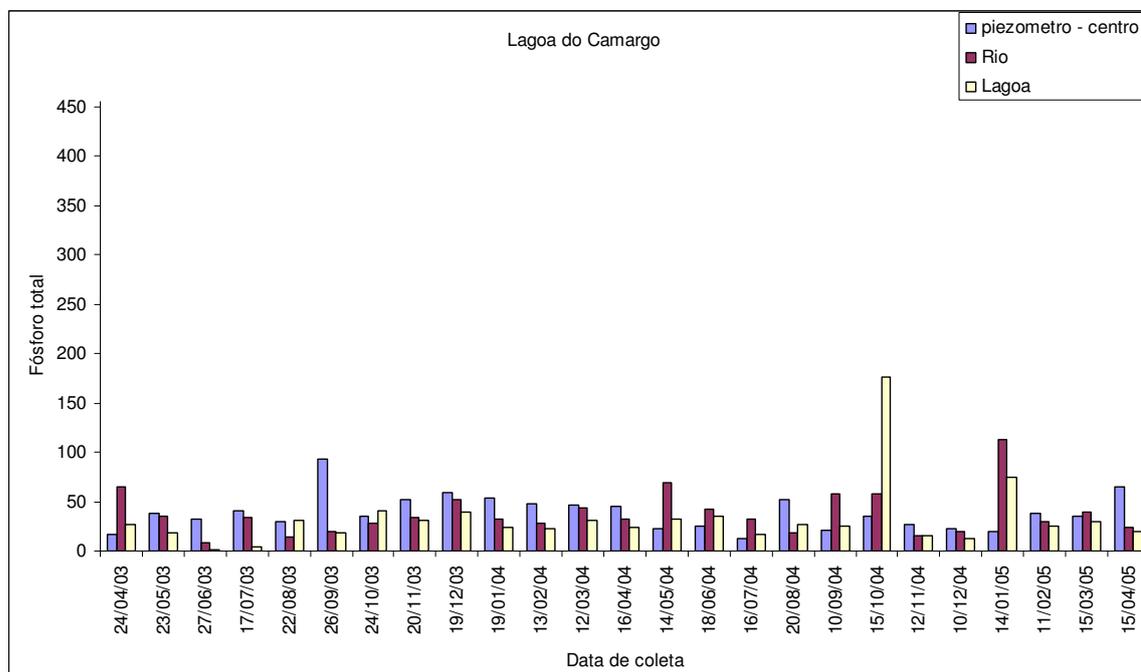


FIGURA 35: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

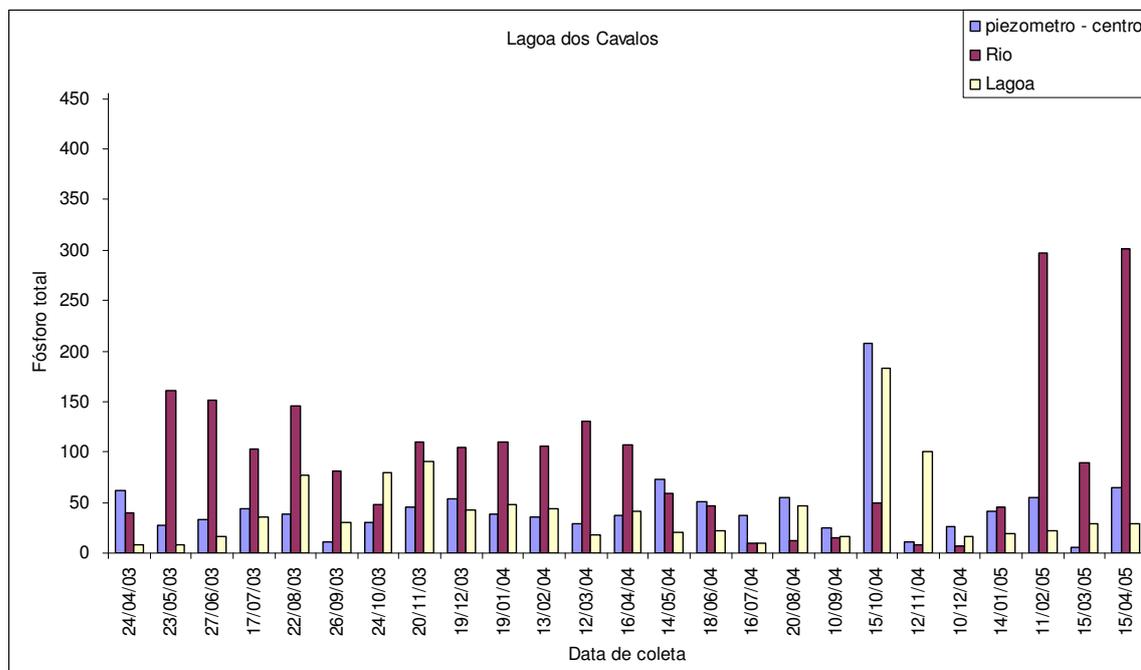


FIGURA 36: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

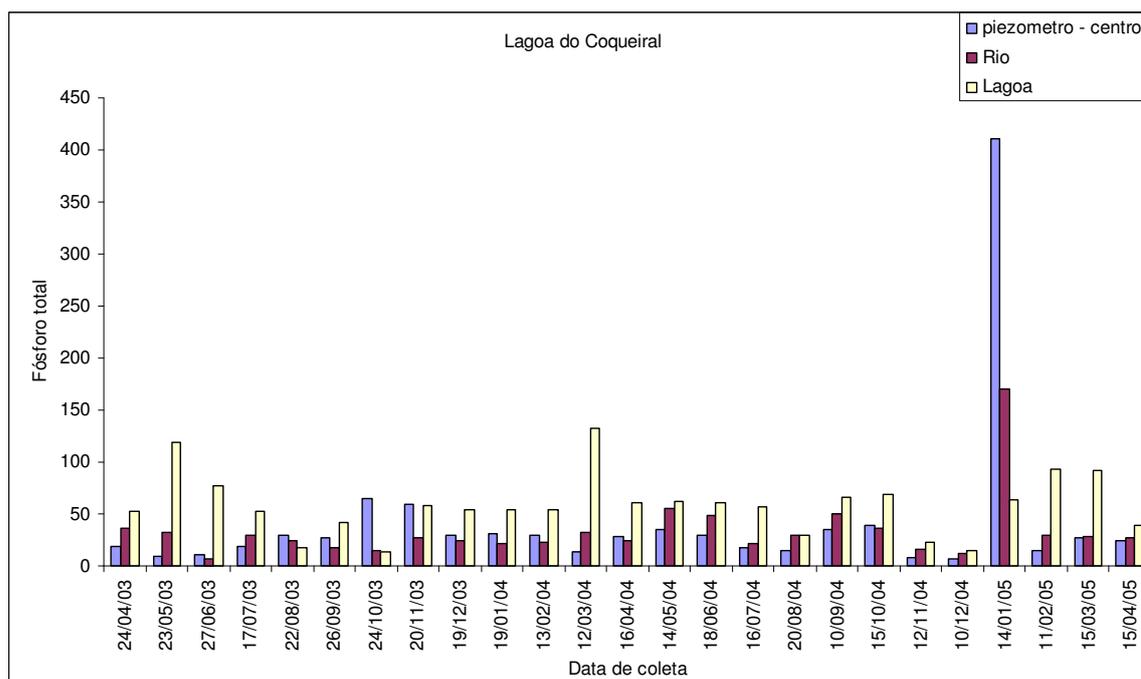


FIGURA 37: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Sanches-Pérez e Trémolières (2003), encontraram valores de fósforo na água subterrânea oscilando entre 15 a 993 $\mu\text{g/L}$ e 15 a 546 $\mu\text{g/L}$ na zona de influência do rio Rhine na França, nos períodos de 12/93 a 07/95 e 03/96 a 05/97, respectivamente. Os autores consideraram que as concentrações médias não apresentaram variação significativa entre os períodos, apesar dos valores elevados de desvio padrão.

Os dados obtidos também apresentaram valores médios de concentração de fósforo na água subterrânea (TABELA 22) semelhantes entre os sistemas, sendo que o maior valor foi observado no sistema isolado LCV-P (46 $\mu\text{g/L}$).

Miranda (1997), avaliando a contribuição de fósforo para a Represa do Lobo, em São Carlos – SP, via aquífero freático encontrou, em aproximadamente 75% das amostras concentrações inferiores a 10 $\mu\text{g/L}$, sendo que os maiores valores foram observados em piezômetros específicos, com elevada influência do uso e ocupação

do solo. O valor máximo encontrado pelo autor (44 $\mu\text{g/L}$) foi bem próximo ao maior valor médio obtido no presente trabalho, indicando que o uso e ocupação do solo do entorno dos sistemas pode estar influenciando as concentrações de fósforo na água subterrânea.

Com relação à água superficial, as amostras do rio oscilaram de 6 a 113 $\mu\text{g/L}$ no sistema Lagoa do Camargo, com valor médio de 38 $\mu\text{g/L}$; de 4 a 314 $\mu\text{g/L}$ com média de 94 $\mu\text{g/L}$ no sistema Lagoa dos Cavalos e de 5 a 171 $\mu\text{g/L}$ com média de 34 $\mu\text{g/L}$ no sistema Lagoa do Coqueiral. Com relação às lagoas, os valores médios foram de 32, 42 e 58 $\mu\text{g/L}$ para os sistemas LCM, LCV e LCQ, respectivamente.

TABELA 22 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$), no período de 04/2003 a 04/2005 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 50 | 12 | 137 | 39 | 20 | 53 |
| LCM-R | 50 | 6 | 113 | 38 | 22 | 59 |
| LCM-L | 50 | 2 | 187 | 32 | 33 | 103 |
| LCV-P | 50 | 3 | 214 | 46 | 40 | 87 |
| LCV-R | 50 | 4 | 314 | 94 | 77 | 83 |
| LCV-L | 50 | 7 | 187 | 42 | 40 | 94 |
| LCQ-P | 50 | 5 | 501 | 42 | 80 | 192 |
| LCQ-R | 50 | 5 | 171 | 34 | 31 | 92 |
| LCQ-L | 50 | 13 | 136 | 58 | 29 | 50 |

Rios (1999) encontrou no reservatório de Salto Grande – SP, dinâmicas diferentes entre as estações de coleta amostradas. O autor considerou que a influência dos tributários e o regime pluviométrico foram responsáveis pelo efeito de diluição em alguns pontos de amostragem provocando a variação espacial do sistema e afirmou que uma importante função de força na alteração na concentração de fósforo do sistema é o tempo de residência dos compartimentos.

Henry et al. (2005), consideram que nas lagoas da zona de transição Rio Paranapanema – Represa de Jurumirim, os processos ecológicos são regulados exclusivamente por fatores internos durante o período de desconexão. Nos períodos de conexão, ambos os fatores (internos e externos) exercem um controle sobre a ecologia das lagoas laterais, com predomínio dos efeitos internos (em épocas de águas baixas) ou dos externos (em períodos de águas altas).

Considerando-se que o fósforo é um elemento químico preservativo em corpos d'água, portanto sua disponibilidade esta restrita a poucas fontes (solo ou ação antrópica), seria esperado encontrar os maiores valores de concentração desse elemento no ambiente isolado (LCV), em função do maior tempo de residência do sistema.

Os resultados apresentados anteriormente demonstram que durante o período de estudo não foi detectado nenhum período de desconexão entre o rio e as lagoas, indicando que as alterações na dinâmica sofreram somente o efeito dos períodos de chuva e seca. Dessa forma a constatação das maiores concentrações de fósforo na lagoa do Coqueiral deve estar associada à oscilação do nível da água em função da sazonalidade em conjunto com a topografia de fundo peculiar da lagoa descrita por Henry (2005), que observou, durante um período de desconexão, a formação de massas de água isoladas.

Na Figura 38 observa-se que a concentração de fósforo respondeu de maneira diferente nos compartimentos (rio, lagoa e aquífero livre) entre os sistemas estudados, indicando que para esse elemento as respostas ambientais sofreram influência das características hidrodinâmicas.

Panarelli (2004), associou a redução do volume da lagoa do Coqueiral, ocorrida a partir de julho de 2000, com a grande quantidade de nutrientes na água remanescente e a pequena profundidade do compartimento a elevado crescimento de algas fitobentônicas. Henry et al. (2005), também observaram que com a redução das profundidades média e máxima na lagoa do Camargo, ocorreram eventos freqüentes de ressuspensão de material de fundo aumentando a turbidez, enfatizando que quando a lagoa do Camargo apresenta uma redução da profundidade o vento passa a ser o principal agente controlador dos processos físicos, químicos e biológicos do ambiente.

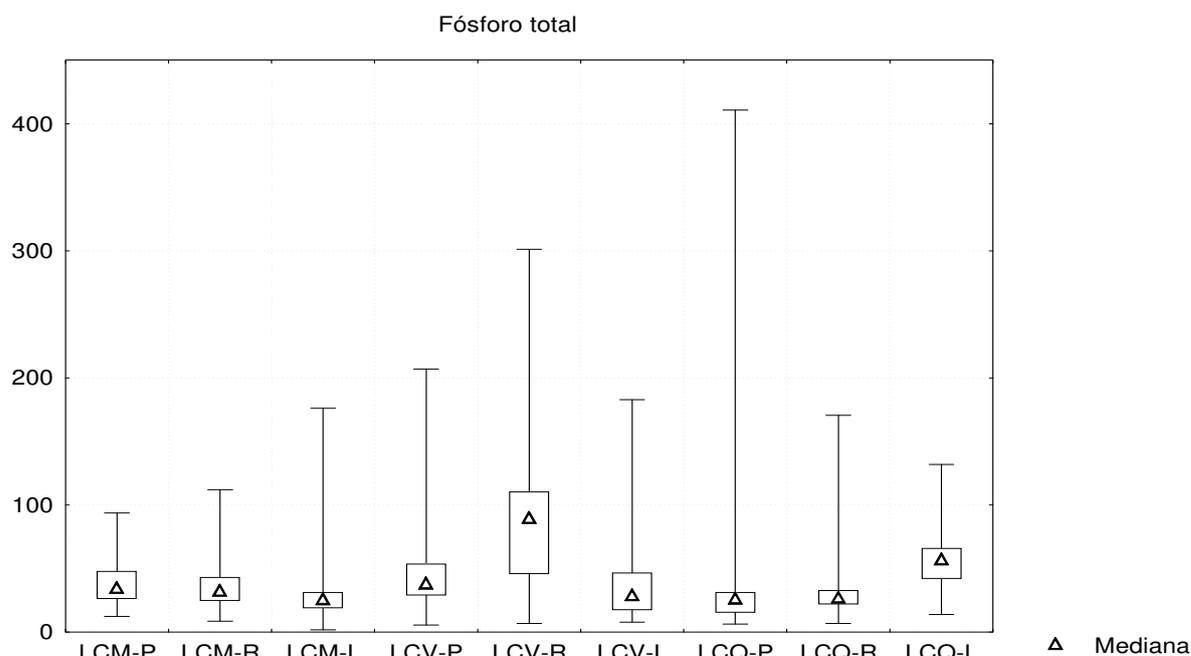


FIGURA 38: Gráfico dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Durante o presente estudo, considerando-se o efeito da sazonalidade, observou-se que todos os sistemas e compartimentos apresentaram uma elevação nas concentrações médias de fósforo no período de chuva (TABELA 23). Para a água subterrânea do sistema LCQ, ocorreu um incremento de aproximadamente 144% na concentração de fósforo, apresentando valor médio de 25,1 µg/L no período de seca elevando-se para 61,4 µg/L no período de chuva. A elevação dos teores de nutrientes no aquífero freático ocorre normalmente através da elevação do nível hidrostático e solubilização desses compostos adsorvidos presentes no solo adjacente a zona saturada do solo.

Pedro (2003) justificou o aumento nas concentrações de ortofosfato nos períodos de cheia no riacho Avelós e no rio Taperoá, na água superficial e na água hiporrêica, ao transporte de sedimentos das bacias de drenagem e ao escoamento superficial da água, que provocam grande aporte de fósforo no sistema.

TABELA 23 - Valores médios de fósforo total (µg/L) da água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).

| Sistema | Período de seca | Período de chuva |
|---------|-----------------|------------------|
| LCM-P | 36,6 | 39,0 |
| LCM-R | 39,0 | 40,8 |
| LCM-L | 23,2 | 43,6 |
| LCV-P | 46,5 | 48,2 |
| LCV-R | 33,3 | 44,9 |
| LCV-L | 33,0 | 38,5 |
| LCQ-P | 25,1 | 61,4 |
| LCQ-R | 33,5 | 36,4 |
| LCQ-L | 57,8 | 60,2 |

No contexto estabelecido pode-se considerar que a ausência de padrão e o comportamento dos sistemas estudados, em relação à concentração de fósforo, foi resultado do efeito da sazonalidade em conjunto com as características hidrodinâmicas. Segundo Stanley e Boulton (1995) a ocorrência de cheias determina os picos de ortofosfato, seguidos de quedas nas concentrações, onde a diminuição dos compostos fosfatados na fase vazante na água superficial e hiporreica é normalmente relacionada com o aumento da absorção biótica desse elemento.

Observando-se a distribuição dos teores de fósforo nos sistemas estudados (Figura 39), nota-se que com o passar do tempo surgem os valores mais altos para essa variável, sendo que na Lagoa dos Cavalos uma variabilidade maior que as demais é registrada.

Em relação aos compartimentos estudados, a maior dispersão dos dados de fósforo manteve-se associada aos teores desse elemento na água do rio (Figura 40).

Utilizando um modelo linear generalizado com concentração de fósforo como variável resposta, constatou-se que o ambiente, o compartimento e o tempo exercem influência nos valores da variável. Existe também influência da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do compartimento na concentração de fósforo depende do ambiente (TABELA 24).

Pelo teste de *Tukey* para a diferença das médias de concentração de fósforo total observa-se que existem diferenças significantes entre LCV e os dois outros sistemas estudados. Nos compartimentos notamos que há diferença entre a água do rio e a água subterrânea (TABELA 25).

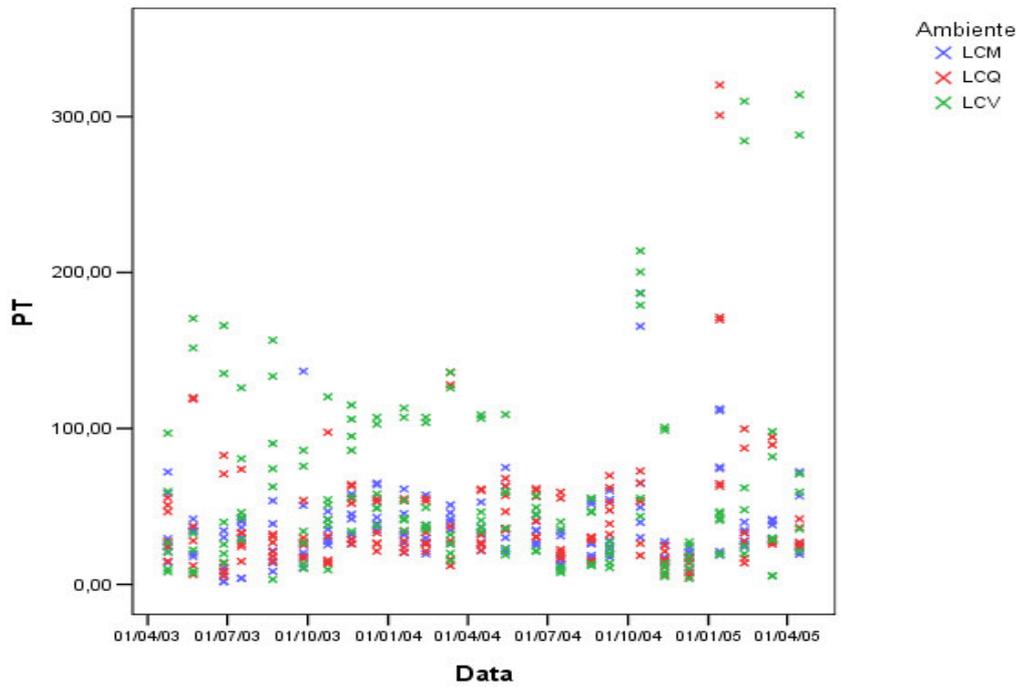


FIGURA 39: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

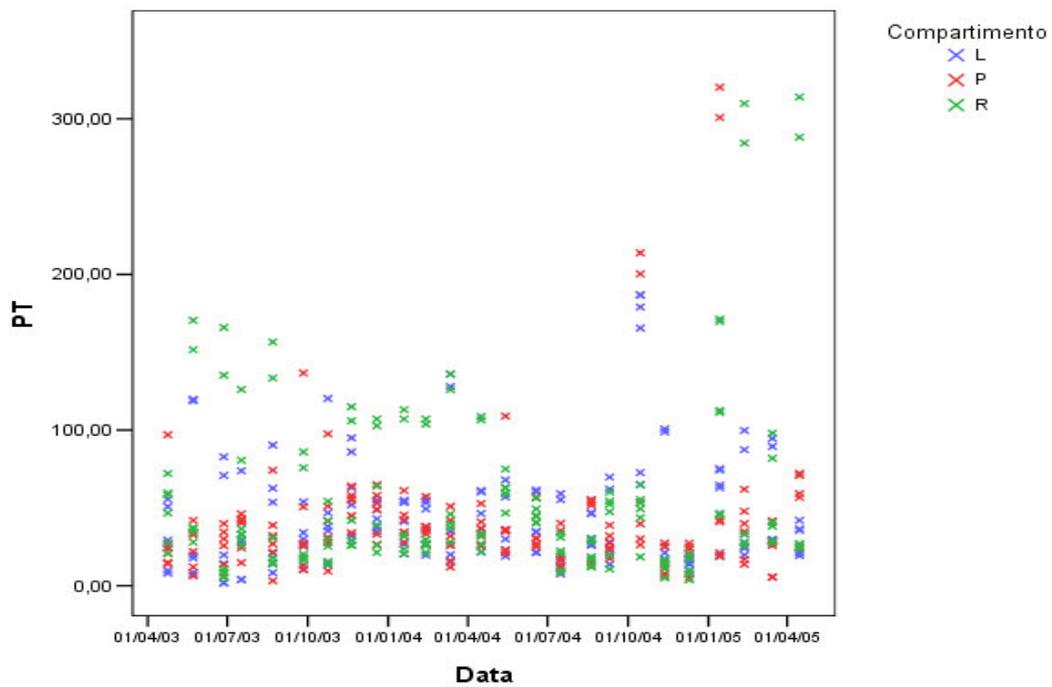


FIGURA 40: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

TABELA 24 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de fósforo total nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | 0,0049 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 25 – Teste de Tukey para a diferença das médias de fósforo total nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCV | 60,436 | A |
| Ambiente | LCQ | 43,192 | B |
| Ambiente | LCM | 36,133 | B |
| Compartimento | R | 54,969 | A |
| Compartimento | L | 44,241 | B A |
| Compartimento | P | 40,551 | B |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.5 Concentração de íons na água

4.3.5.1 Cálcio

As Figuras 41, 42 e 43 mostram a variabilidade das concentrações de cálcio nos três sistemas estudados no período entre 04/2003 a 04/2004. Na água subterrânea ocorreram os maiores valores de concentração, quando comparados com as águas superficiais.

No sistema isolado Lagoa dos Cavalos, foram registrados os maiores valores de concentração de cálcio nos três compartimentos: água subterrânea (44,0

mg/L), água da lagoa (9,0 mg/L) e na água do rio (7,0 mg/L). Os dados de concentração do presente trabalho são característicos dos aquíferos freáticos. O relatório da CESTEB (2004) apresenta variações da concentração de cálcio na água subterrânea, no Sistema Aquífero Bauru, que engloba um intervalo entre 0,6 a 68,8 mg/L.

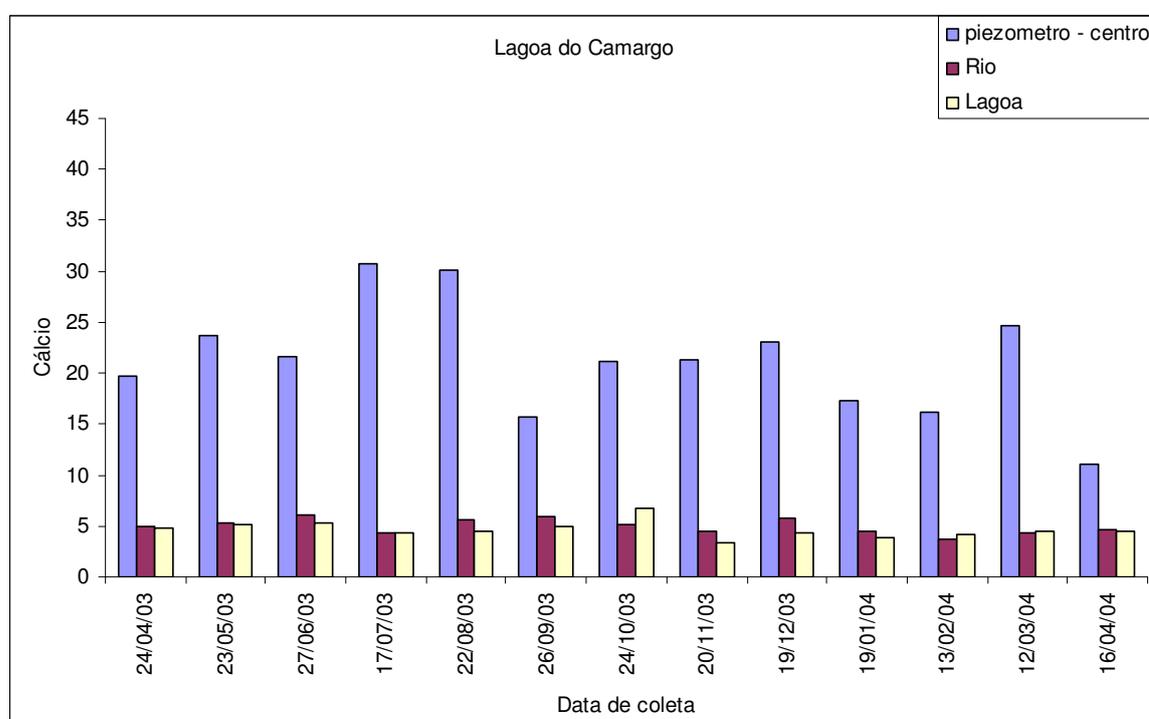


FIGURA 41: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

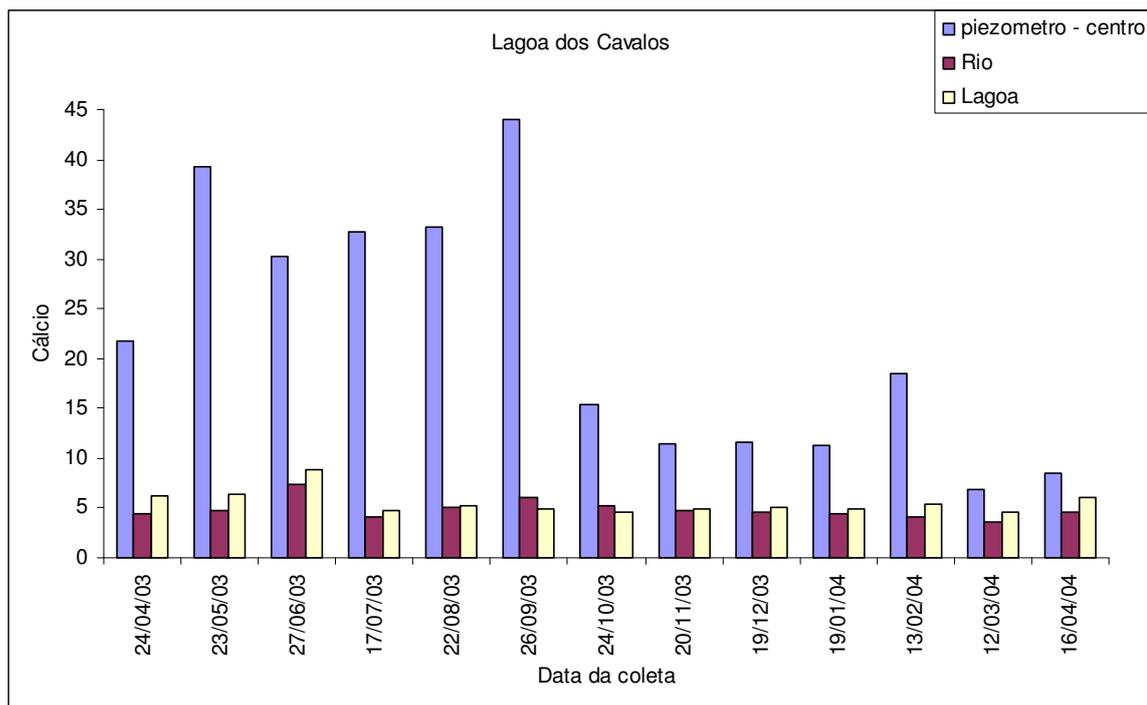


FIGURA 42: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

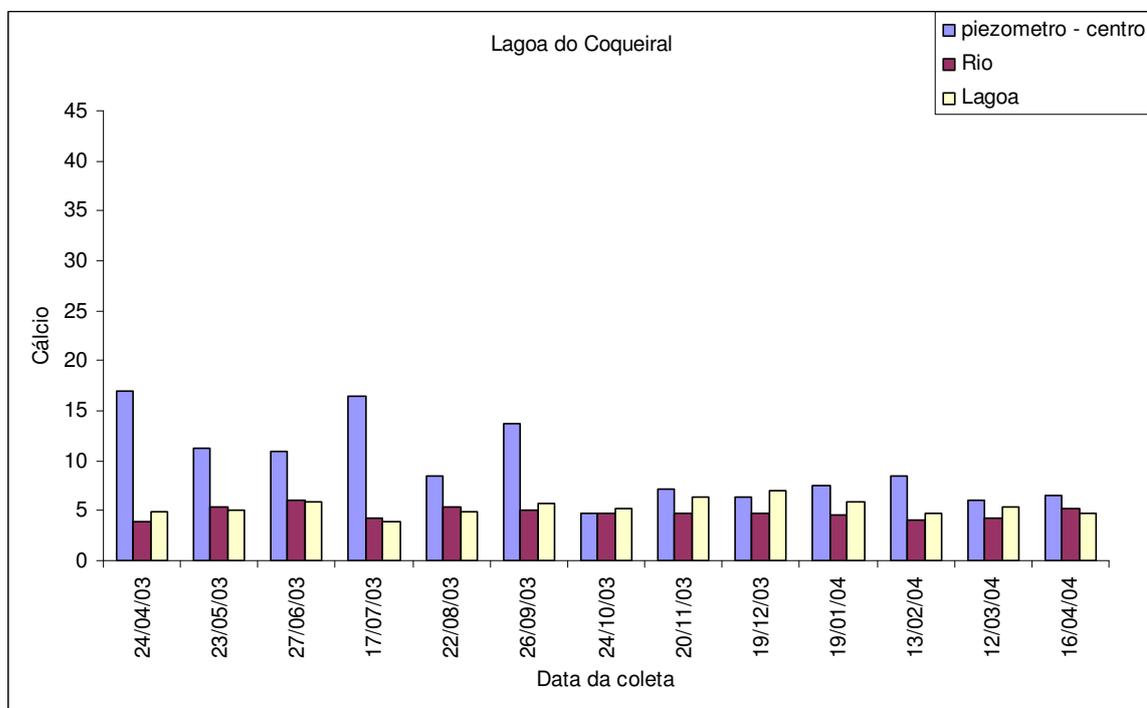


FIGURA 43: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

A TABELA 26 mostra os valores máximos, mínimos e a tendência de dispersão. A Figura 44 apresenta o valor da mediana e distribuição dos valores da concentração de cálcio nos sistemas estudados. A maior concentração (44 mg/L) foi obtida em setembro de 2003, no sistema Lagoa dos Cavalos.

Scopel, Teixeira e Binotto (2005) encontraram concentrações de cálcio no intervalo entre 10,1 e 39,8 mg/L na água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Taquarintas no Rio Grande do Sul. Os autores não consideraram os valores altos e associaram as variações de concentração desse elemento e o efeito da precipitação e diluição da calcita presente no solo da região.

TABELA 26 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de cálcio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 26 | 11 | 31 | 21 | 6 | 26 |
| LCM-R | 26 | 4 | 6 | 5 | 1 | 14 |
| LCM-L | 26 | 3 | 7 | 5 | 1 | 17 |
| LCV-P | 26 | 7 | 44 | 22 | 13 | 57 |
| LCV-R | 26 | 4 | 7 | 5 | 1 | 20 |
| LCV-L | 26 | 5 | 9 | 5 | 1 | 22 |
| LCQ-P | 26 | 5 | 17 | 10 | 4 | 42 |
| LCQ-R | 26 | 4 | 6 | 5 | 1 | 12 |
| LCQ-L | 26 | 4 | 7 | 5 | 1 | 15 |

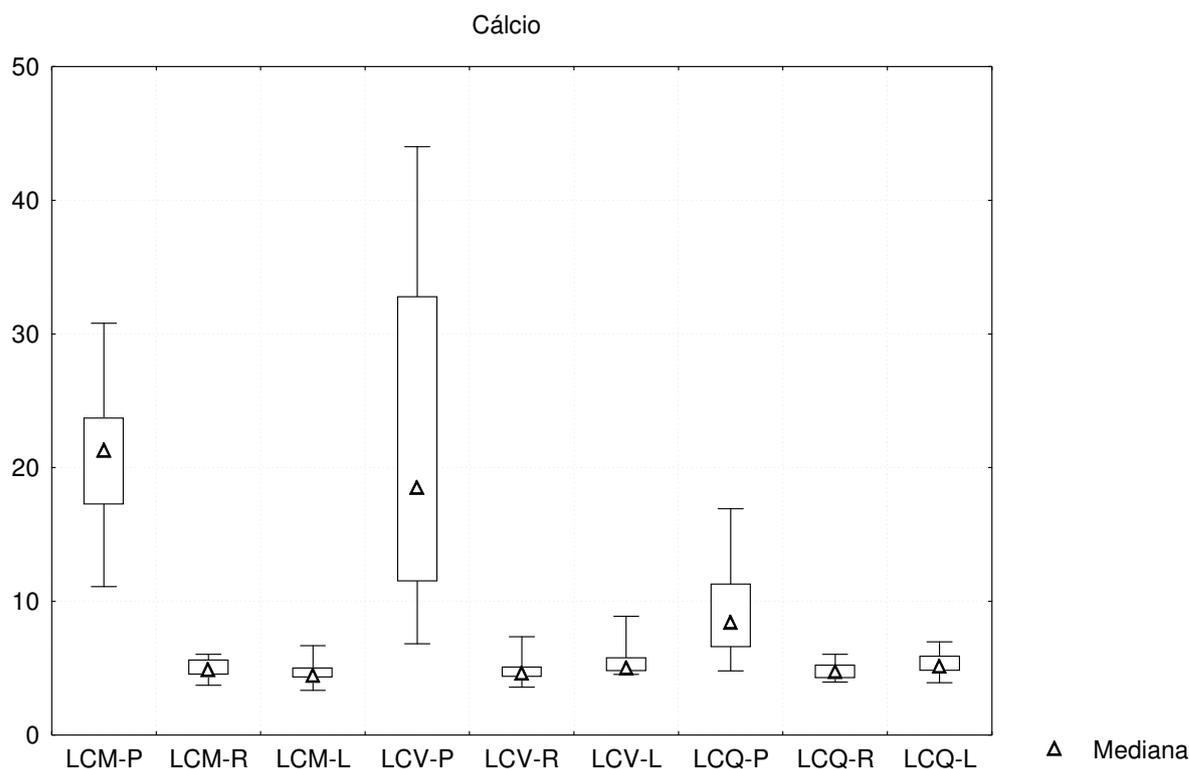


FIGURA 44: Gráfico dos valores de concentração de cálcio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

O trabalho de Sanches-Pérez e Trémolières (2003), em uma zona de influência do rio Rhine no oeste da França, encontrou valores máximos dos teores de cálcio da ordem de 213,8 mg/L na água subterrânea. Os mesmos autores apresentaram resultados com redução de aproximadamente 70 % na concentração desse elemento na água superficial do sistema adjacente (rio). Esse comportamento também foi observado na área de estudo. Considerando-se os valores médios, os sistemas Lagoa do Camargo e Cavalos apresentaram reduções superiores a 70% e o sistema Lagoa do Coqueiral reduziu em 50% a concentração de cálcio.

A concentração encontrada por Sanches-Pérez e Trémolières (2003) é aproximadamente cinco vezes maior que os dados apresentados no presente trabalho. Essa diferença pode ser justificada quando se analisa a diferença de perturbação antrópica entre os ambientes. Segundo os autores, o rio Rhine sofreu

severas alterações ambientais, tais como a regularização do canal e posterior canalização, além de receber descargas de efluentes industriais e sofrer o efeito do avanço da agricultura. As conseqüências na região foram: redução da área de inundação, alteração da conectividade hidrológica (isto é desconexão dos braços laterais anteriores e redução das flutuações do nível da água subterrânea) e uma deterioração da qualidade de água.

Furch (2000) considera que os carregamentos dos cátions maiores (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+) durante a fase redução do nível da água não são muito bem compreendidos, embora os fluxos de água subterrânea sejam a causa mais provável para o aumento desses elementos durante a drenagem.

O gráfico de dispersão da concentração de cálcio na escala temporal mostra que com o passar do tempo há uma leve redução na concentração desse elemento (Figura 45). Quanto aos sistemas, notamos que a Lagoa do Coqueiral apresenta uma variabilidade menor que os demais, com valores de concentração não ultrapassando os 20 mg/L (Figura 46). Em relação aos compartimentos percebemos que os valores obtidos na água subterrânea estão mais dispersos e são, em geral, maiores que os demais (Figura 46).

Através do modelo linear generalizado utilizando o cálcio como variável resposta, verificamos que o ambiente, o compartimento e o tempo exercem influência na concentração do Cálcio. Além disso, existe efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do compartimento no elemento depende do ambiente (TABELA 27).

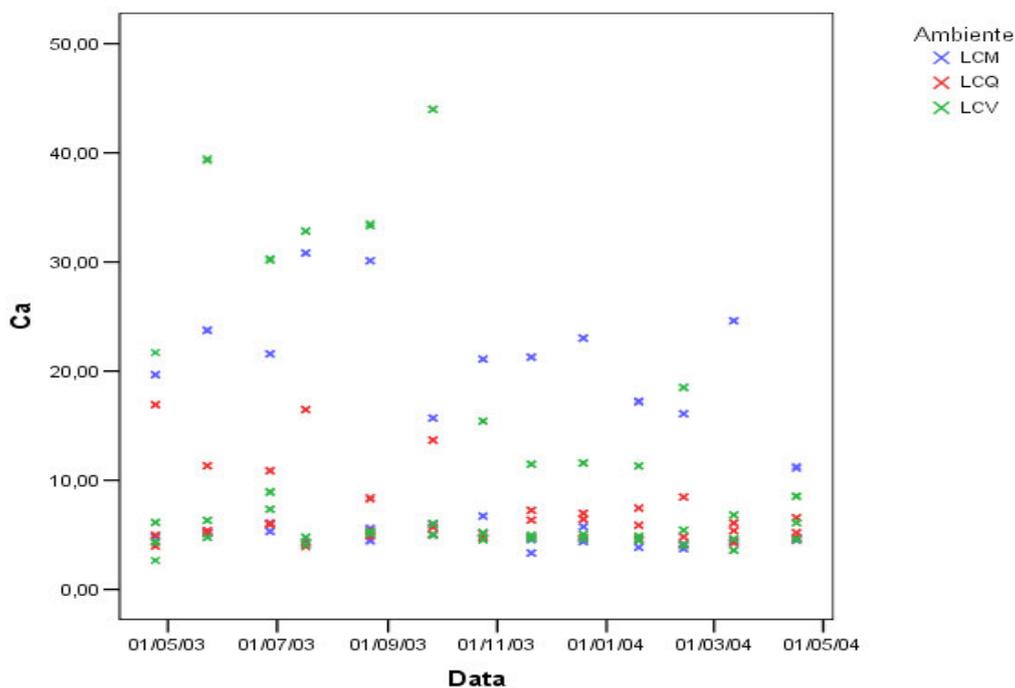


FIGURA 45: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cálcio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

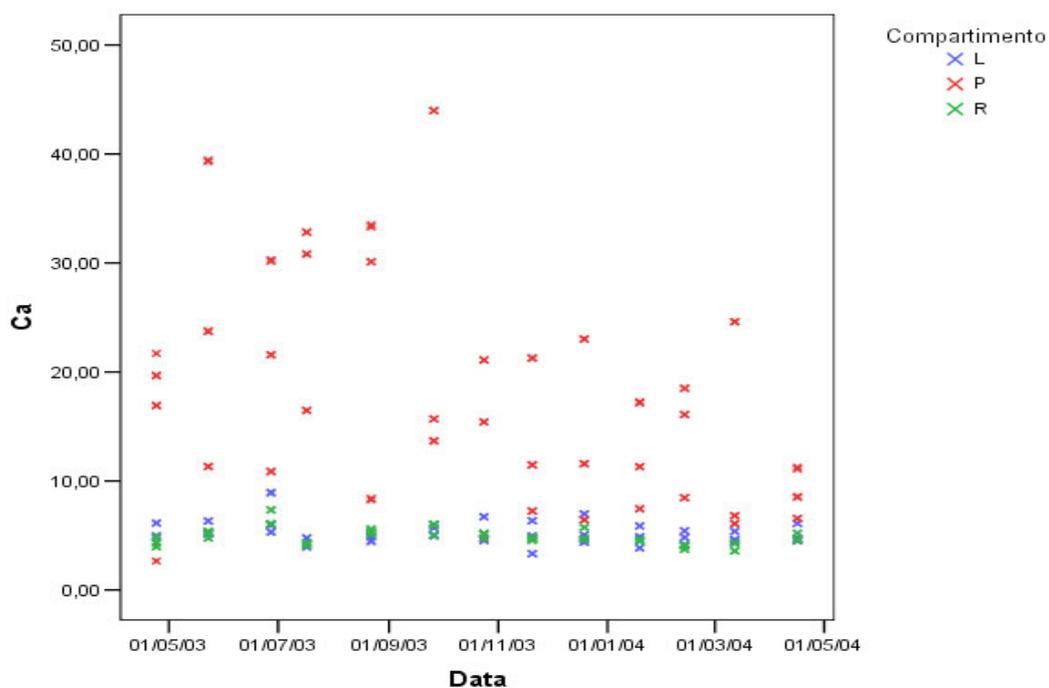


FIGURA 46: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cálcio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

TABELA 27 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de cálcio nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

O teste de *Tukey* para a diferença das médias de concentração do cálcio entre os ambientes (TABELA 28) mostra que existe diferença significativa entre o sistema Lagoa do Coqueiral e os demais. Para os compartimentos notamos que há diferença significativa entre água subterrânea e a água do rio e da lagoa (TABELA 28).

TABELA 28 – Teste de Tukey para a diferença das médias de cálcio nos ambientes e compartimentos.

| Fator | NÍVEis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCV | 10,5262 | A |
| Ambiente | LCM | 10,2911 | A |
| Ambiente | LCQ | 6,5931 | B |
| Compartimento | P | 17,3428 | A |
| Compartimento | L | 5,1928 | B |
| Compartimento | R | 4,8748 | B |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.5.2 Magnésio

Os resultados das concentrações de magnésio estão apresentados nas Figuras 47, 48 e 49.

No sistema isolado Lagoa dos Cavalos foi registrado, na água subterrânea, o maior valor (10 mg/L) e uma acentuada variação mensal foi constatada pelo valor do coeficiente de variação (TABELA 29).

O relatório de qualidade da água subterrânea da CETESB (2004) apresenta valores de magnésio oscilando de 0,1 mg/L a 37,4 mg/L no sistema Aquífero Bauru, em sistemas confinados. Para aquíferos livres no sistema Guarani, os valores oscilaram de 0,12 mg/L a 3,6 mg/L. Nos sistemas em estudo, considerando-se os valores médios, nas Lagoas do Camargo e Cavalos foram obtidos valores maiores, para aquíferos livres, de concentração (5 mg/L). Somente para a Lagoa do Coqueiral, os dados estão dentro do intervalo (2 mg/L).

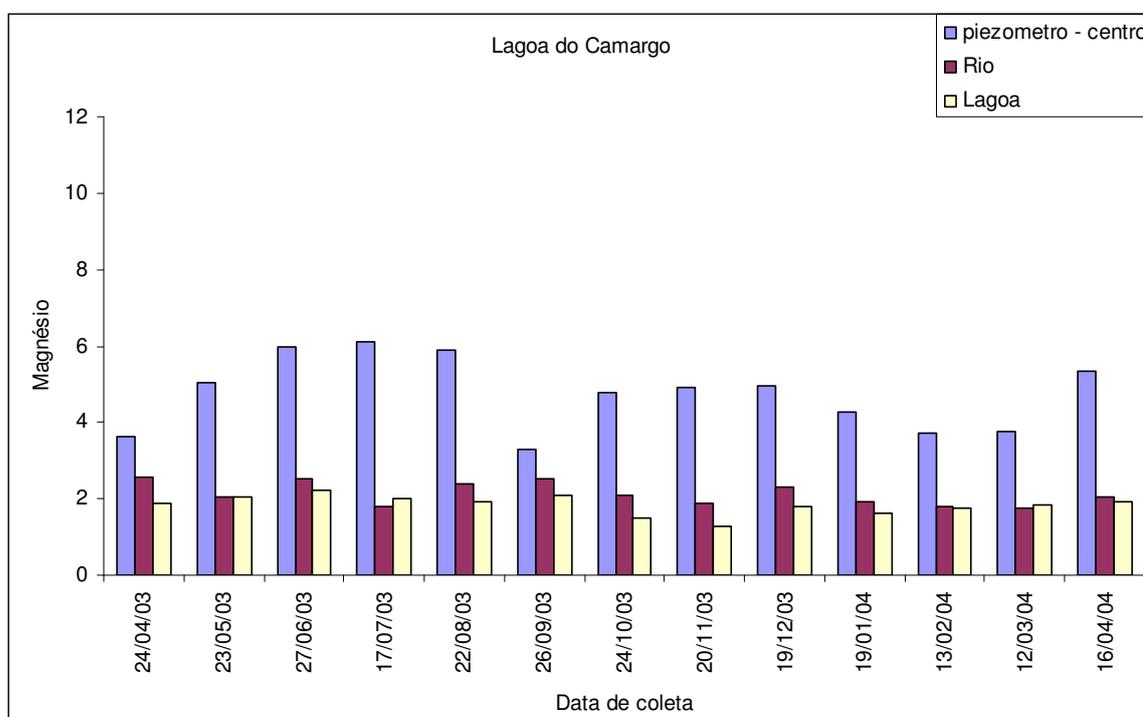


FIGURA 47: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

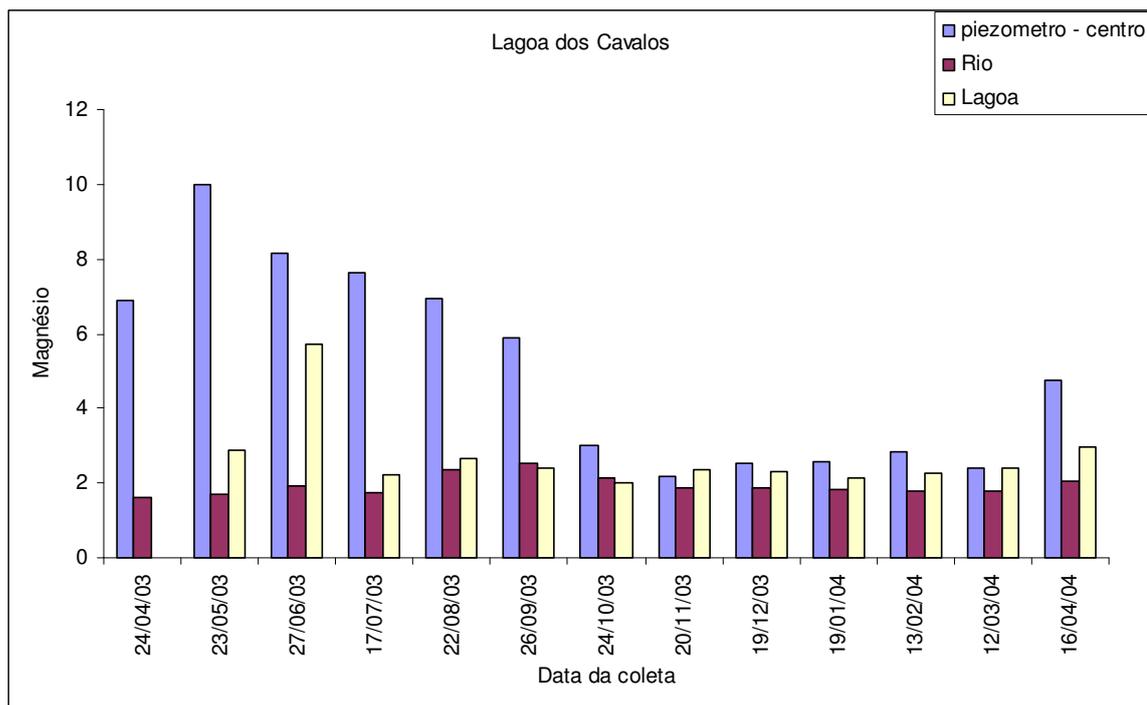


FIGURA 48: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

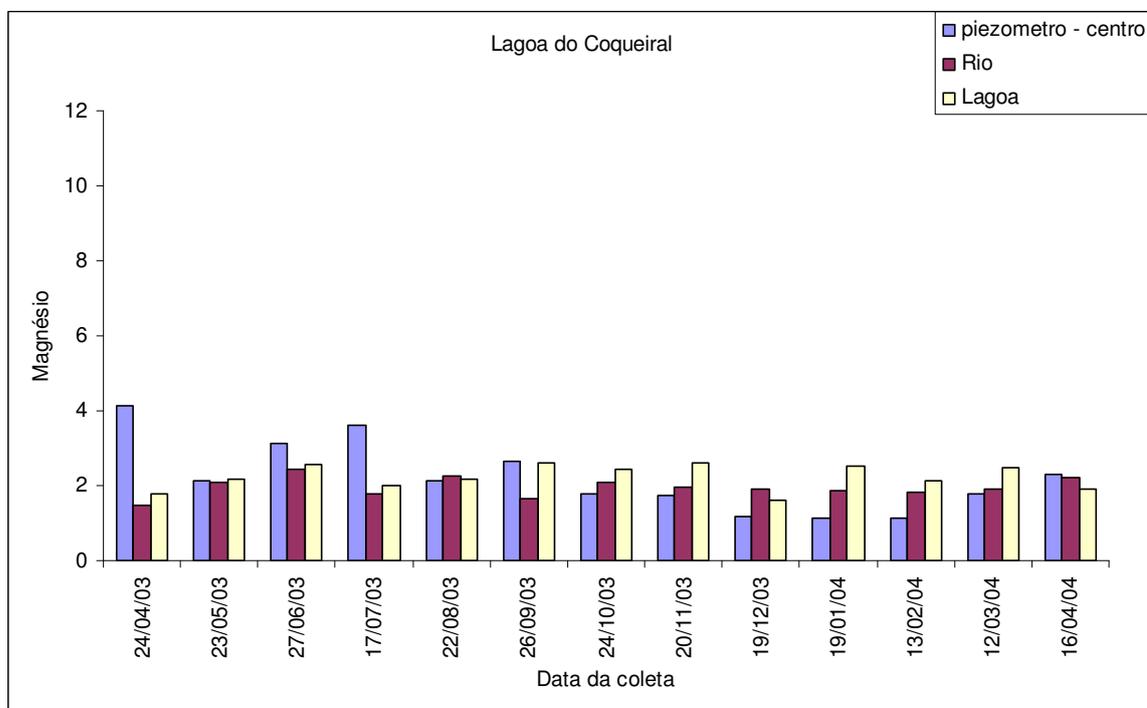


FIGURA 49: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Broers e Grift (2004), consideraram que as principais fontes de magnésio associadas às alterações da qualidade da água subterrânea são a deposição atmosférica, os fertilizantes, a calagem e a excreção animal.

Os valores obtidos mostram teores em ordem decrescente, no sistema Lagoa dos Cavalos, Lagoa do Camargo e Lagoa do Coqueiral (Figura 50). Esse resultado pode estar associado às características dos ambientes estudados: o primeiro é isolado com características de acumulador de compostos, o segundo apresenta como uso e ocupação do solo a criação de pequenos animais (suínos e caprinos) e o terceiro mantém elevada conexão com o rio.

TABELA 29 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de magnésio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 26 | 3 | 6 | 5 | 0,9 | 20 |
| LCM-R | 26 | 2 | 3 | 2 | 0,3 | 14 |
| LCM-L | 26 | 1 | 2 | 2 | 0,3 | 14 |
| LCV-P | 26 | 2 | 10 | 5 | 2,7 | 53 |
| LCV-R | 26 | 2 | 3 | 2 | 0,3 | 13 |
| LCV-L | 26 | 2 | 6 | 3 | 1,0 | 37 |
| LCQ-P | 26 | 1 | 4 | 2 | 1,0 | 43 |
| LCQ-R | 26 | 2 | 2 | 2 | 0,3 | 13 |
| LCQ-L | 26 | 2 | 3 | 2 | 0,3 | 15 |

Broers e Grift (2004), consideram que a contribuição de magnésio, em áreas antrópicas, tem como uma das principais fontes a excreção animal, que pode

alcançar valores de $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, sendo de $5,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ a contribuição da precipitação e $3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ oriundos dos fertilizantes.

Dados obtidos por Sanches-Pérez e Trémolières (2003), mostram valores de magnésio entre $6,3 \text{ mg/L}$ a $68,3 \text{ mg/L}$ na água subterrânea, e simultaneamente na água superficial (rio) teores oscilando de $3,9 \text{ mg/L}$ a $9,8 \text{ mg/L}$. Segundo os autores, a concentração dos principais cátions e ânions pode estar associada às trocas entre águas superficiais e subterrâneas e o efeito da diluição pela precipitação e a retenção pela vegetação ripária, além da influência da infiltração após períodos de inundação.

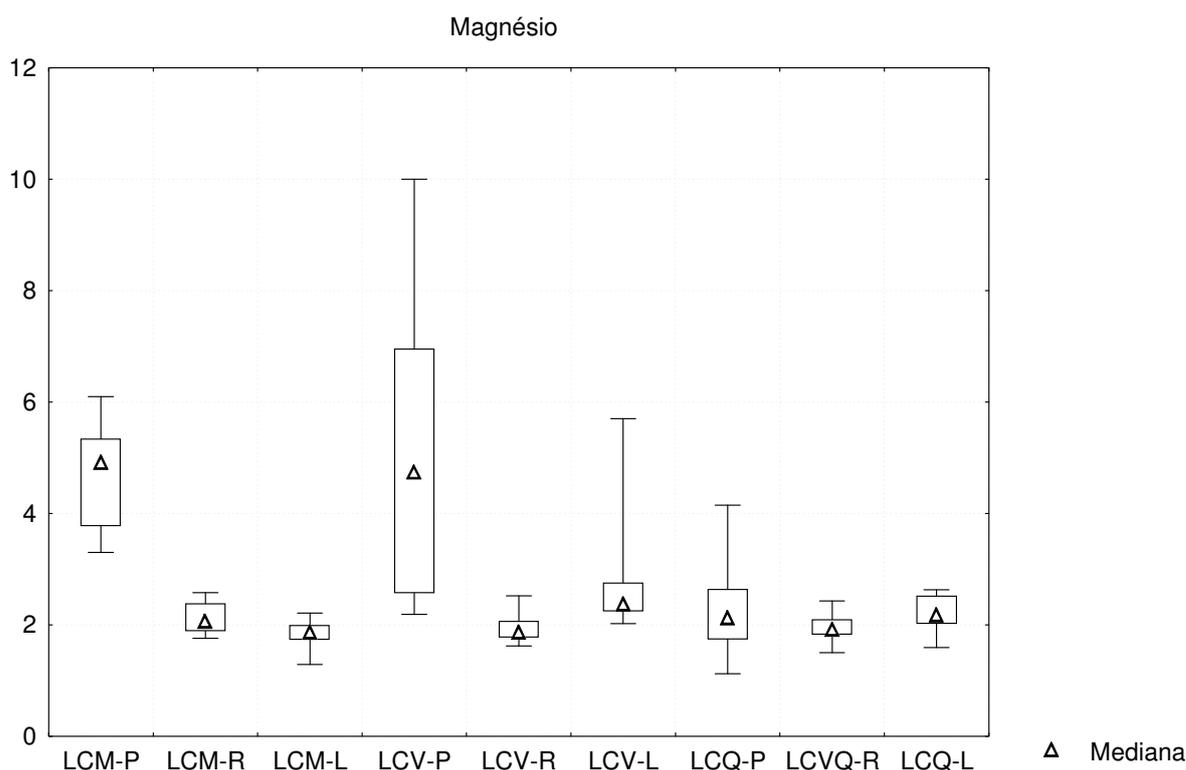


FIGURA 50: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Na água subterrânea dos sistemas Lagoa dos Cavalos e Lagoa do Coqueiral foi observado o efeito de diluição na concentração de magnésio (TABELA 30). O

sistema Lagoa do Camargo não apresentou o mesmo comportamento, a presença de animais pode ter influenciado os resultados produzindo uma ligeira elevação no período de chuva.

O aporte de magnésio via escoamento superficial pode ter resultado em uma ligeira elevação das médias de concentração no período de chuva na água do rio. Nas lagoas os teores de magnésio responderam aos diferentes graus de conectividade dos sistemas, sendo que o sistema isolado apresentou um efeito de diluição mais acentuado, seguido do sistema com conexão temporária e o permanentemente conectado sofreu a influência do rio e seguiu o comportamento do mesmo apresentando uma redução na concentração pelo efeito de diluição.

TABELA 30 - Valores médios de magnésio (mg/L) da água subterrânea e superficial, nos períodos de chuva e seca, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral (LCQ).

| Sistema | Período de seca | Período de chuva |
|---------|-----------------|------------------|
| LCM-P | 4,3 | 4,4 |
| LCM-R | 2,0 | 2,0 |
| LCM-L | 1,7 | 1,6 |
| LCV-P | 6,5 | 2,6 |
| LCV-R | 1,7 | 1,9 |
| LCV-L | 2,7 | 2,2 |
| LCQ-P | 2,5 | 1,5 |
| LCQ-R | 1,7 | 1,9 |
| LCQ-L | 1,9 | 2,3 |

A Figura 51 mostra que considerando os sistemas durante o período de amostragem há uma leve redução na concentração de Magnésio. O efeito de redução nas concentrações, em função da conectividade com o rio, na Lagoa do

Coqueiral também fica evidenciado pela menor dispersão dos dados quando comparados com os demais.

Em relação aos compartimentos percebemos que os valores de concentração na água subterrânea estão mais dispersos e apresentam uma redução nas concentrações com o passar do tempo. A variabilidade temporal dos teores de magnésio na água da lagoa e na água do rio é similar (Figura 52).

Identificamos, através de um modelo linear generalizado que o ambiente, que o compartimento e o tempo exercem influência na concentração do Magnésio. Além disso, existe efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do ambiente na concentração de Mg depende do compartimento (TABELA 31).

O teste de *Tukey* para a diferença das médias de concentração do Magnésio entre os ambientes e os compartimentos mostra que existe diferença significativa entre o sistema Lagoa do Coqueiral e os demais. Quanto aos compartimentos, notamos que há diferença significativa entre a água subterrânea e as águas do rio e lagoa (TABELA 32).

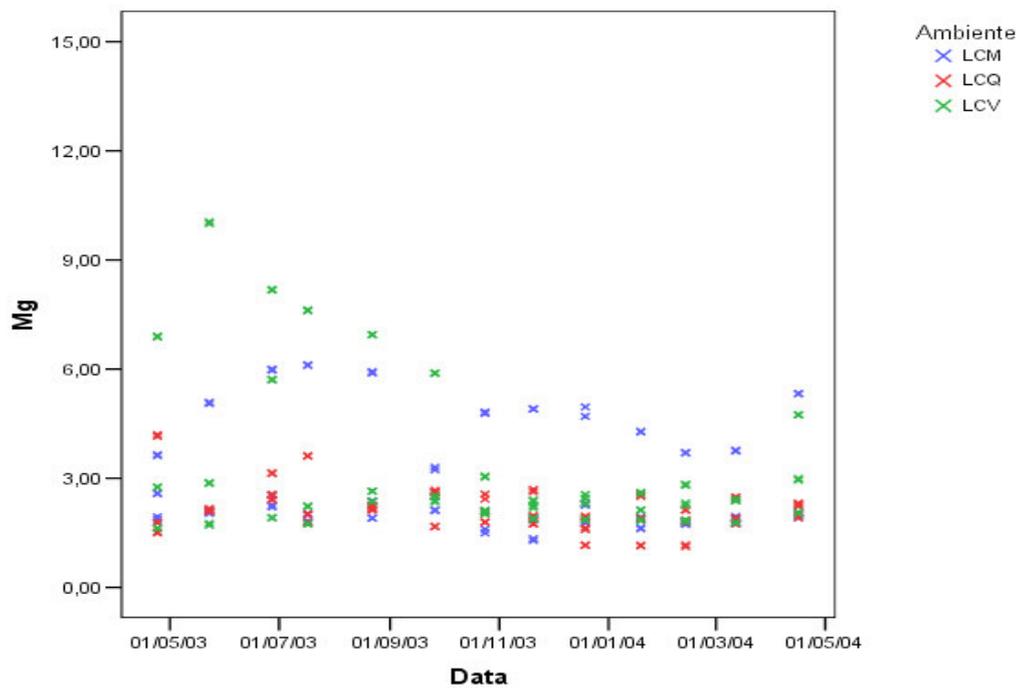


FIGURA 51: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de magnésio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

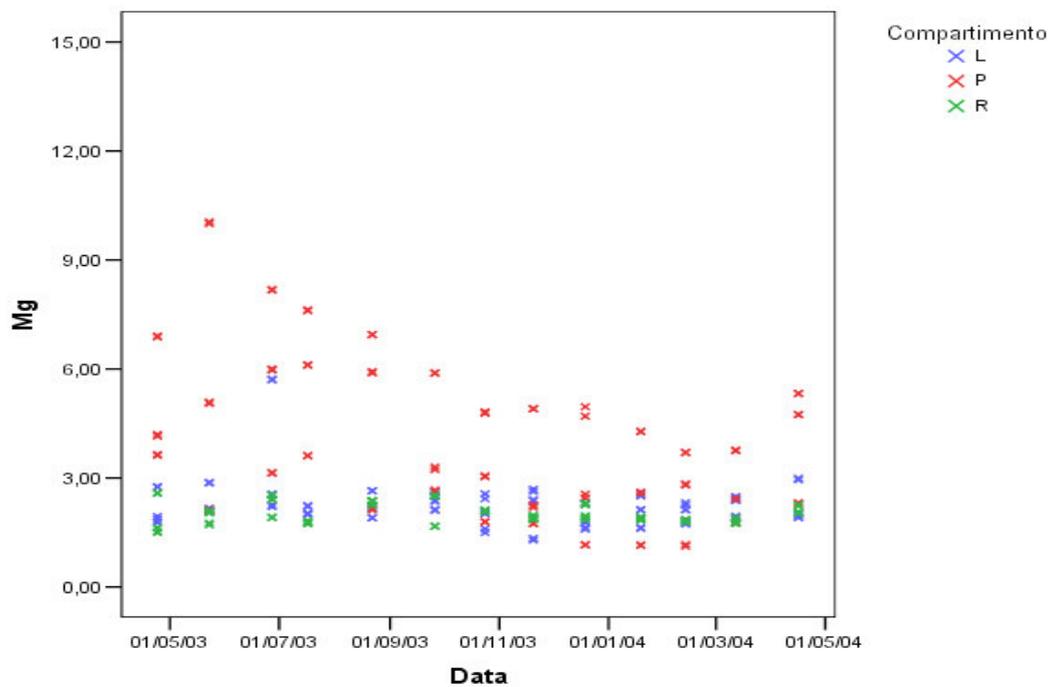


FIGURA 52: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de magnésio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

TABELA 31 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de magnésio nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 32 – Teste de Tukey para a diferença das médias de magnésio nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCV | 3,2366 | A |
| Ambiente | LCM | 2,9050 | A |
| Ambiente | LCQ | 2,1426 | B |
| Compartimento | P | 4,0097 | A |
| Compartimento | L | 2,2636 | B |
| Compartimento | R | 2,0110 | B |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.5.3 Sódio

Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga (ANA, 2004).

Scopel, Teixeira e Binotto (2005), encontraram teores de sódio, na água subterrânea, oscilando entre 7,0 a 59,1 mg/L, sendo que os valores máximos foram obtidos em um único poço e representaram teores até cinco vezes maiores que os outros pontos monitorados. Os autores consideraram que a falta de cátions divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e o enriquecimento em Na^+ foi efeito, provavelmente, de

uma longa evolução geoquímica. Este fato sugere não somente a presença de água antiga (água com maior tempo de residência) como também contribuições negligenciáveis de água moderna (água de recarga); ou, ainda, que estas águas percolaram áreas com rochas de composição química diferente, tais como intrusões alcalinas (o Na⁺ poderia ser oriundo da nefelina) comuns nos basaltos da Bacia do Paraná nas regiões centro e norte.

Os maiores valores de concentração de sódio foram obtidos na água subterrânea do sistema Lagoa do Coqueiral, com valor máximo próximo de 19 mg/L. Nos demais, os valores não ultrapassaram 4 mg/L (Figuras 53, 54 e 55).

Considerando-se que não existe variação pedológica entre os sistemas e os teores de sódio foram menores na água do rio, a alteração desse elemento deve estar associada ao uso e ocupação do solo influenciado pela utilização da técnica de queimada da vegetação para posterior plantio de milho. Esse processo, observado na região da Lagoa do Coqueiral, acelera a liberação desse composto presente na biomassa vegetal em direção ao solo e posteriormente em direção à água subterrânea.

Santos e Ribeiro (1988) observaram que a alta concentração de potássio, sódio e magnésio nos rios de água preta, como o rio Solimões no Amazonas, é devida ao intemperismo do feldspato, lavagem das folhas, caules, troncos e decomposição orgânica.

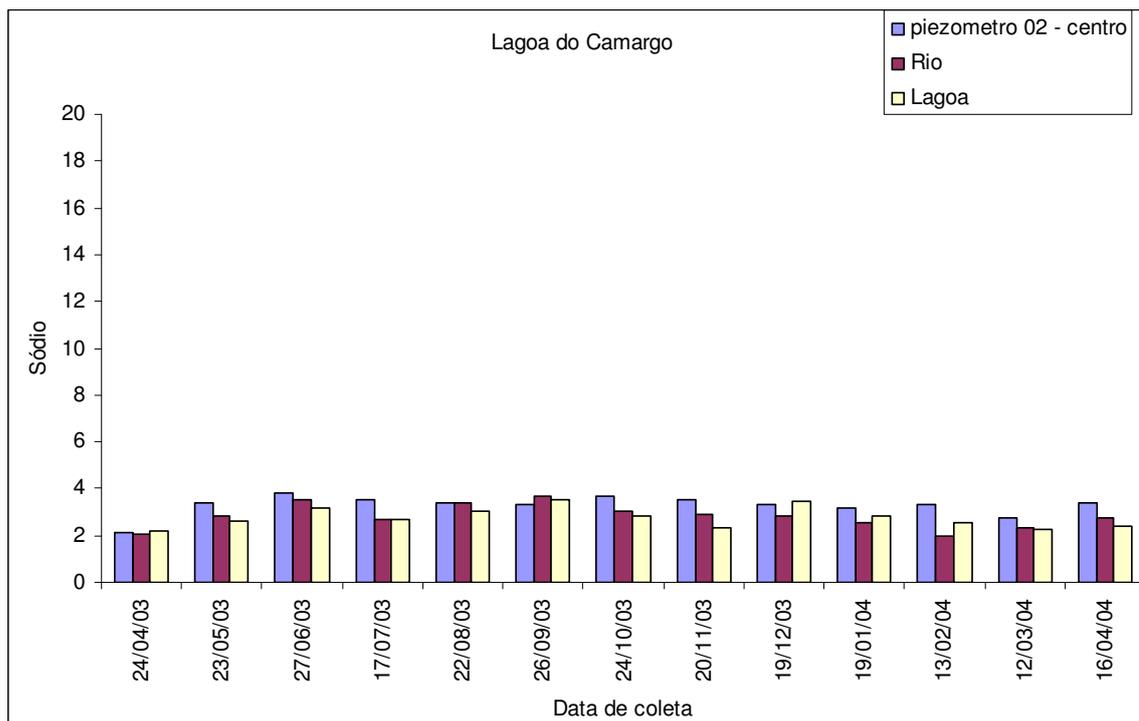


FIGURA 53: Gráfico dos valores de concentração de sódio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

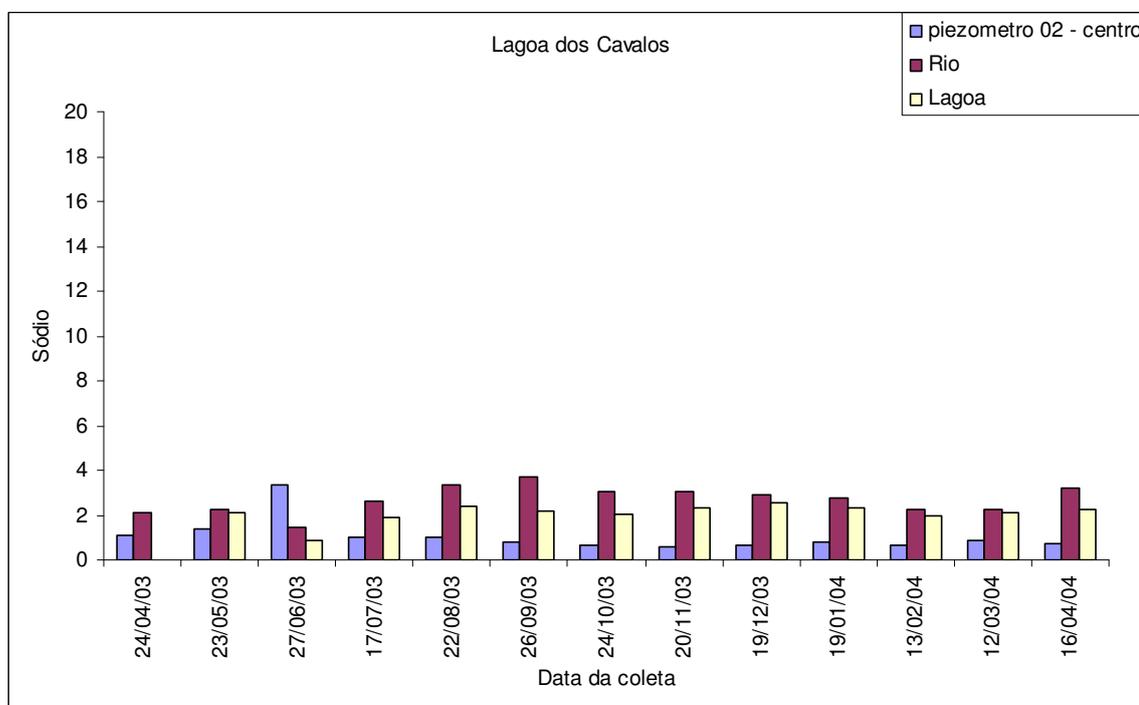


FIGURA 54: Gráfico dos valores de concentração de magnésio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

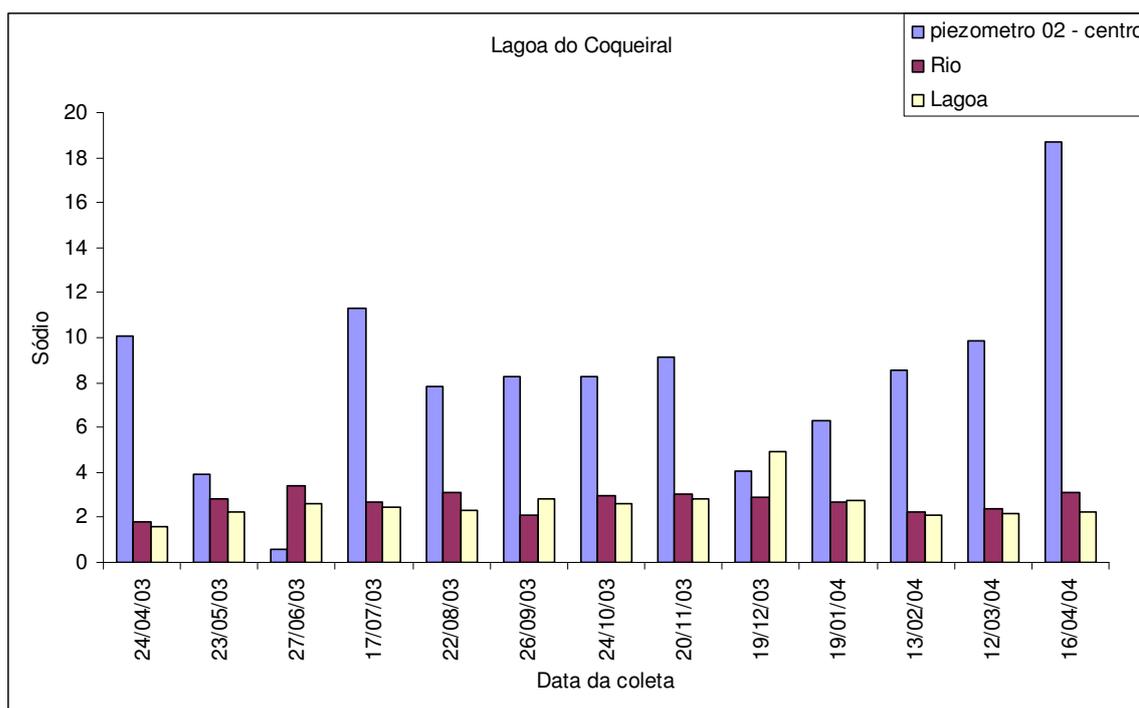


FIGURA 55: Gráfico dos valores de concentração de sódio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Franken et al. (1985) apud Silva (2001), verificaram um aumento de até 76% na concentração de sódio oriundo da água de chuva que transpassou a cobertura vegetal. Silva (2001), considera que acréscimos nos teores dos elementos dissolvidos na água subterrânea, principalmente o bicarbonato, estariam associados ao processo de infiltração das águas pluviais.

Os maiores coeficientes de variação para a concentração de sódio (TABELA 33) estiveram associados aos resultados da água subterrânea, com exceção do sistema Lagoa do Camargo.

Considerando-se os valores médios das concentrações de sódio, magnésio e cálcio obteve-se as seguintes seqüências: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ na água subterrânea dos sistemas Lagoa do Camargo e Lagoa dos Cavalos (neste sistema a água da lagoa apresentou a mesma seqüência), e $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ no aquífero do sistema Lagoa do Coqueiral, na água do rio de todos os sistemas e na água das Lagoas do Camargo e Coqueiral.

Silva (2001) comparou a seqüência $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$ obtida em um estudo da água subterrânea na faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM), com outros autores (MORAES; COSTA, 1997; HARDY, 1980 e SANTOS; RIBEIRO, 1988) que obtiveram uma seqüência $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ em lagos de "terra firme" da região do rio Negro e rios de água preta. Silva (2001) considerou evidente o ganho de magnésio e a conseqüente perda de sódio em águas subterrâneas no período chuvoso.

TABELA 33 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de sódio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 26 | 2 | 4 | 3 | 0,4 | 13 |
| LCM-R | 26 | 2 | 4 | 3 | 0,5 | 19 |
| LCM-L | 26 | 2 | 4 | 3 | 0,4 | 16 |
| LCV-P | 26 | 1 | 3 | 1 | 0,7 | 70 |
| LCV-R | 26 | 1 | 4 | 3 | 0,6 | 22 |
| LCV-L | 26 | 1 | 3 | 2 | 0,4 | 20 |
| LCQ-P | 26 | 1 | 19 | 8 | 4,3 | 53 |
| LCQ-R | 26 | 2 | 3 | 3 | 0,4 | 16 |
| LCQ-L | 26 | 2 | 5 | 3 | 0,8 | 30 |

Observando-se a Figura 56 fica evidente que a água subterrânea do sistema Lagoa do Coqueiral apresenta em seus resultados uma influência antrópica associada ao uso e ocupação do solo que altera de maneira significativa às concentrações de sódio. Quando a água presente no solo apresenta teores mais altos de Na^+ , uma fração desse elemento pode ficar retida nas partículas do solo,

em troca de cálcio e magnésio, havendo o que se chama de permuta de bases. Alterações nas concentrações de sais de sódio tornam os solos alcalinos, resultando em restrições no desenvolvimento de cultura e vegetação.

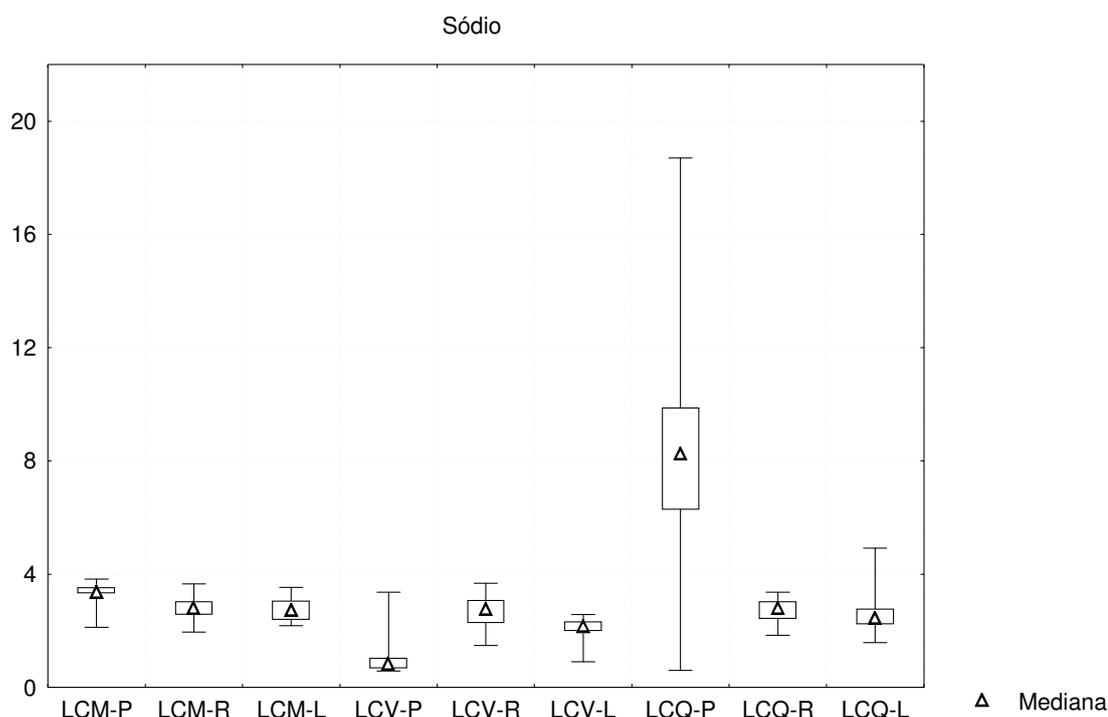


FIGURA 56: Gráfico dos valores de concentração de sódio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

O gráfico de dispersão dos valores de sódio na escala temporal (Figura 57) mostra que a influência do tempo na concentração de Sódio é pequena. Observou-se que a água do sistema Lagoa do Coqueiral apresenta, em geral, valores maiores que os demais, e que no sistema isolado (LCV) menores valores foram registrados.

Em relação aos compartimentos percebemos que os valores da água subterrânea estão mais dispersos que os demais (Figura 58). Nesse compartimento (P) os menores e os maiores valores de concentração de sódio foram encontrados durante o período de estudo.

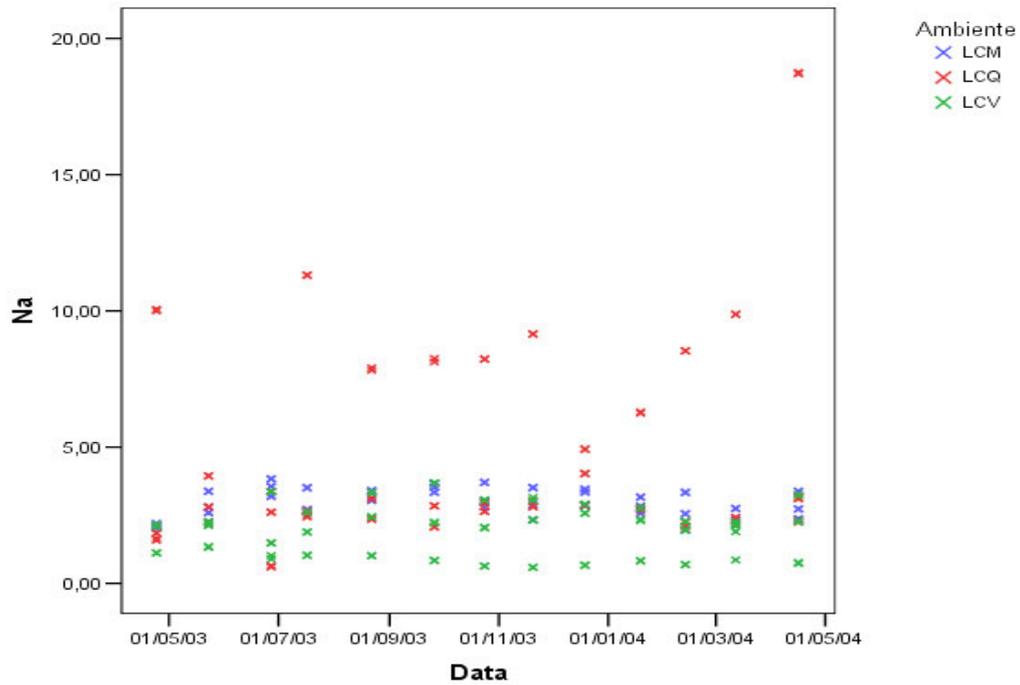


FIGURA 57: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de sódio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

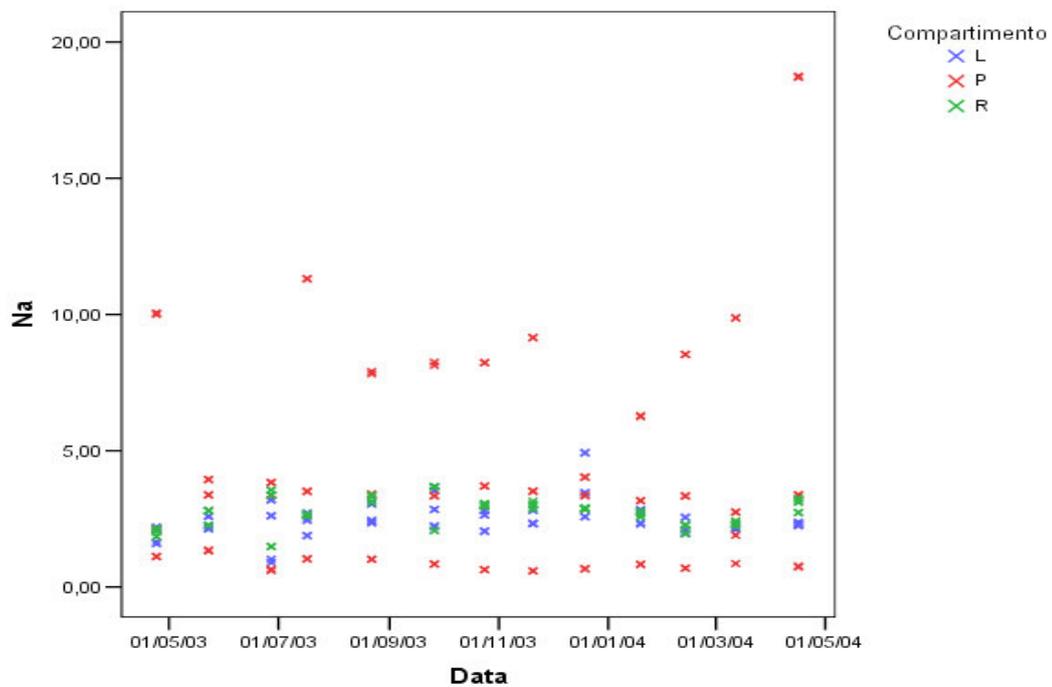


FIGURA 58: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de sódio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

O modelo linear generalizado com o sódio como variável resposta (TABELA 34) mostra que o sistema e o compartimento influenciam as concentrações desse elemento, existindo o efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do compartimento na concentração de Na⁺ depende do ambiente.

TABELA 34 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de magnésio nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|---------|-------------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | 0,0680 | Não rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

O teste de *Tukey* para a diferença das médias de concentração de sódio entre os ambientes e os compartimentos (TABELA 35) mostra que existem diferenças significantes entre os três sistemas. Para os compartimentos notamos que há diferença entre a água subterrânea (P) e as demais (R e L).

TABELA 35 – Teste de Tukey para a diferença das médias de sódio nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|--------|--------|------------------------|
| Ambiente | LCQ | 4,5079 | A |
| Ambiente | LCM | 2,9510 | B |
| Ambiente | LCV | 1,9678 | C |
| Compartimento | P | 4,2008 | A |
| Compartimento | R | 2,7354 | B |
| Compartimento | L | 2,4905 | B |

* Nível de Significância: 5%

** Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

Para a CETESB (1978), uma proposta de avaliar a qualidade da água em relação ao efeito de salinização é a utilização da Razão de Adsorção do Sódio (Sodium Absortion Ratio) – SAR. Essa razão é calculada pela fórmula abaixo, em que as concentrações iônicas são expressas em equivalentes por milhão:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

A utilização de águas de SAR elevado, principalmente em áreas agrícolas, poderá resultar em excesso de sódio no solo. As classificações dos resultados para água são: valores de SAR <10 = risco baixo; 10 a 18 = risco médio; 18 a 26 = risco forte e >26 = risco muito forte.

A água subterrânea do sistema Lagoa do Coqueiral foi à única a apresentar valor de SAR superior a 18 (limite de risco médio), todos os demais compartimentos e sistemas apresentaram valores inferiores a 10 (TABELA 36). O uso da água subterrânea na agricultura é norteado, entre outros fatores, pela proporção de sódio com referência ao cálcio e ao magnésio. Dessa forma, o efeito sazonal da elevação do nível freático pode comprometer a fertilidade do solo e interferir na atual atividade produtiva do local.

Observações de campo mostraram que a Lagoa do Coqueiral, sistema com conexão permanente, sofreu um efeito mais acentuado no período de cheia, com significativa redução da área de solo não submersa entre o rio e a lagoa. Tendo em conta que o escoamento de água é responsável pelo transporte de todos os compostos solúveis, os dados discrepantes quando comparados com os demais pontos de estudo podem estar associados ao entulhamento (acúmulo de compostos

em depressões do terreno) durante o período de chuvas, o uso e ocupação agrícola do solo e a elevada permeabilidade do solo.

TABELA 36 – Valores de SAR na água dos sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| SISTEMA | SAR | | |
|---------|------------------|-----|-------|
| | Água subterrânea | Rio | Lagoa |
| LCM | 5,3 | 8,4 | 8,7 |
| LCV | 1,7 | 8,3 | 5,8 |
| LCQ | 19,7 | 8,3 | 7,5 |

4.3.5.4 Alumínio

Os teores de alumínio encontrados, com exceção dos compartimentos lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos e o rio do sistema Lagoa do Camargo, ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 e pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, que estabelece o limite de 0,2 mg/L Al nas águas superficial e subterrânea, respectivamente (Figuras 59, 60 e 61).

O apêndice C apresenta uma comparação entre as concentrações máximas e mínimas obtidas no presente trabalho e os valores de referência estabelecidos em algumas variáveis na Resolução CONAMA 357/05 e na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

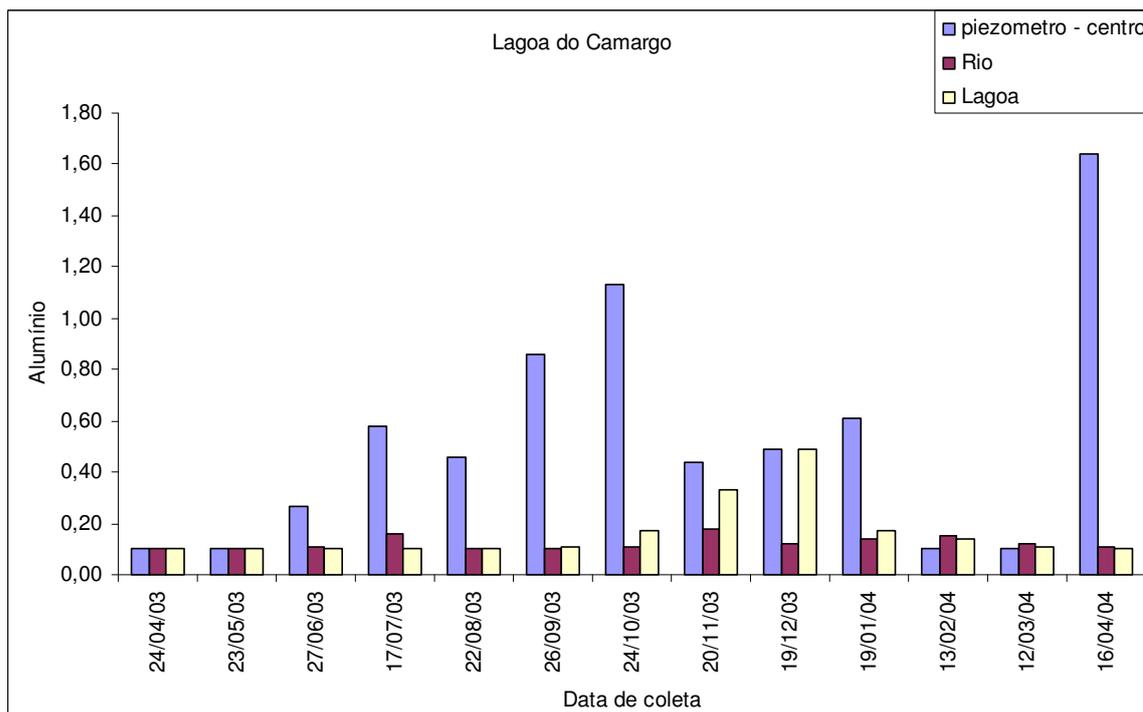


FIGURA 59: Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

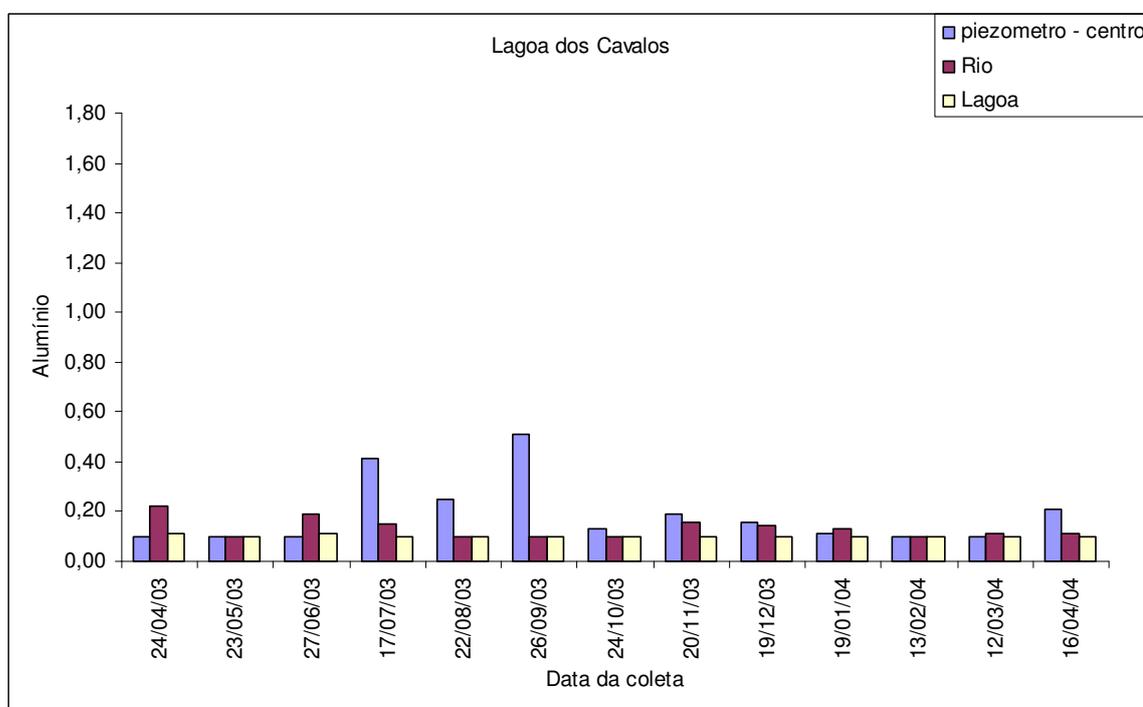


FIGURA 60: Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

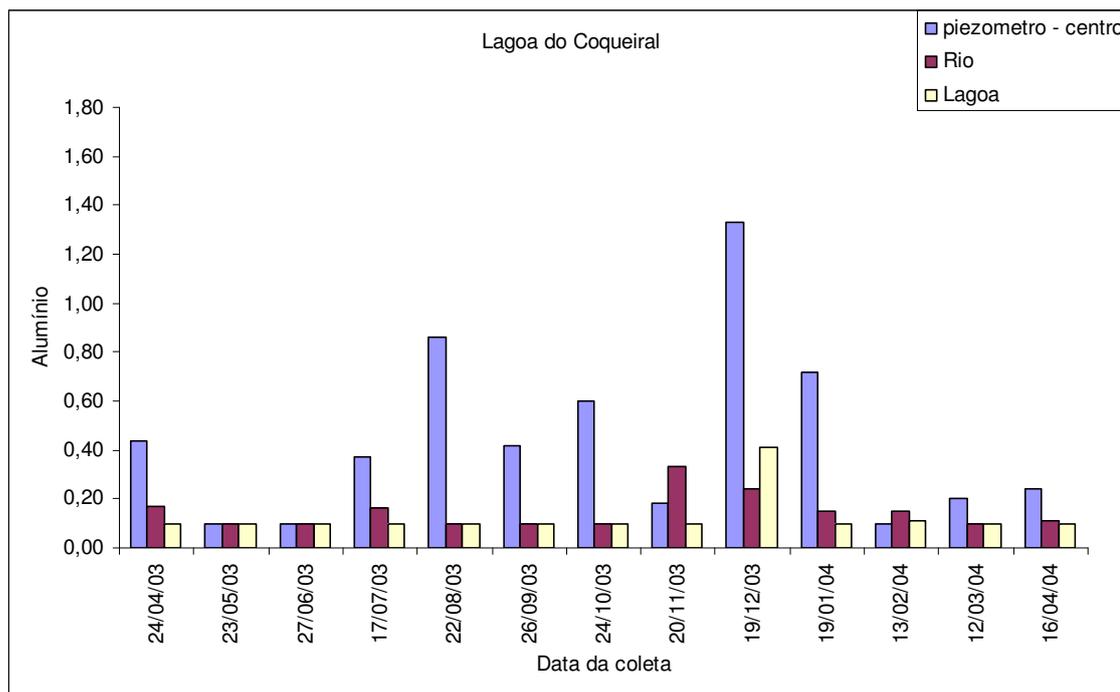


FIGURA 61: Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Concentrações mais elevadas de alumínio eram esperadas em função das características em relação a esse elemento, encontradas no solo da região de estudo, conforme anteriormente discutido. Esse fato refletiu nos resultados, onde os maiores teores estiveram associados à água subterrânea (TABELA 37).

Broers e Grift (2004), consideram que concentrações elevadas de alumínio e potássio são limitadas às partes superiores dos aquíferos.

As fontes da contaminação destes componentes não alcançam as camadas mais profundas. Comparando os perfis de concentração-profundidade dos contaminantes, os autores concluíram as fontes de contaminação do alumínio e do potássio sofreram um processo de imobilização e retenção. Provavelmente, a mobilidade do alumínio é retardada por trocas catiônicas com o cálcio e o magnésio.

TABELA 37 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de alumínio (mg/L), no período de 04/2003 a 04/2004 para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|-------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 26 | < 0,10 | 1,64 | 0,53 | 0,46 | 86,72 |
| LCM-R | 26 | < 0,10 | 0,18 | 0,12 | 0,03 | 21,34 |
| LCM-L | 26 | < 0,10 | 0,49 | 0,16 | 0,12 | 71,88 |
| LCV-P | 26 | < 0,10 | 0,51 | 0,19 | 0,13 | 68,99 |
| LCV-R | 26 | < 0,10 | 0,22 | 0,13 | 0,04 | 29,74 |
| LCV-L | 26 | < 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,00 | 3,70 |
| LCQ-P | 26 | < 0,10 | 1,33 | 0,44 | 0,36 | 83,59 |
| LCQ-R | 26 | < 0,10 | 0,33 | 0,15 | 0,07 | 47,10 |
| LCQ-L | 26 | < 0,10 | 0,41 | 0,12 | 0,09 | 68,85 |

A Figura 62 mostra a distribuição da concentração de alumínio nos três sistemas estudados. A observação gráfica dos valores da mediana próximos da concentração de 0,10 mg/L (limite de detecção do método) indica que a maioria dos dados obtidos foi inferior a esse patamar.

Na bacia hidrográfica do rio Taquarintas – RS, Scopel, Teixeira e Binotto (2005) encontraram concentrações de Al^{3+} variando entre 0,0006 e 0,0040 mg/L, sendo detectado apenas na última campanha de amostragem. Os autores consideraram que as concentrações para a maioria dos íons metálicos analisados apresentavam-se em níveis baixos, comparativamente os valores foram muito inferiores quando confrontados com os valores máximos obtidos no presente estudo.

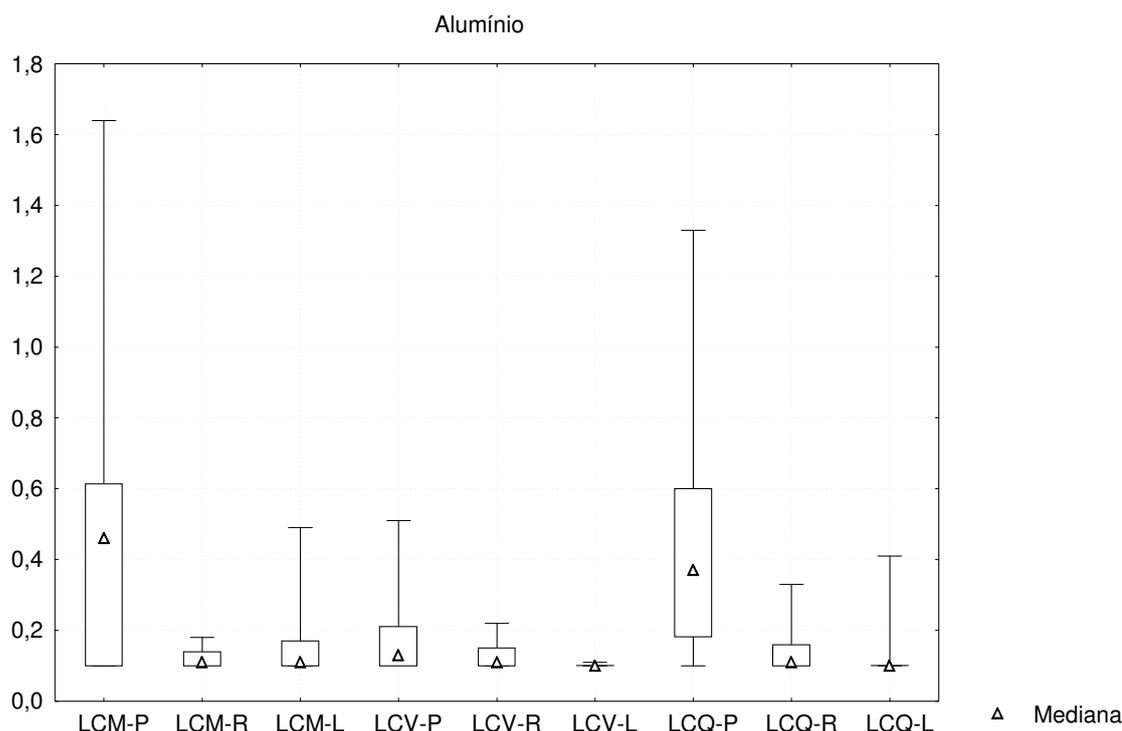


FIGURA 62: Gráfico dos valores de concentração de alumínio (mg/L) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Stetzenbach et al. (1999) obtiveram concentrações de alumínio variando de não detectado até 0,096 mg/L na água subterrânea, em 18 pontos de amostragem em uma região entre os Estado da Califórnia e Nevada nos EUA.

Na Figura 63 observamos que com o passar do tempo há um pequeno aumento na concentração do Alumínio. Em relação aos sistemas, verificamos que os valores na Lagoa dos Cavalos estão menos dispersos e com valores mais baixos que os demais. Os resultados obtidos na Lagoa do Camargo e Lagoa do Coqueiral são similares.

Em relação aos compartimentos verificamos os valores de concentração na água subterrânea são mais dispersos na escala temporal que nos demais, que mostram valores próximos (Figura 64).

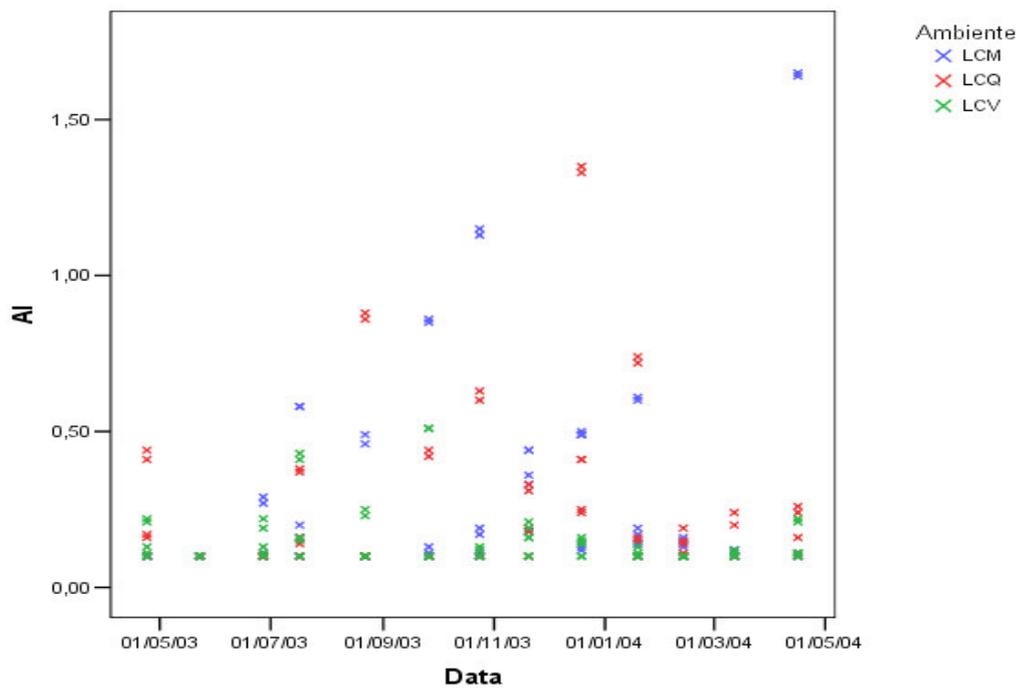


FIGURA 63: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de alumínio (mg/L) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

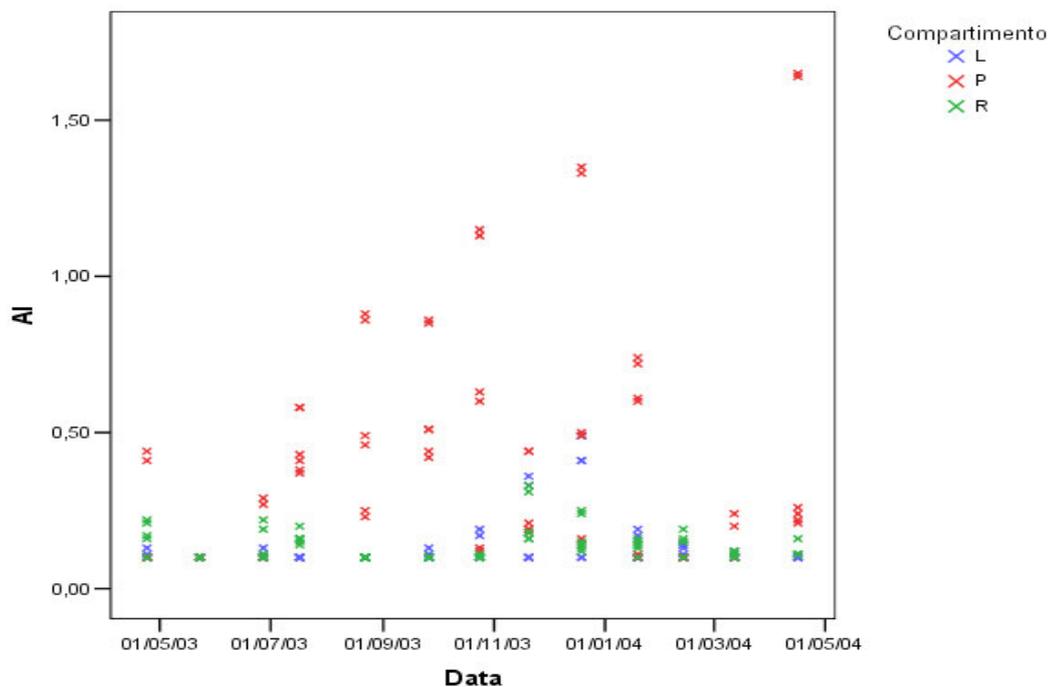


FIGURA 64: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de alumínio (mg/L) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

A partir do modelo linear generalizado utilizando o Alumínio como variável resposta (TABELA 38), observou-se que existe influência do sistema, do compartimento e do tempo na concentração de alumínio. Existe efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do compartimento no Al^{3+} depende do ambiente.

Pelo teste de *Tukey* (TABELA 39) notamos que existem diferenças significantes entre o sistema Lagoa dos Cavalos e os demais, e entre a água subterrânea e os demais compartimentos.

TABELA 38 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de alumínio nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|------------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. ** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 39 – Teste de *Tukey* para a diferença das médias de alumínio nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de <i>Tukey</i> * |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------------------|
| Ambiente | LCM | 0,2744 | A |
| Ambiente | LCQ | 0,2388 | A |
| Ambiente | LCV | 0,1416 | B |
| Compartimento | P | 0,3877 | A |
| Compartimento | R | 0,1353 | B |
| Compartimento | L | 0,1318 | B |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.5.5 Manganês

Os valores de manganês oscilaram de teores menores que 10 µg/L, em todos os sistemas e compartimentos estudados, até 2.933 µg/L na água subterrânea da Lagoa do Camargo (Figuras 65, 66 e 67).

Concentrações de manganês em águas superficiais normalmente apresentam teores muito baixos. Lemes (2001) encontrou concentrações de manganês oscilando entre 6 µg/L a 228 µg/L e entre 8 µg/L a 815 µg/L nas águas superficiais das bacias dos rios Pardo e Mogi-Guaçu, respectivamente. O autor associou as alterações na concentração desse elemento às variações da precipitação. Verificou que a concentração de Mn^{2+} apresentou valores menores quando o índice pluviométrico é relativamente baixo sendo que o teor deste elemento vai elevando-se quando o índice pluviométrico vai aumentando.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite de 100 µg/L para as águas superficiais. O trabalho de Hypolito e Nascimento (2004) associou concentrações elevadas de manganês, na água subterrânea (1.631 µg/L) e superficial (467 µg/L), a formação de plumas de contaminação de chorume oriundas dos depósitos de lixos urbanos existentes na área de estudo. Valores orientadores da CETESB (2005) estabelecem a concentração limite de 400 µg/L de manganês total na água subterrânea para classificação do local como área contaminada, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

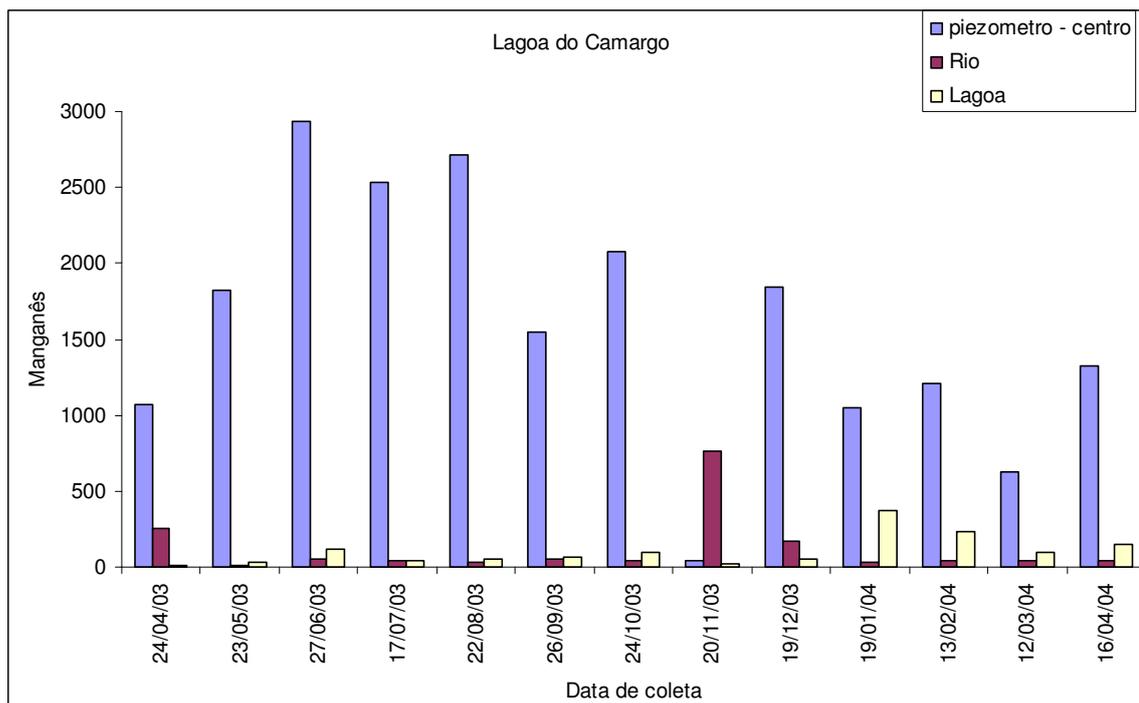


FIGURA 65: Gráfico dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

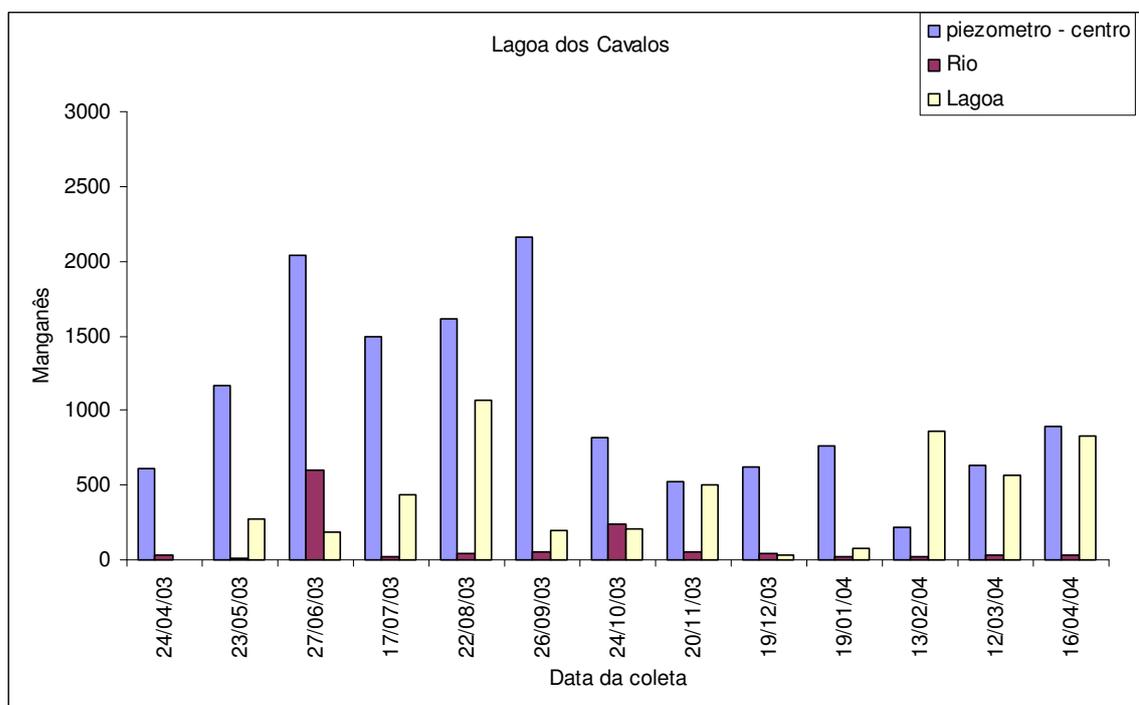


FIGURA 66: Gráfico dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

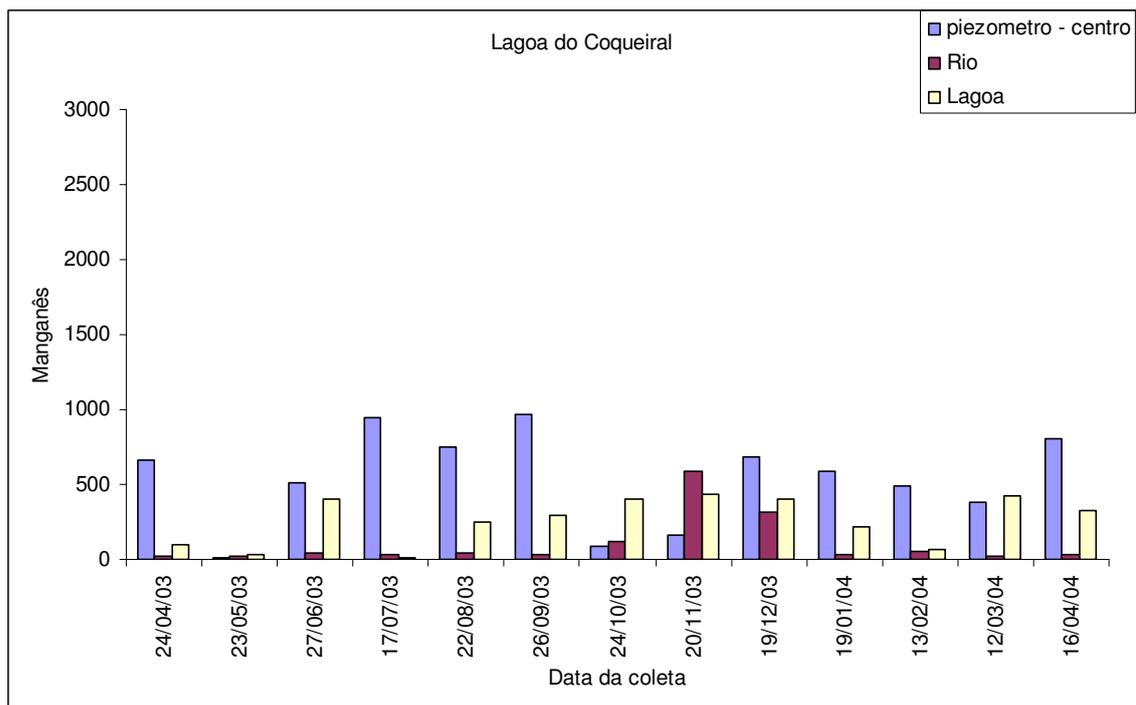


FIGURA 67: Gráfico dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Todos os compartimentos estudados apresentaram valores superiores ao estabelecido, os valores médios oscilaram de $93,31 \mu\text{g/L}$ a $1599,4 \mu\text{g/L}$ (TABELA 40).

Nascimento e Barbosa (2005), no aquífero freático na bacia do rio Lucaia, na cidade de Salvador detectaram valores elevados de concentração de manganês em 55% dos pontos de amostragem, sendo o seu valor mínimo de $9,8$ e o máximo de $1670 \mu\text{g/L}$, apresentando uma média de $148 \mu\text{g/litro}$. Os autores consideraram que a origem desse elemento é geogênica, apresentando em muitos pontos, teores altos devido à contaminação natural causada pela presença constante de filmes de óxido de manganês na rocha alterada - saprolito.

Na bacia do rio Lucaia, os teores elevados de manganês inviabilizam essas águas para o consumo humano; podendo causar apatia, irritabilidade, dores de cabeça, insônia e fraqueza nas pernas. Sintomas de distúrbios psicológicos podem

aparecer, tais como a prática de atos compulsivos, ausência de memória, alucinações, agressividade e euforia desmedida.

Na Figura 68 observamos o gráfico de dispersão da concentração de manganês na escala temporal, de acordo com o ambiente. A representação indica que com o passar do tempo há uma leve queda na concentração de manganês. Observa-se que os valores para o sistema Lagoa do Coqueiral estão menos dispersos que para os demais. Nota-se, em relação aos compartimentos, que na água subterrânea e na água do rio ocorreram a maior e a menor variabilidade das concentrações, respectivamente (Figura 69).

Utilizando um modelo linear generalizado com a concentração de manganês como variável resposta (TABELA 41), constatou-se que o ambiente, o compartimento e o tempo exercem influência nos valores desse elemento e existe efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do ambiente no Mn depende do compartimento.

TABELA 40 - Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$), no período de 04/2003 a 04/2004, para os sistemas Lagoa do Camargo (LCM), Lagoa dos Cavalos (LCV) e Lagoa do Coqueiral.

| Sistema | n | Valor mínimo | Valor máximo | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação (%) |
|---------|----|--------------|--------------|--------|---------------|------------------------------|
| LCM-P | 26 | 38 | 2933 | 1599,4 | 838,31 | 52,41 |
| LCM-R | 26 | 10 | 759 | 121,04 | 203,1 | 167,79 |
| LCM-L | 26 | 11 | 371 | 103,73 | 100,14 | 96,53 |
| LCV-P | 26 | 223 | 2162 | 1044,7 | 606,68 | 58,07 |
| LCV-R | 26 | 10 | 596 | 93,31 | 162,47 | 174,12 |
| LCV-L | 26 | 30 | 1069 | 423,27 | 326,58 | 77,16 |
| LCQ-P | 26 | 10 | 963 | 539,73 | 310,69 | 57,56 |
| LCQ-R | 26 | 17 | 587 | 104,25 | 164,67 | 157,95 |
| LCQ-L | 26 | 15 | 430 | 257,27 | 158,21 | 61,5 |

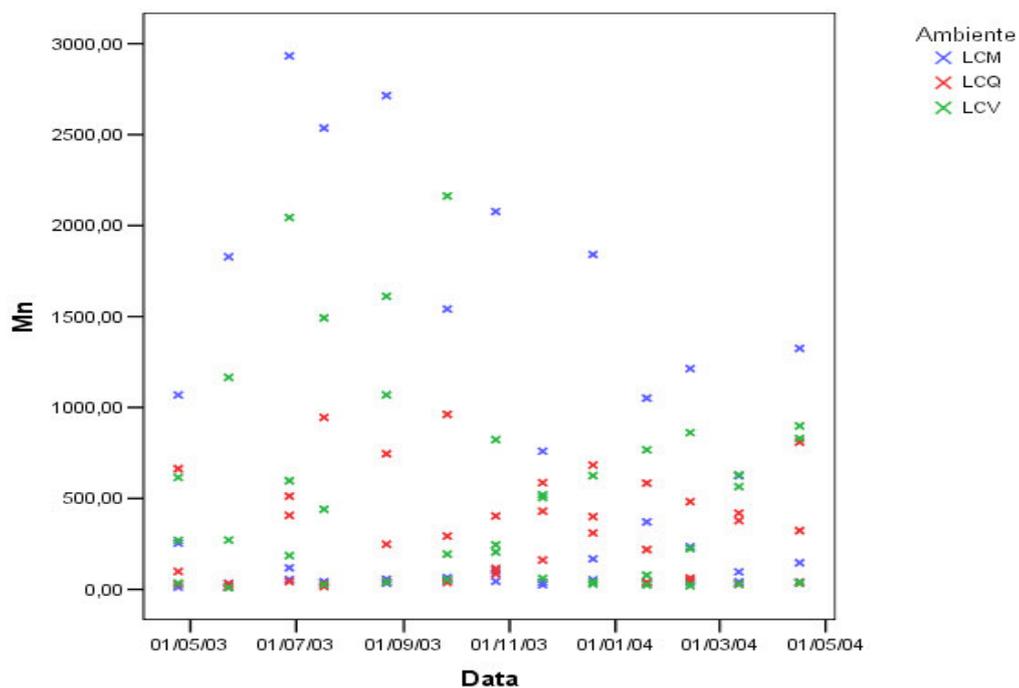


FIGURA 68: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

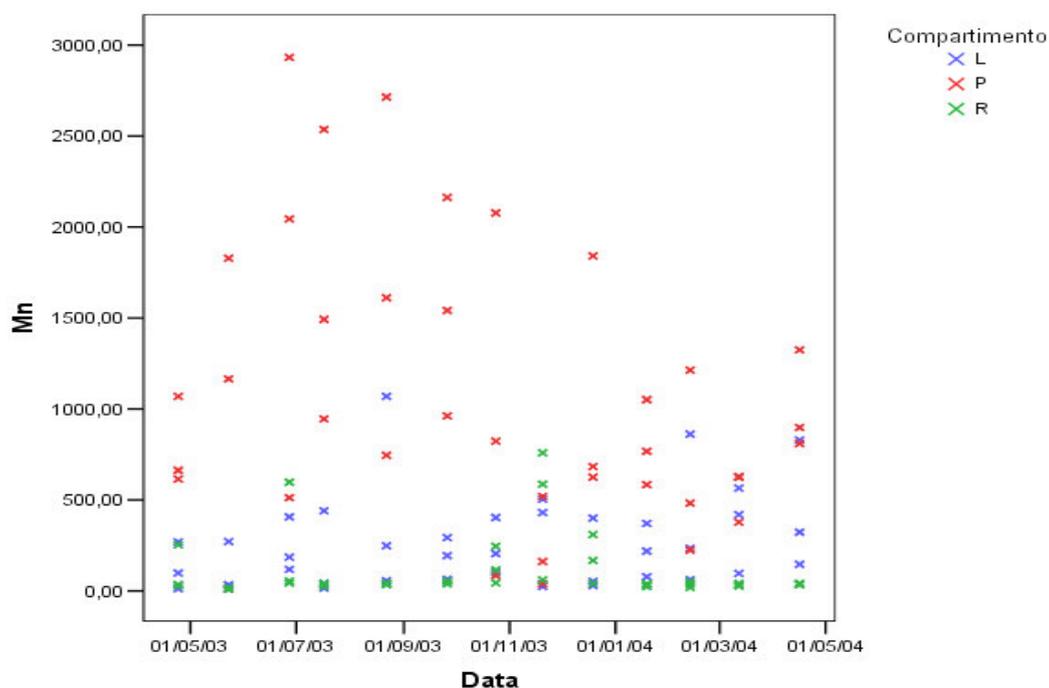


FIGURA 69: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de manganês ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

TABELA 41 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de manganês nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | 0,0003 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

A TABELA 42 mostra, através da aplicação do teste de *Tukey* para a diferença das médias do Manganês entre os sistemas e os compartimentos, que existe diferença significativa entre a Lagoa do Coqueiral LCQ e as demais. Para os compartimentos, notamos que existem diferenças significantes entre os três.

TABELA 42 – Teste de Tukey para a diferença das médias de manganês nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCM | 608,40 | A |
| Ambiente | LCV | 520,79 | A |
| Ambiente | LCQ | 301,06 | B |
| Compartimento | P | 1061,48 | A |
| Compartimento | L | 261,85 | B |
| Compartimento | R | 106,91 | C |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.5.6 Bário

As Figuras 70, 71 e 72 mostram a variação temporal da concentração de bário nos três sistemas estudados. Os teores de bário oscilaram entre 10 µg/L (lagoa do sistema LCV) a 327 µg/L (água subterrânea do sistema LCQ). O valor mais elevado foi obtido em uma única amostragem ocorrida em 16/04/2004, não representando uma característica do sistema, porém este valor corresponde a 46 % do limite estabelecidos pela CETESB (2005) para intervenção na área.

Dados apresentados pela CETESB (2004) no relatório de qualidade da água subterrânea no Estado de São Paulo, no triênio 2001-2003, mostram poços monitorados localizados nos municípios de Gália, Muritinga do Sul e Ribeirão Bonito com detecção sistemática de concentrações de Bário acima do padrão de potabilidade (0,7 mg/L.). A origem dessa contaminação não foi relacionada no relatório, mas substâncias inorgânicas como bário, cromo e fluoretos podem ter origens naturais ou antrópicas.

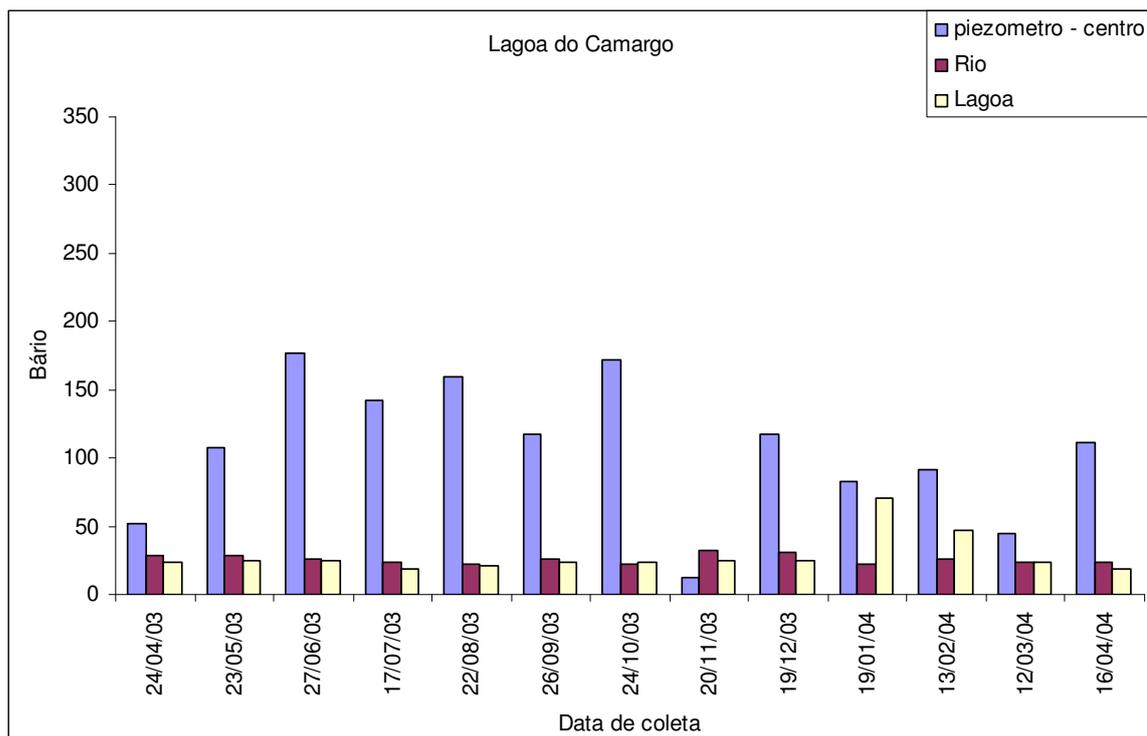


FIGURA 70: Gráfico dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Camargo.

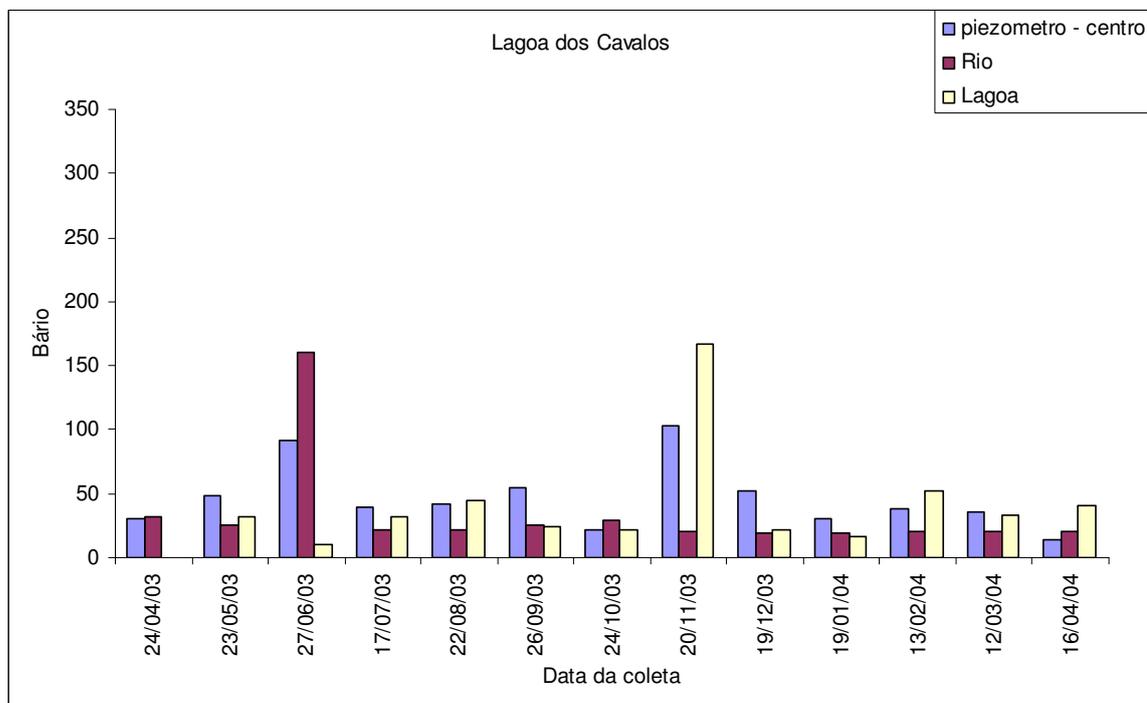


FIGURA 71: Gráfico dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa dos Cavalos.

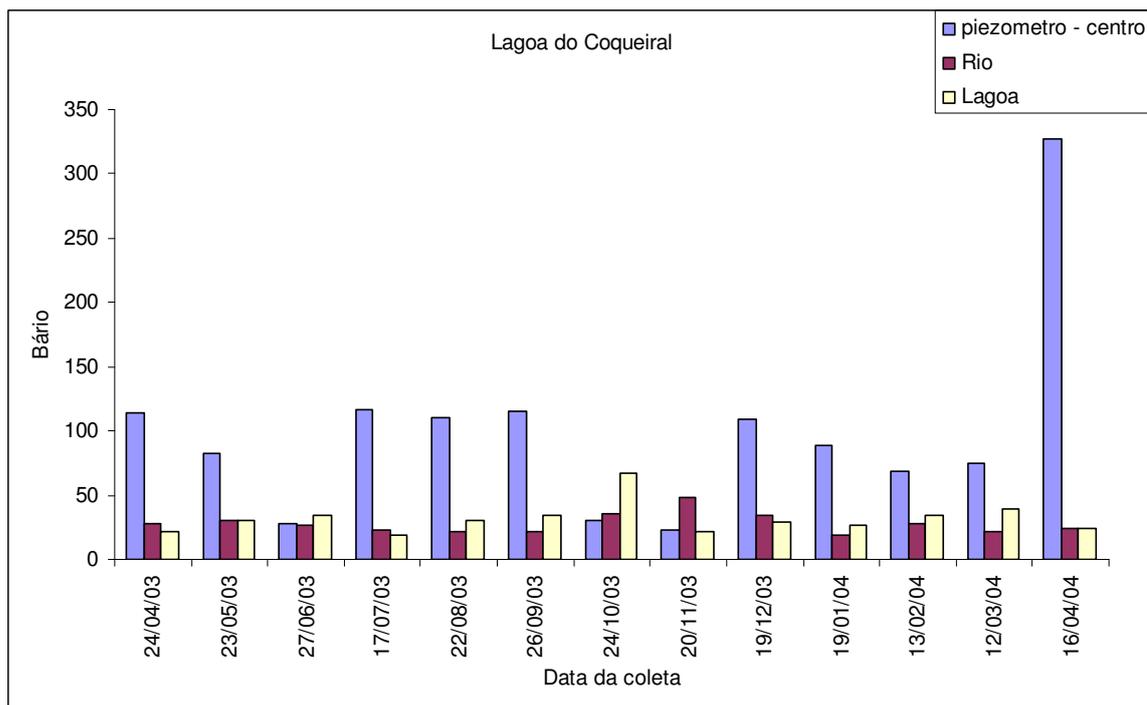


FIGURA 72: Gráfico dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) na água subterrânea do poço central, na água do rio e na água da lagoa do sistema Lagoa do Coqueiral.

Observando o gráfico de dispersão de bário na escala temporal, de acordo com o ambiente, nota-se que com o passar do tempo há uma leve queda na sua concentração. Notamos que os valores para o sistema Lagoa do Coqueiral estão menos dispersos que para os demais (Figura 73).

Considerando-se os compartimentos é possível identificar que a água subterrânea apresenta maior variabilidade nos valores de bário e a água do rio, a menor (Figura 74).

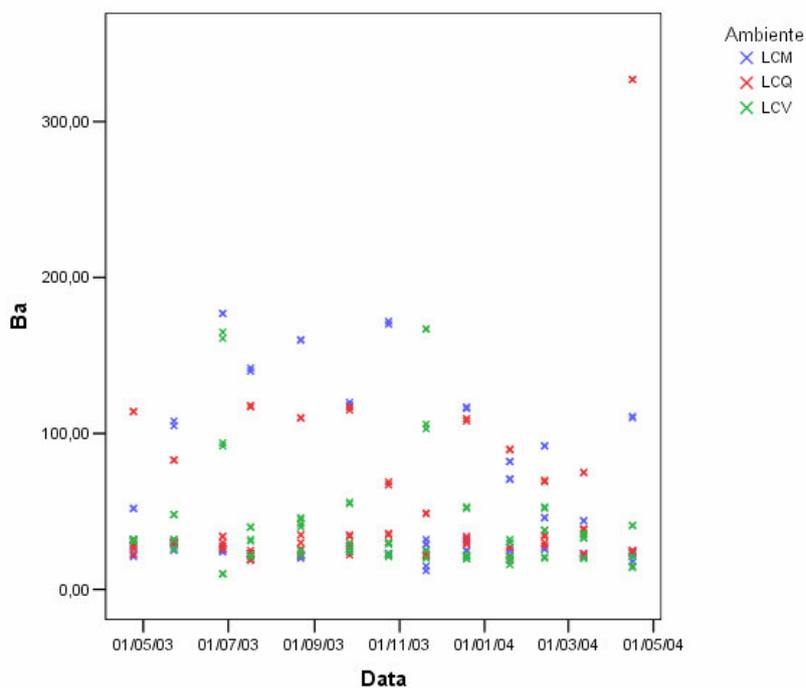


FIGURA 73: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

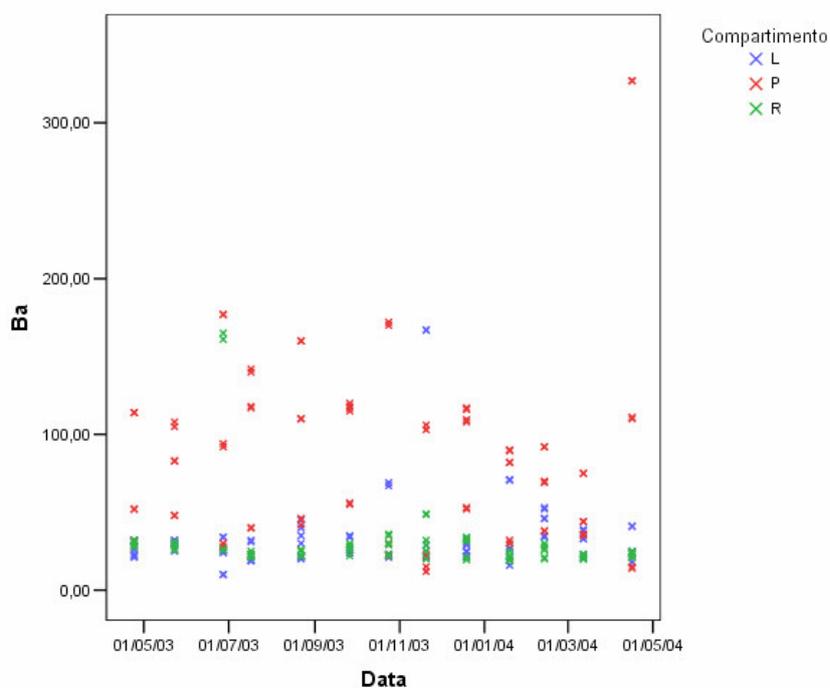


FIGURA 74: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de bário ($\mu\text{g /L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa – L e Rio - R).

Utilizando um modelo linear generalizado com a concentração do bário como variável resposta (TABELA 43), verificamos que existe influência do ambiente e do compartimento nos teores desse elemento. Para tempo, não evidências estatísticas para afirmar que exerce influência na variável resposta. Há efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do ambiente no Ba depende do compartimento.

O resultado do teste de *Tukey* para a diferença das médias da concentração do bário entre os ambientes e os compartimentos (TABELA 44), mostrou existir pequena influência do sistema na concentração de bário, mas o teste mostra não haver diferenças significantes. Quanto aos compartimentos, há diferença significativa entre a concentração média de bário na água subterrânea e nas águas superficiais (L e R).

TABELA 43 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de bário nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | 0,0423 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | 0,3895 | Não rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 44 – Teste de Tukey para a diferença das médias de bário nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | NÍVEIS | Média | Agrupamento de <i>Tukey</i> * |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------------------|
| Ambiente | LCM | 53,596 | A |
| Ambiente | LCQ | 53,353 | A |
| Ambiente | LCV | 40,660 | A |
| Compartimento | P | 84,282 | A |
| Compartimento | L | 33,756 | B |
| Compartimento | R | 29,571 | B |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.3.5.7 Zinco e Cobalto

Os teores de zinco e cobalto apresentaram valores inferiores a 10 µg/L. em todos os sistemas e compartimentos em aproximadamente 80% dos dados obtidos no presente estudo.

A Figura 75 mostra o gráfico de dispersão abaixo mostra a variabilidade dos valores de concentração de zinco na escala temporal, de acordo com o ambientes. Observamos que a influência do tempo e do ambiente na concentração de Zn é pequena.

Quando relacionamos os compartimentos no gráfico de dispersão dos valores de concentração de zinco na escala temporal (Figura 76), percebemos que os teores da água subterrânea estão mais dispersos e são maiores que as concentrações dos outros compartimentos (água do rio e água da lagoa).

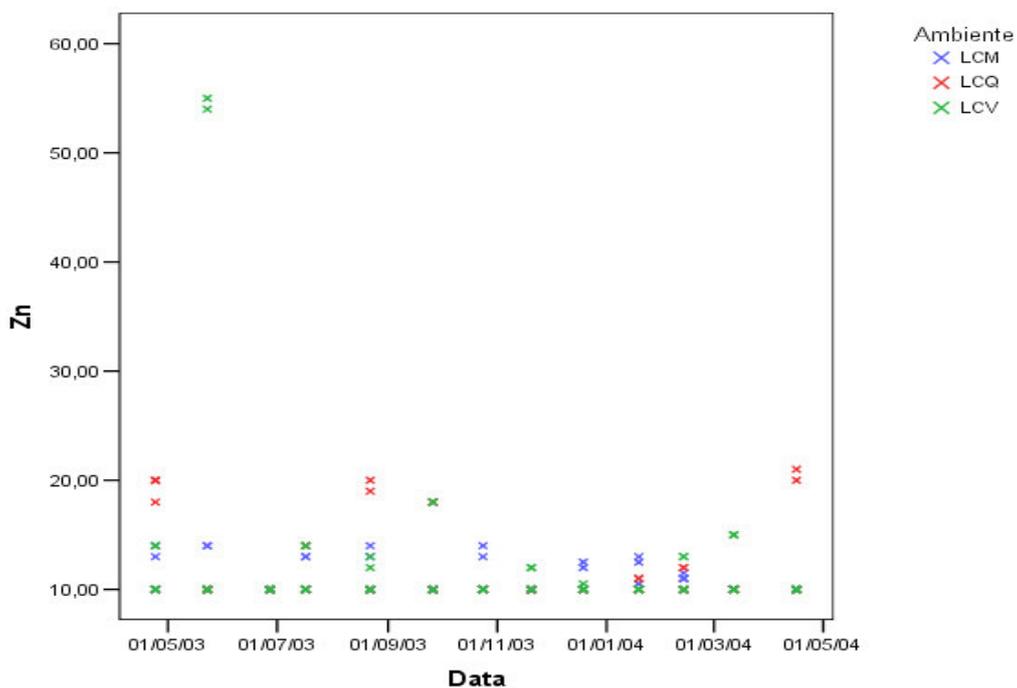


FIGURA 75: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de zinco ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

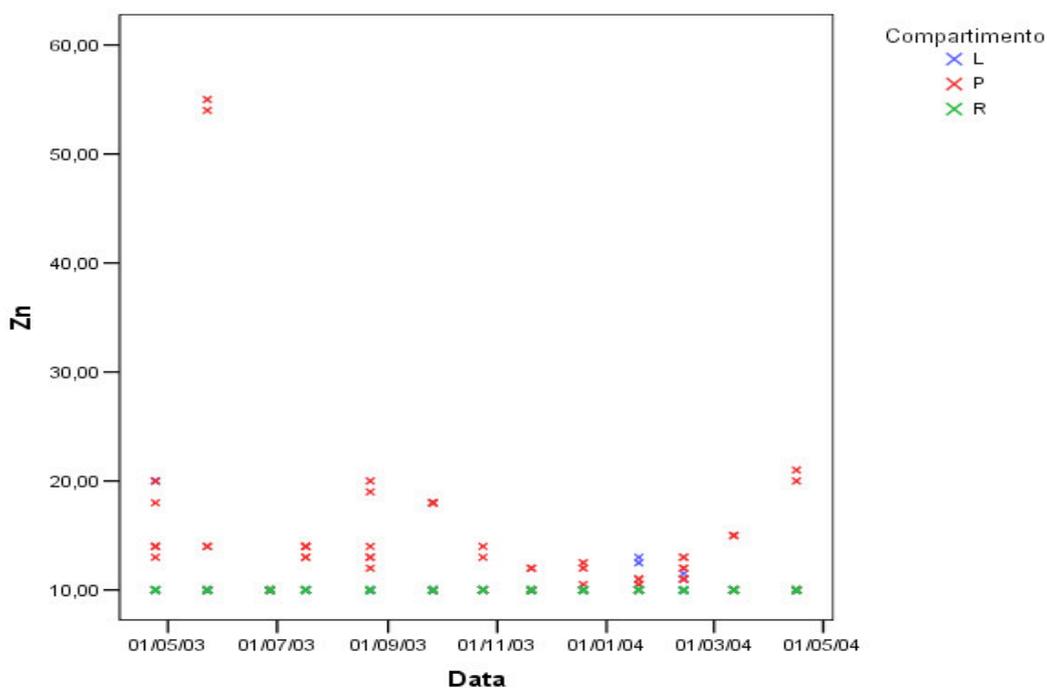


FIGURA 76: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de zinco ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

Utilizando um modelo linear generalizado com o zinco como variável resposta, verificamos que o compartimento e o tempo exercem influência nos valores desse elemento (TABELA 45). Porém, provavelmente a influência do tempo foi detectada devido aos dois pontos atípicos com valores acima de 50 µg/L. Não há evidências para afirmar que existe efeito do ambiente e da interação entre ambiente e compartimento na concentração de Zn.

TABELA 45 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de zinco nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | 0,1773 | Não rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | 0,0097 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | 0,0610 | Não rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

Verificamos que o compartimento e o tempo exercem influência nos valores do zinco. Porém, provavelmente a influência do tempo foi detectada devido aos dois pontos atípicos com valores acima de 50 µg/L. Não há evidências para afirmar que existe efeito do ambiente e da interação entre ambiente e compartimento no zinco.

O resultado do teste de *Tukey* para a diferença das médias do zinco entre os compartimentos (TABELA 46), mostra que existem diferenças significantes entre o compartimento P e os demais compartimentos.

TABELA 46 – Teste de Tukey para a diferença das médias de zinco nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de <i>Tukey</i> * |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------------------|
| Compartimento | P | 13,5513 | A |
| Compartimento | L | 10,3590 | B |
| Compartimento | R | 10,0000 | B |

* Nível de Significância: 5%

** Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

Para a concentração de cobalto, o gráfico de dispersão mostra (Figura 77) que os valores para o sistema Lagoa do Camargo diminuem com o tempo e que nesse ambiente, maiores teores do elemento foram encontrados que nos demais. Os valores nos dois outros ambientes são iguais e permanecem constantes ao longo do tempo.

Considerando-se os compartimentos, o gráfico de dispersão dos valores de cobalto na escala temporal (Figura 78), mostra que os valores da água subterrânea são maiores e estão dispersos. Para a água do rio e da lagoa, os valores são iguais e constantes.

Utilizando um modelo linear generalizado com o cobalto como variável resposta (TABELA 47), nota-se que o ambiente, o compartimento e o tempo exercem influência nas concentrações do elemento. Existe efeito da interação entre ambiente e compartimento indicando que o efeito do compartimento no Co depende do ambiente.

O resultado do teste de *Tukey* (TABELA 48) para a diferença das médias do cobalto entre os ambientes e os compartimentos, mostra que existem diferenças significantes entre o sistema Lagoa do Camargo e os demais e entre a água subterrânea e as águas superficiais (L e R).

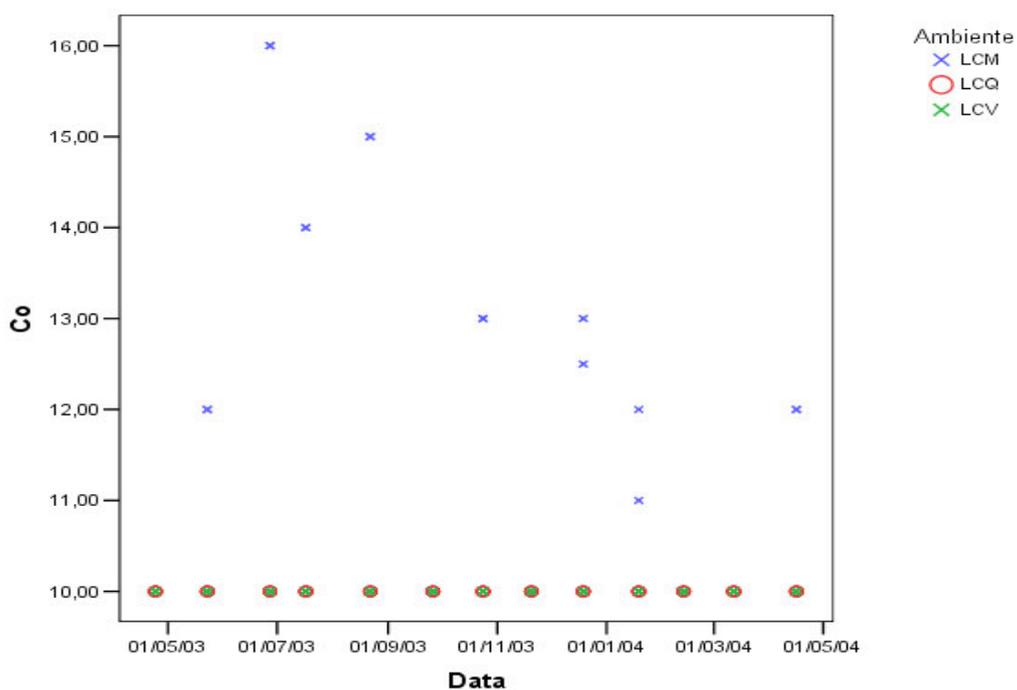


FIGURA 77: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cobalto ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

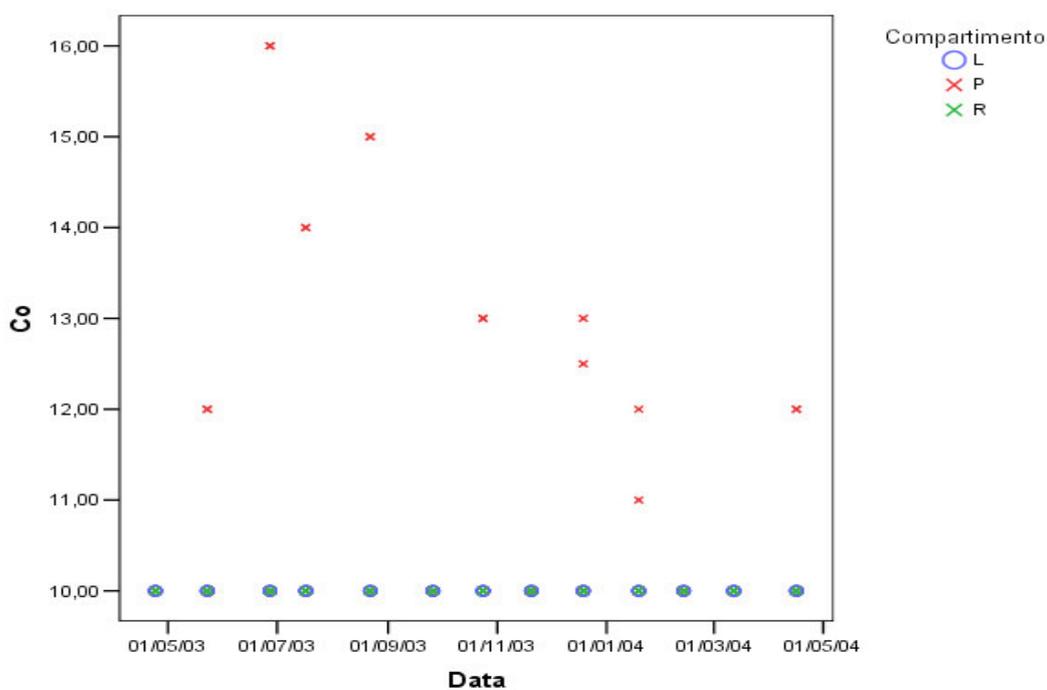


FIGURA 78: Gráfico de dispersão no tempo dos valores de concentração de cobalto ($\mu\text{g/L}$) nos diferentes compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

TABELA 47 – Valores de p na análise de modelo linear generalizado para os valores de cobalto nos ambientes e compartimentos.

| FATOR | VALOR_P | CONCLUSÃO * |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Modelo | <0,0001 | Rejeita a hipótese.** |
| Ambiente | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |
| Tempo | 0,0126 | Rejeita a hipótese. |
| Ambiente* Compartimento | <0,0001 | Rejeita a hipótese. |

* Nível de Significância: 5%

** Hipótese: Existe efeito do fator na variável resposta.

TABELA 48 – Teste de Tukey para a diferença das médias de bário nos ambientes e compartimentos.

| Fator | Níveis | Média | Agrupamento de Tukey * |
|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| Ambiente | LCM | 10,67 | A |
| Ambiente | LCQ | 10,00 | B |
| Ambiente | LCV | 10,00 | B |
| Compartimento | P | 10,67 | A |
| Compartimento | L | 10,00 | B |
| Compartimento | R | 10,00 | B |

* Nível de Significância: 5%

**Interpretação: Médias com a mesma letra não possuem diferenças significantes.

4.4 Análise de componentes principais

A TABELA 49 apresenta um resumo da estatística obtida inicialmente, onde são mostrados os autovalores obtidos para cada componente, depois de submeter à matriz à rotação Varimax (onde o valor de corte é igual a 1,0), onde temos a fração explicada por cada componente e a porcentagem acumulada. Em função do critério dos autovalores acima de 1,0, os cinco componentes foram considerados como significativos, sendo que a porcentagem da variabilidade acumulada explicada por eles é 70% da variabilidade total dos elementos. Observa-se que o primeiro

componente é responsável por 31%, o segundo 13%, o terceiro 11%, o quarto 8%, a quinta 7%, indicando que cada vez menos variabilidade é explicada, à medida que o autovalor da componente diminui.

TABELA 49 – Análise de componentes principais das variáveis estudadas

| Componente | Autovalores | % da Variância | % da Variância Acumulado |
|------------|-------------|----------------|--------------------------|
| 1 | 4,28 | 30,6 | 30,6 |
| 2 | 1,87 | 13,4 | 44,0 |
| 3 | 1,53 | 11,0 | 54,9 |
| 4 | 1,09 | 7,8 | 62,7 |
| 5 | 1,02 | 7,3 | 70,0 |

Com as três primeiras componentes explicamos a maior parte da variabilidade dos dados (Figura 79). A TABELA 50 apresenta as componentes retidas e sua matriz dos fatores.

TABELA 50 – Peso das componentes na análise de componentes principais das variáveis estudadas

| Variável | 1. ^a COMPONENTE | 2. ^a COMPONENTE | 3. ^a COMPONENTE |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| pH | -0,532 | 0,119 | -0,434 |
| Condutividade elétrica | 0,230 | 0,645 | 0,573 |
| NT | -0,052 | -0,142 | 0,019 |
| PT | -0,053 | 0,254 | 0,863 |
| Ca | 0,811 | 0,383 | -0,240 |
| Mg | 0,767 | 0,451 | -0,236 |
| Na | 0,031 | -0,125 | 0,138 |
| Al | 0,573 | -0,435 | 0,080 |
| Mn | 0,927 | -0,014 | -0,089 |
| Ba | 0,717 | -0,323 | 0,100 |
| Zn | 0,426 | 0,552 | -0,247 |
| Co | 0,713 | -0,217 | 0,012 |
| Mo | -0,092 | -0,001 | -0,126 |

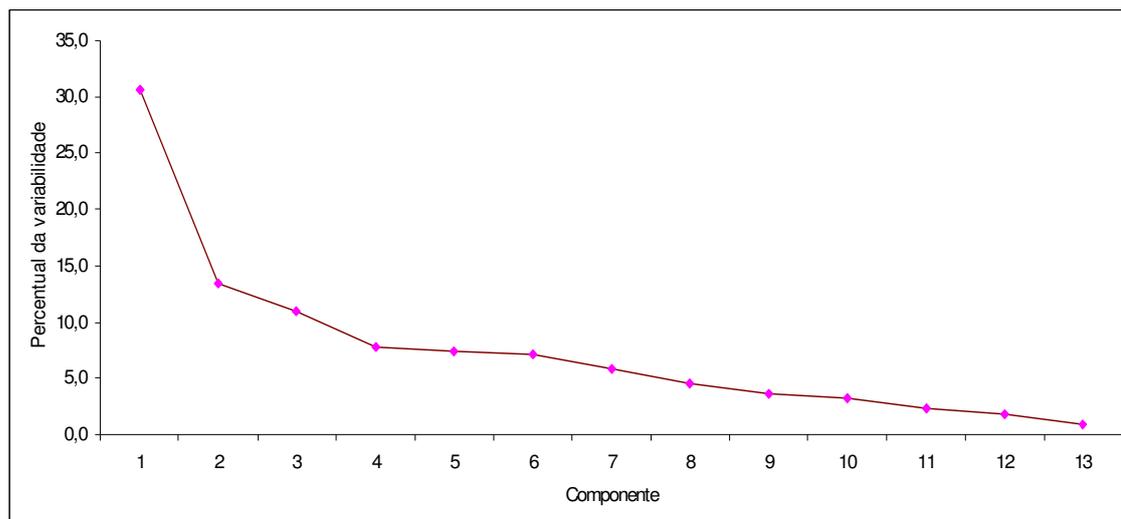


FIGURA 79: Gráfico do peso das componentes na variabilidade

Apesar de a variabilidade total explicada ser de 70%, a primeira, a segunda e a terceira componente explicam 55% da variabilidade na água bruta. Com intuito de auxiliar a interpretação da análise ACP, foi montada a TABELA 51, que contém as informações e salienta os elementos retidos em cada componente, a importância de cada componente na explicação da variabilidade dos elementos na água bruta.

TABELA 51 – Esquematização das informações da ACP para as variáveis estudadas

| Componente | ACP | | |
|------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| | Elementos retidos | % da Variância | % da Variância Acumulado |
| 1 | Ca, Mg, Al, Mn, Ba, Co | 30,6 | 30,6 |
| 2 | Condutividade elétrica, Zn | 13,4 | 44,0 |
| 3 | Condutividade elétrica, PT | 11,0 | 54,9 |

Os elementos retidos sugerem que a primeira componente está associada a fatores mineralógicos em conjunto com a dinâmica dos sistemas na liberação de

micronutrientes (principais cátions) do solo. A segunda e a terceira componentes sugerem uma possível associação ao uso e ocupação do solo nos ambientes estudados.

A Figura 80 mostra que com as duas primeiras componentes é possível distinguir os ambientes. O ambiente LCQ apresenta menor dispersão dos valores que os demais ambientes. Na primeira componente o ambiente LCM apresenta valores mais elevados e para a segunda componente o ambiente LCV assume essa condição.

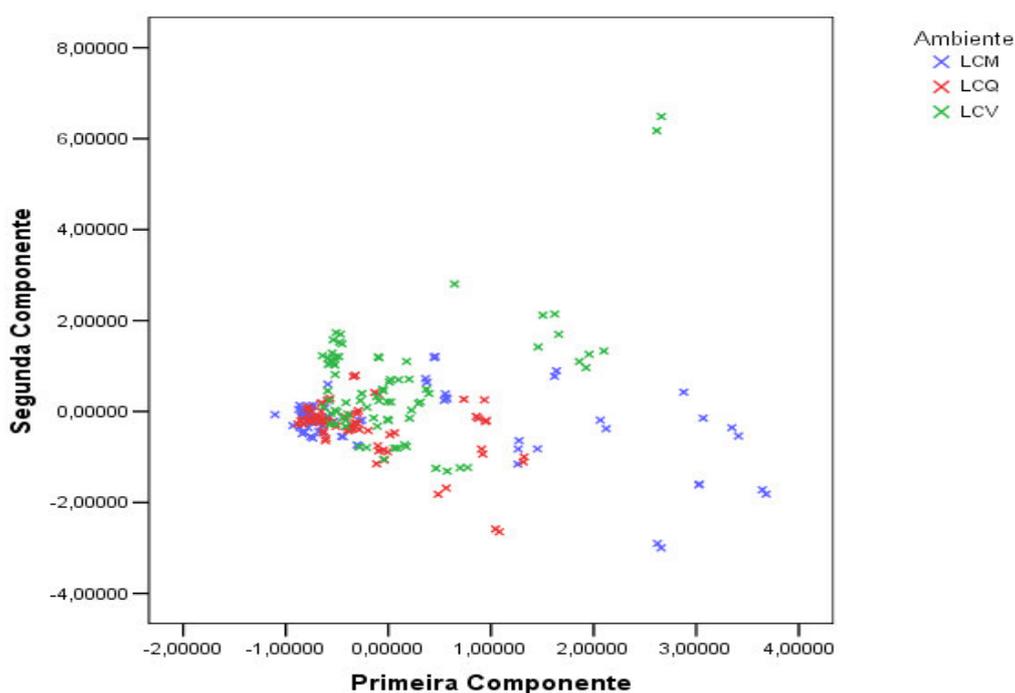


FIGURA 80: Gráfico de dispersão das duas primeiras componentes diferenciando os ambientes (Lagoa do Camargo, Lagoa do Coqueiral e Lagoa dos Cavalos).

A Figura 81 mostra a relação dos compartimentos com as duas componentes principais. Uma clara diferença entre a água subterrânea e as demais

águas superficiais (rio e lagoa) é reconhecida. O compartimento P apresenta valores mais altos que os outros, principalmente para a primeira componente.

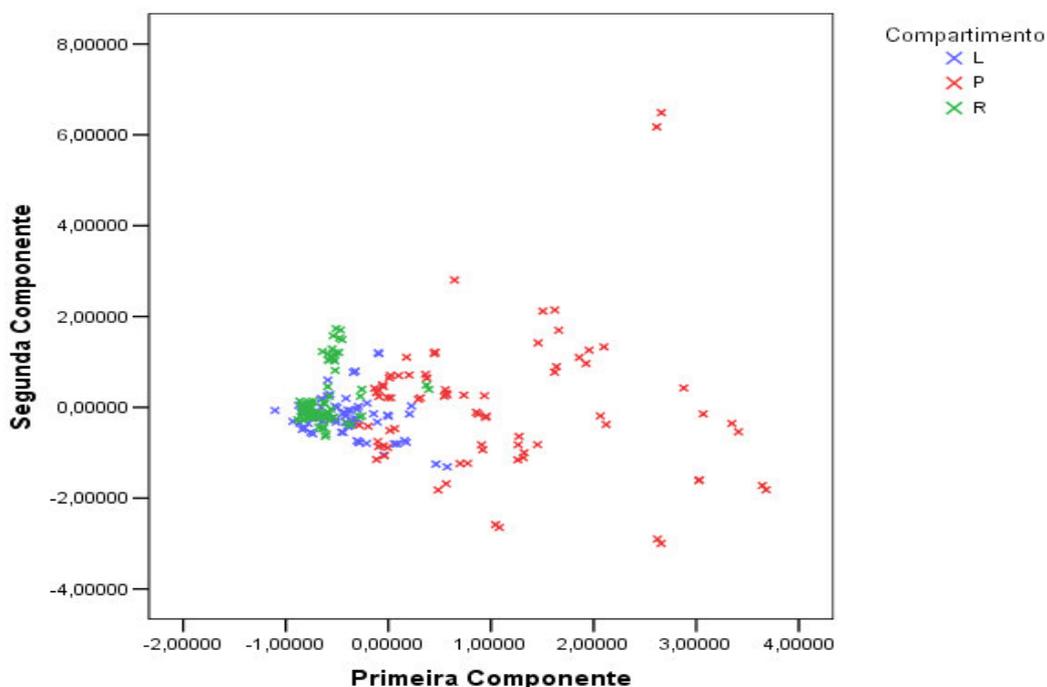


FIGURA 81: Gráfico de dispersão das duas primeiras componentes diferenciando os compartimentos (água subterrânea - P, Lagoa - L e Rio - R).

4.5 Direção do fluxo da água subterrânea

A seqüência de ilustrações abaixo (Figuras 82 a 106), mostra a variação temporal do sentido do fluxo da água nos sistemas estudados. De maneira geral, nos ambientes conectados, as alterações de direção ocorreram em função dos períodos de chuva e seca e do grau de conectividade do rio com a lagoa. O sistema isolado LCV não respondeu da mesma forma e velocidade aos pulsos indutores do direcionamento do fluxo da água que os demais.

A interação da água subterrânea com a superficial em sistemas naturais é ordenada, principalmente, pelo regime de precipitações. Em sistemas modificados, semelhantes ao do presente estudo, diversos fatores interagem na dinâmica desse processo. Segundo Brunke e Gonser (1997), a manutenção da integridade ecológica dos sistemas que envolvem a água subterrânea e fluvial é constantemente alterada pelas atividades humanas, com destaque para as reduções de conectividade, alteração dos processos de troca e contaminação com substâncias tóxicas e orgânicas.

A região escolhida para o presente estudo sofre influência direta do manejo do reservatório de Jurumirim, o primeiro de uma seqüência em cascata no rio Paranapanema. Segundo Henry (2005), na região de desembocadura dos tributários nas represas, os efeitos dos pulsos de inundação são fortemente atenuados, visto que a massa de água que forma o corpo dos reservatórios age com um sistema de amortecimento.

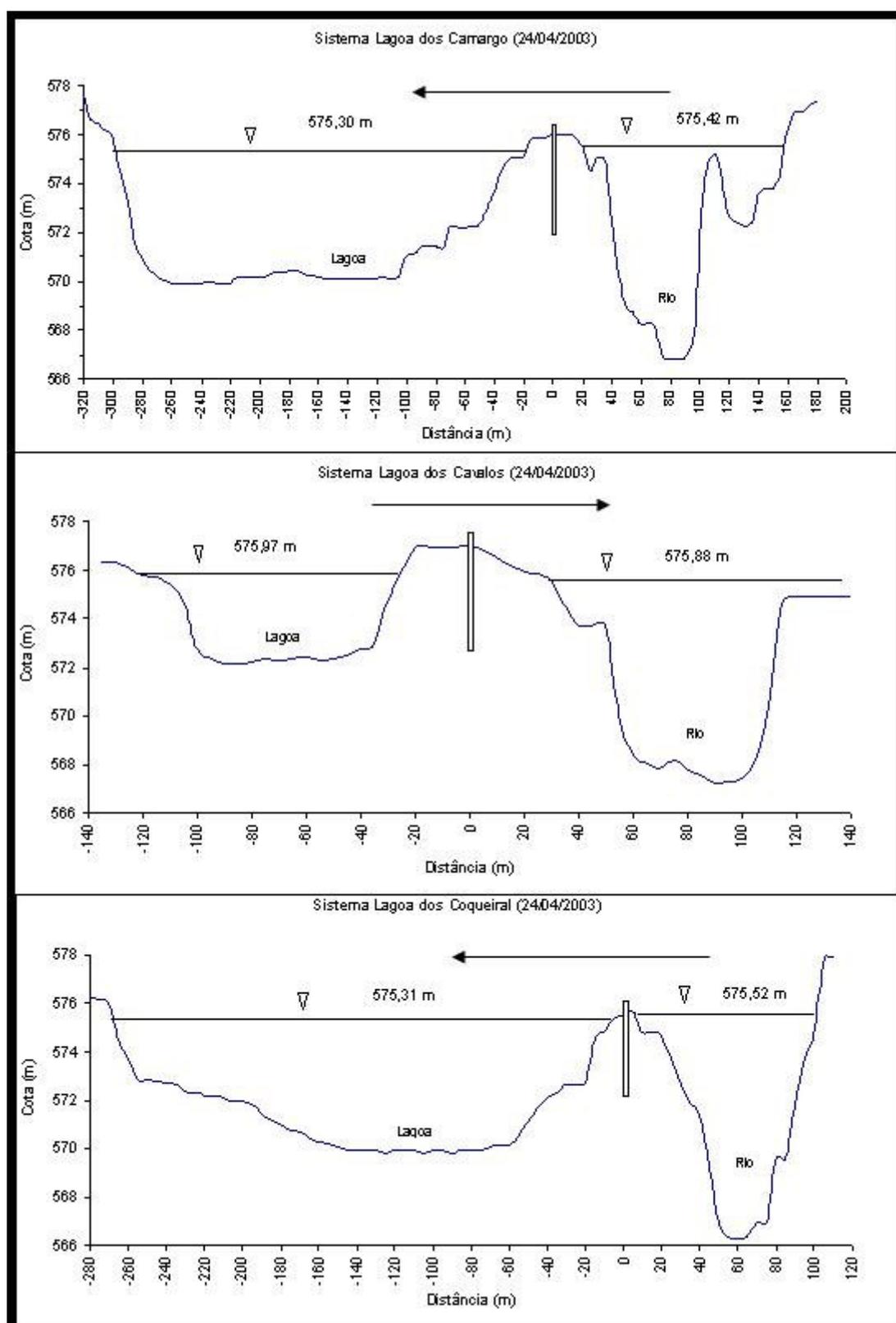


FIGURA 82: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em abril de 2003.

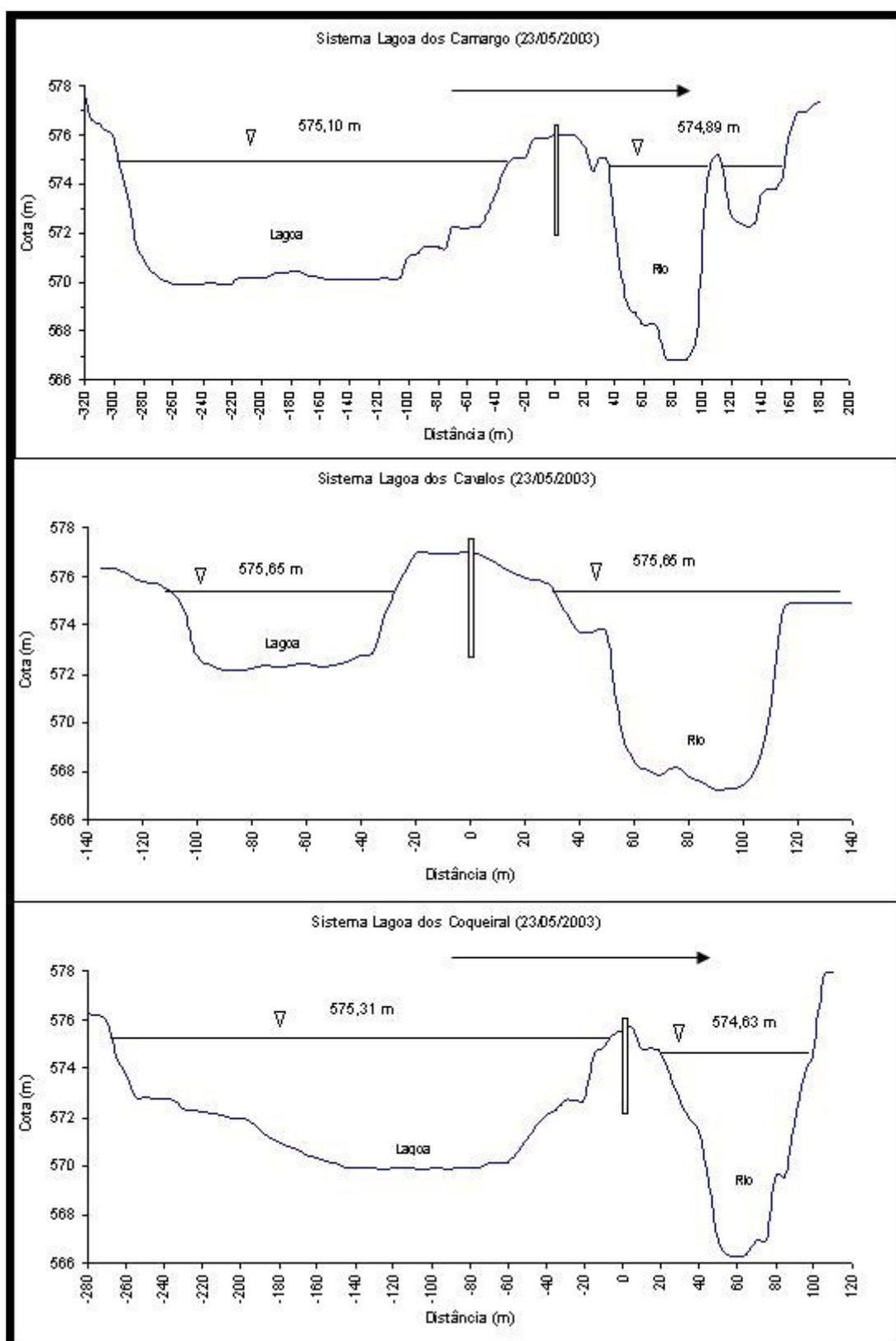


FIGURA 83: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em maio de 2003.

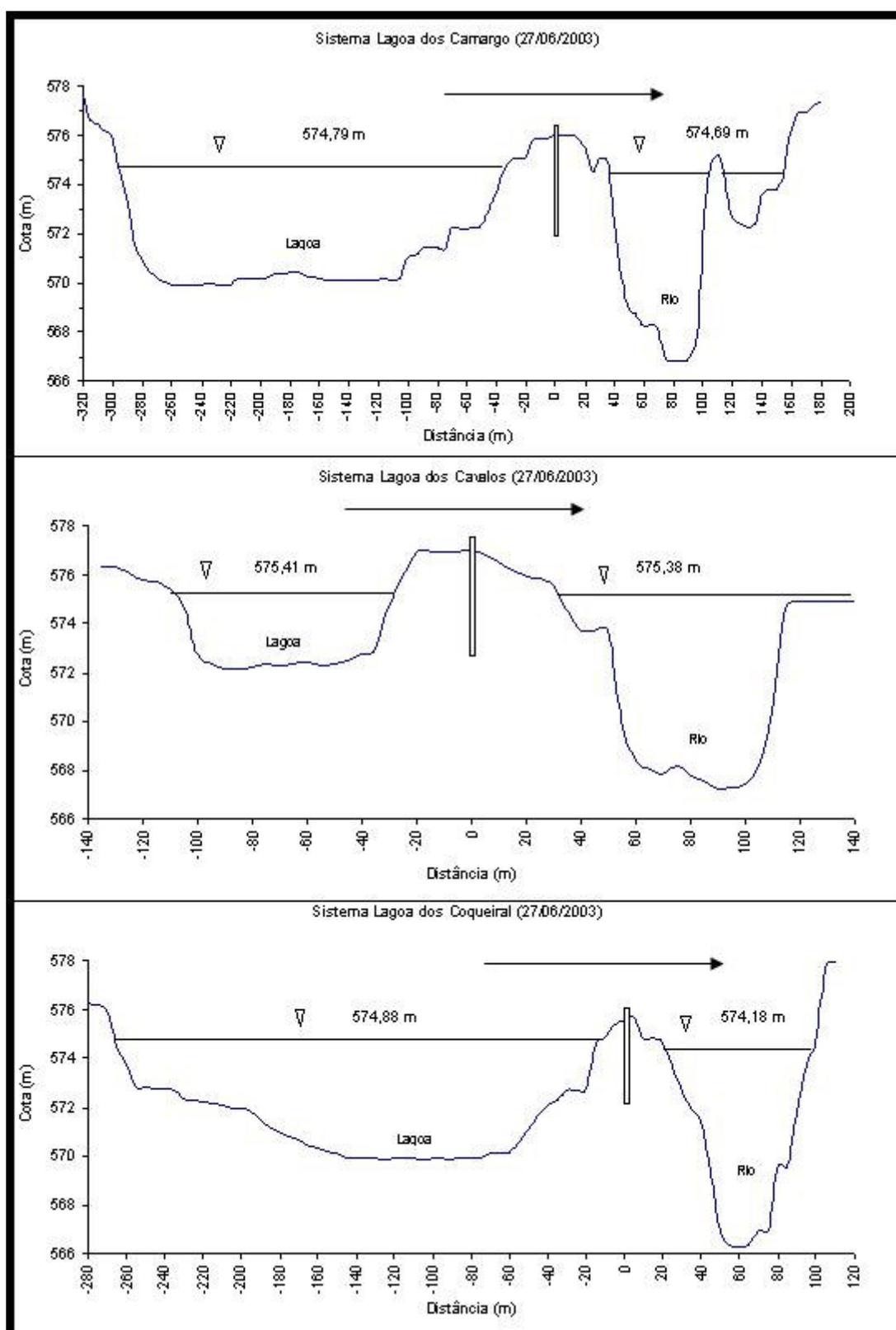


FIGURA 84: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em junho de 2003.

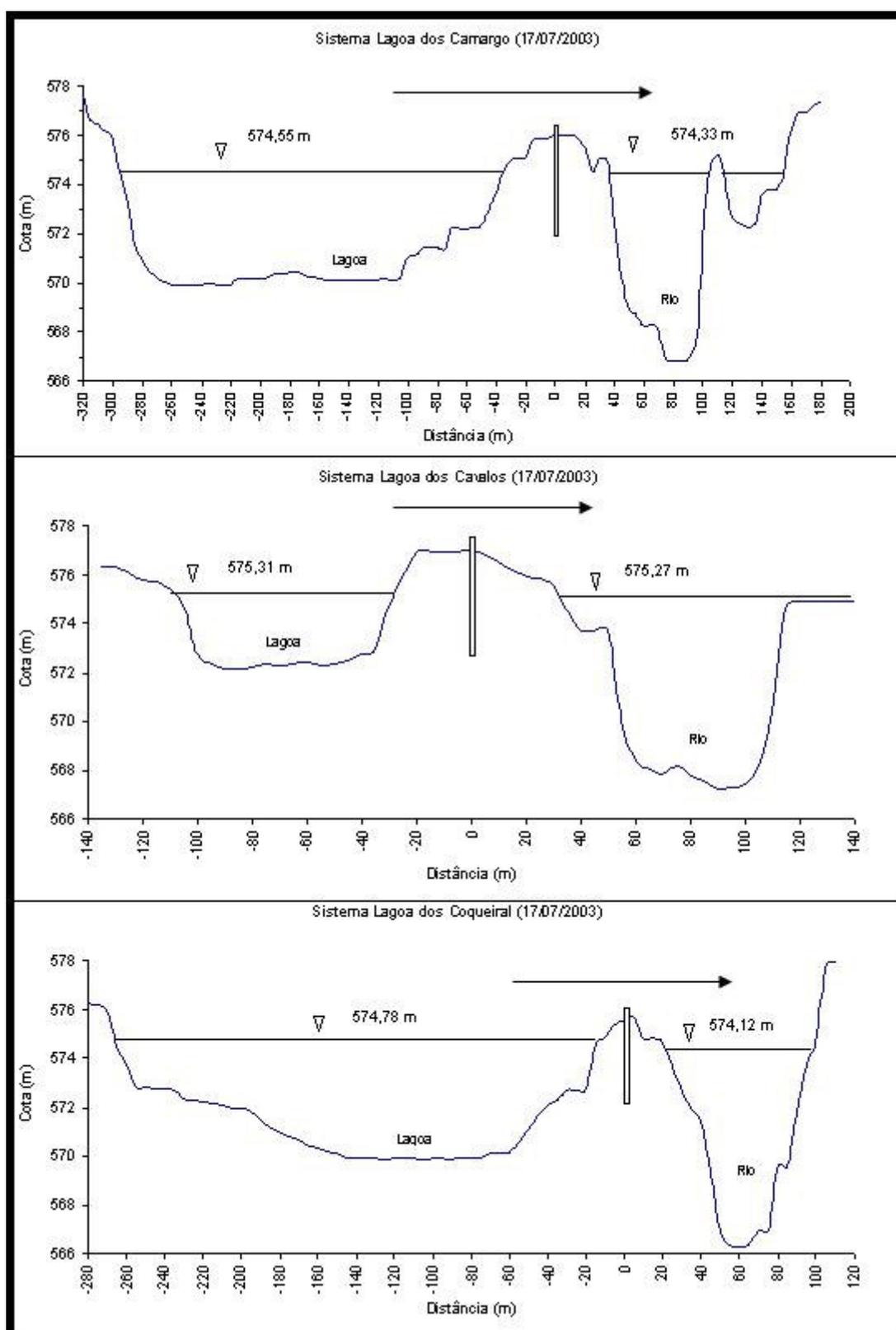


FIGURA 85: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em julho de 2003.

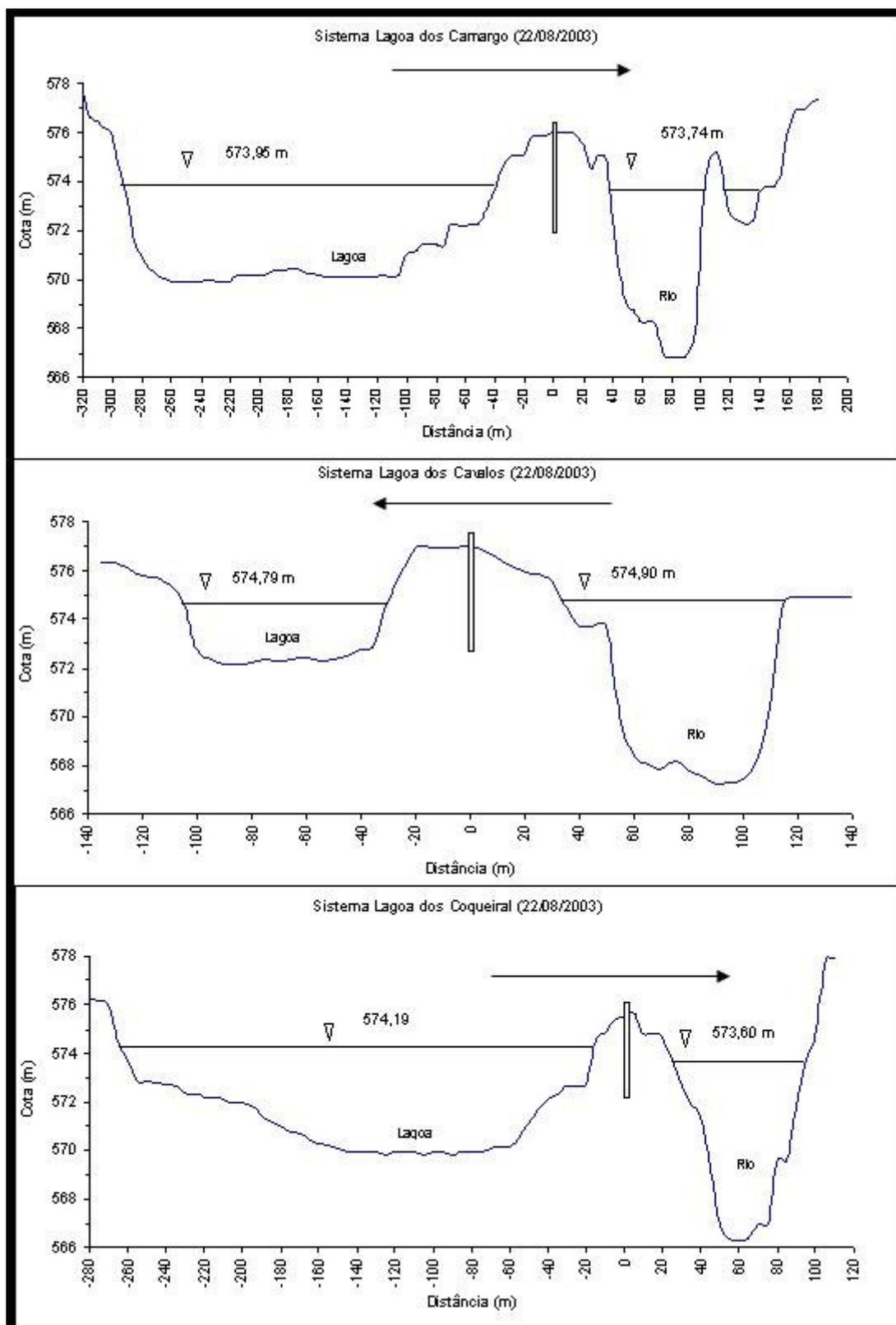


FIGURA 86: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em agosto de 2003.

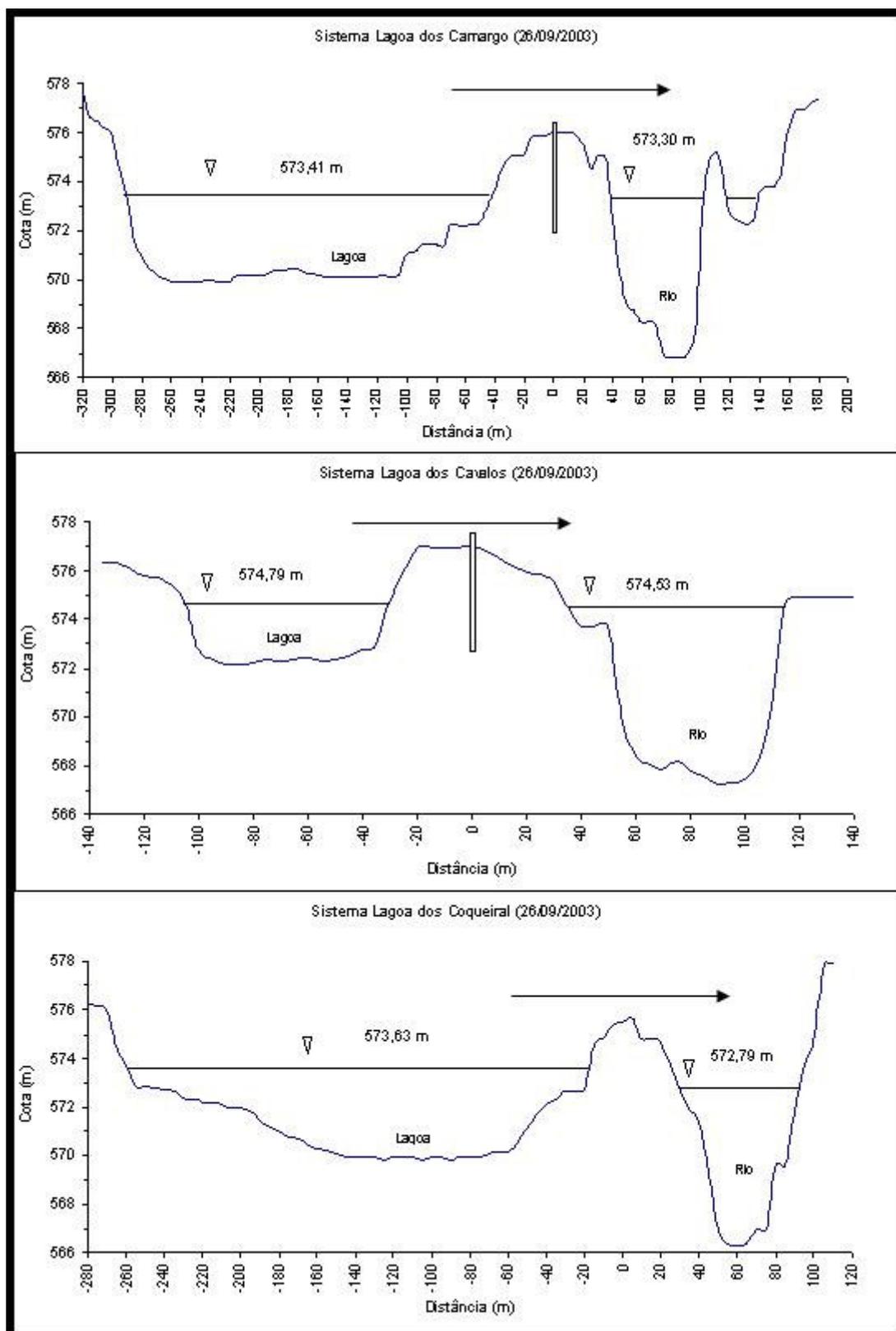


FIGURA 87: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em setembro de 2003.

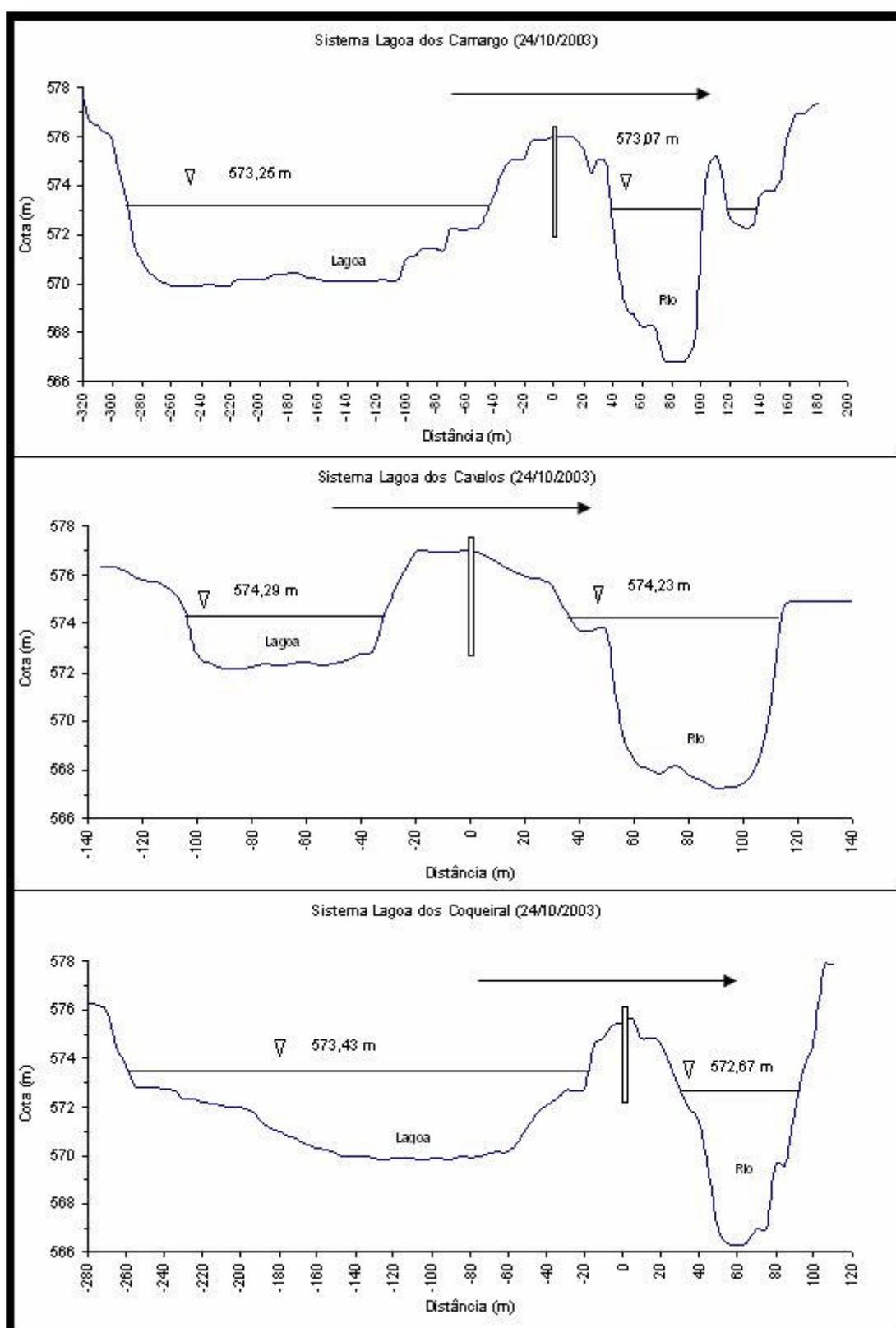


FIGURA 88: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em outubro de 2003.

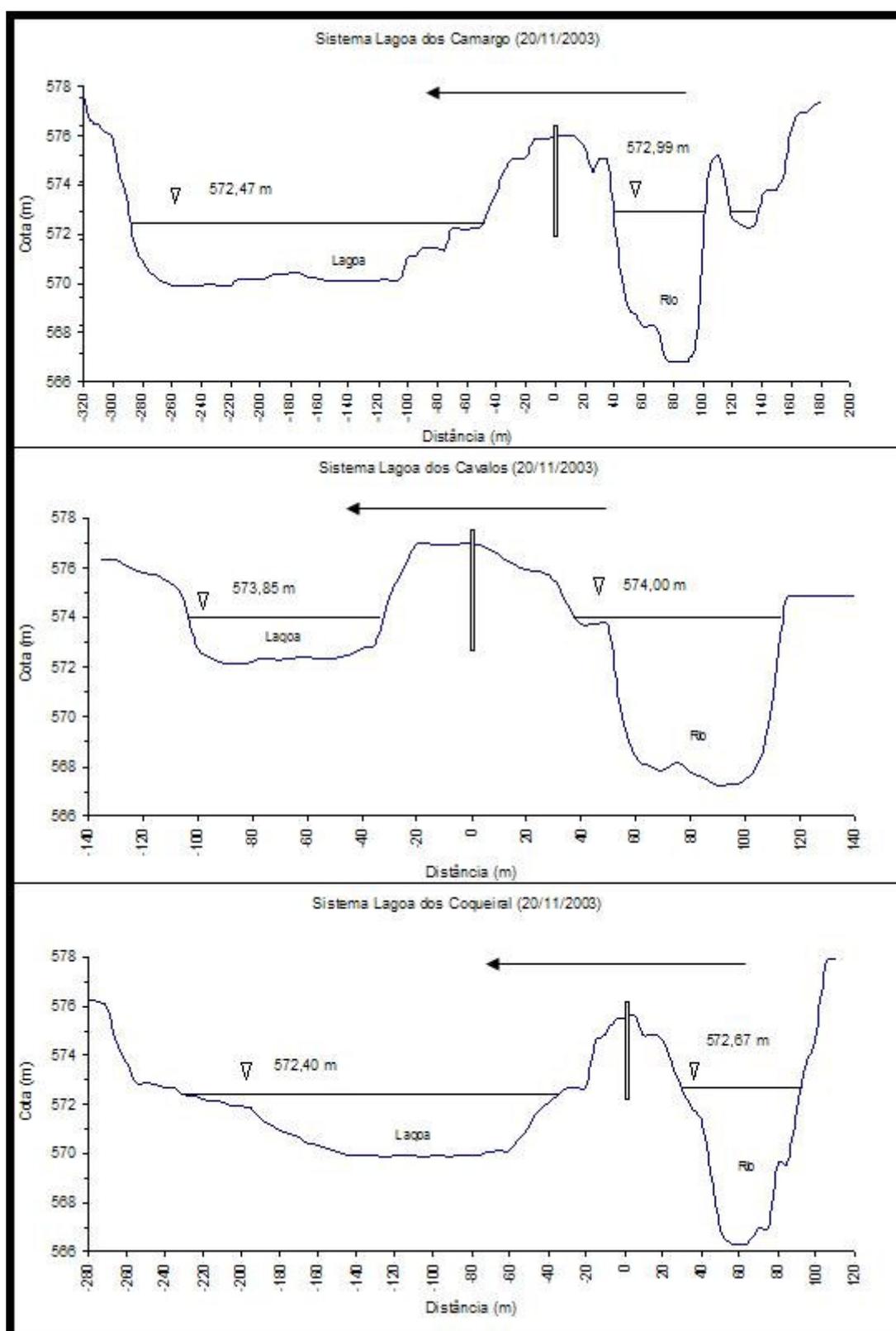


FIGURA 89: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em novembro de 2003.

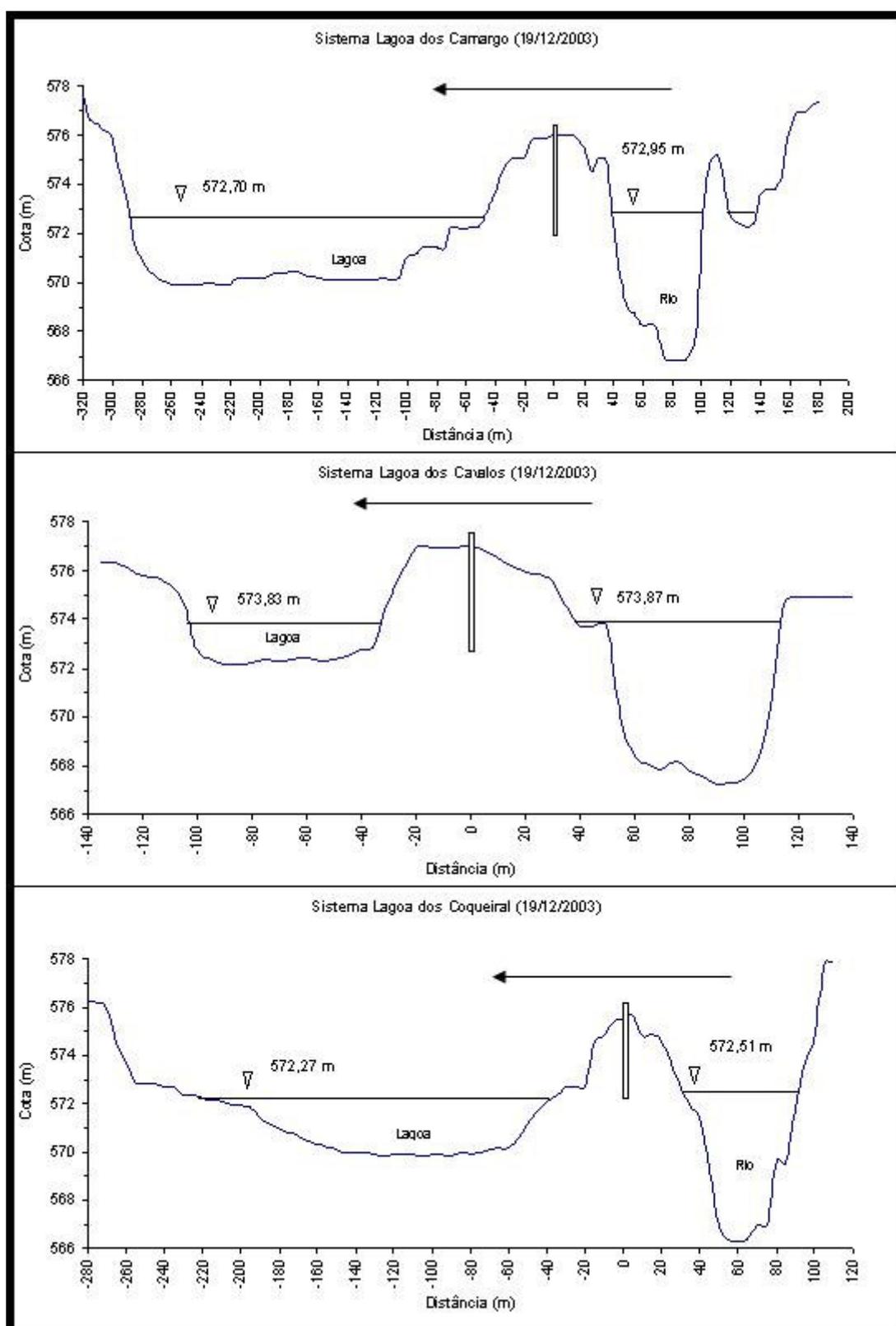


FIGURA 90: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em dezembro de 2003.

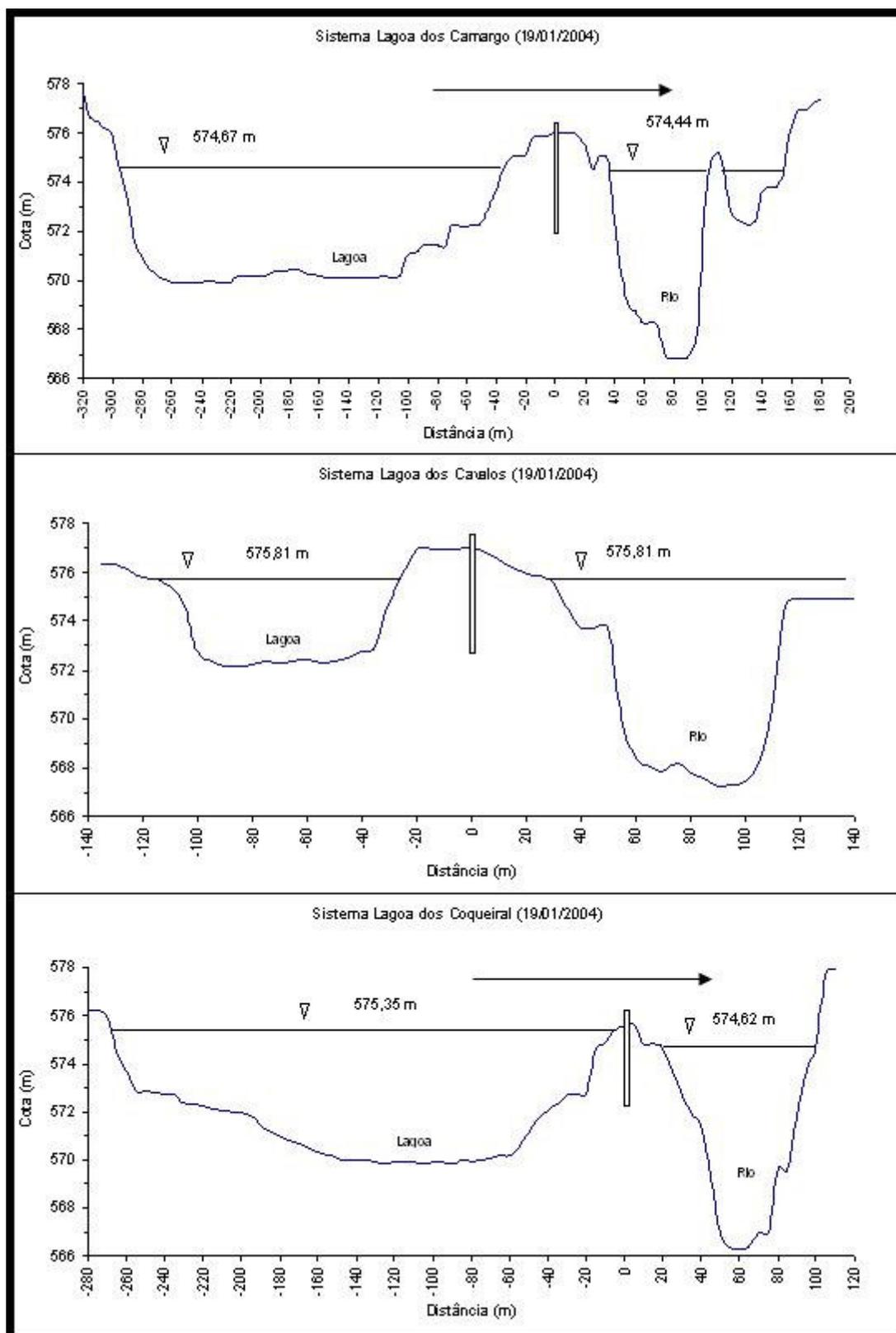


FIGURA 91: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em janeiro de 2004.

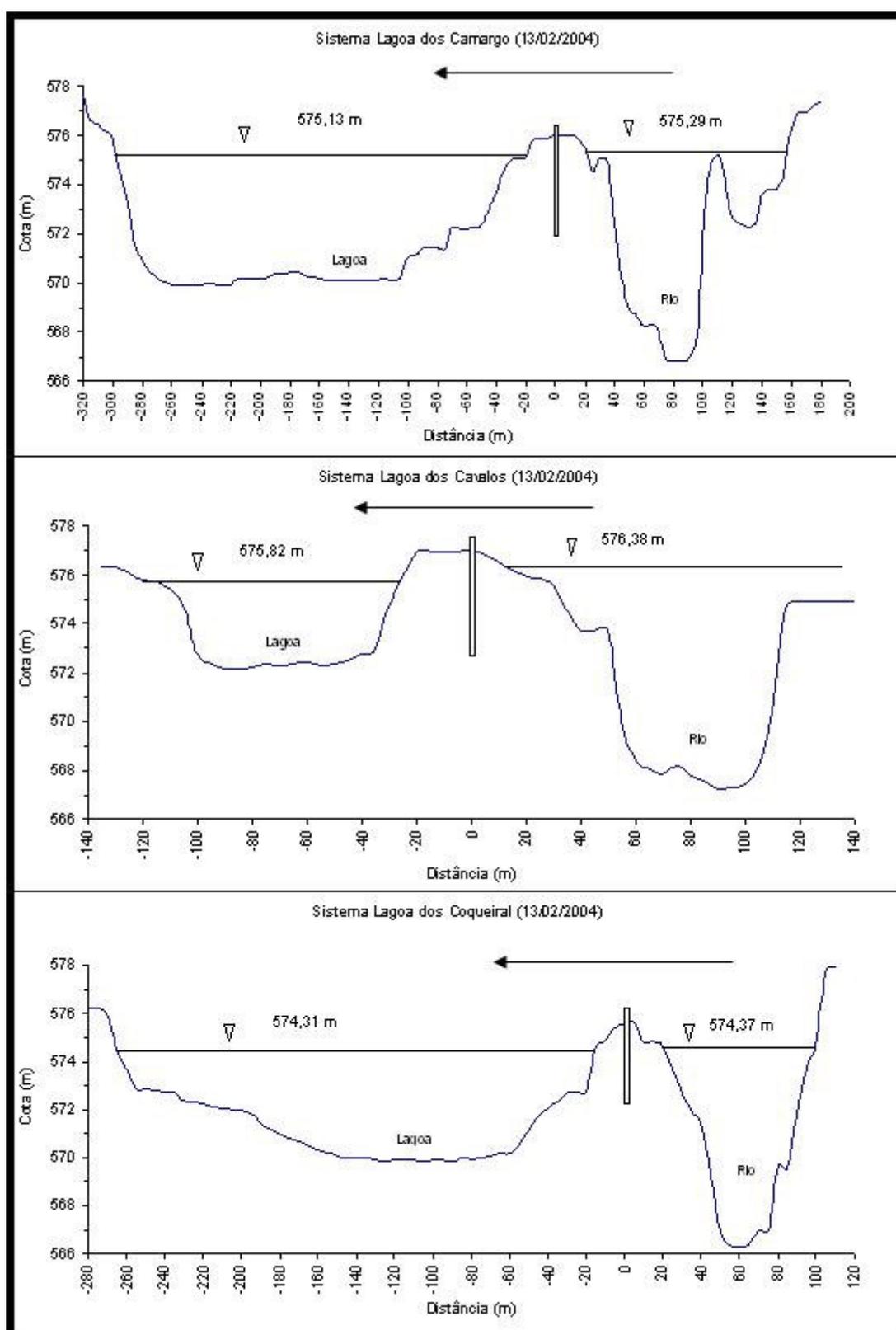


FIGURA 92: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em fevereiro de 2004.

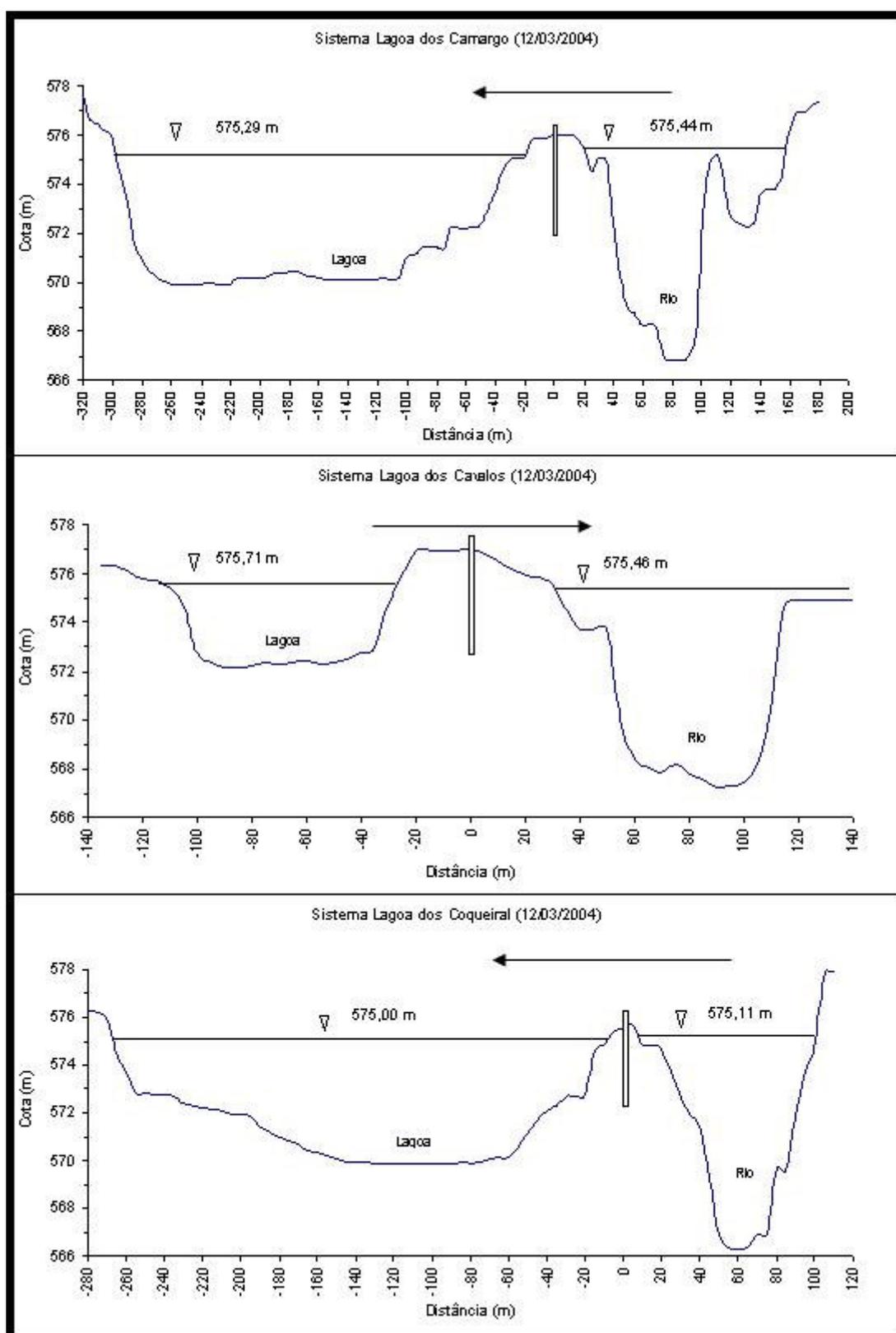


FIGURA 93: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em março de 2004.

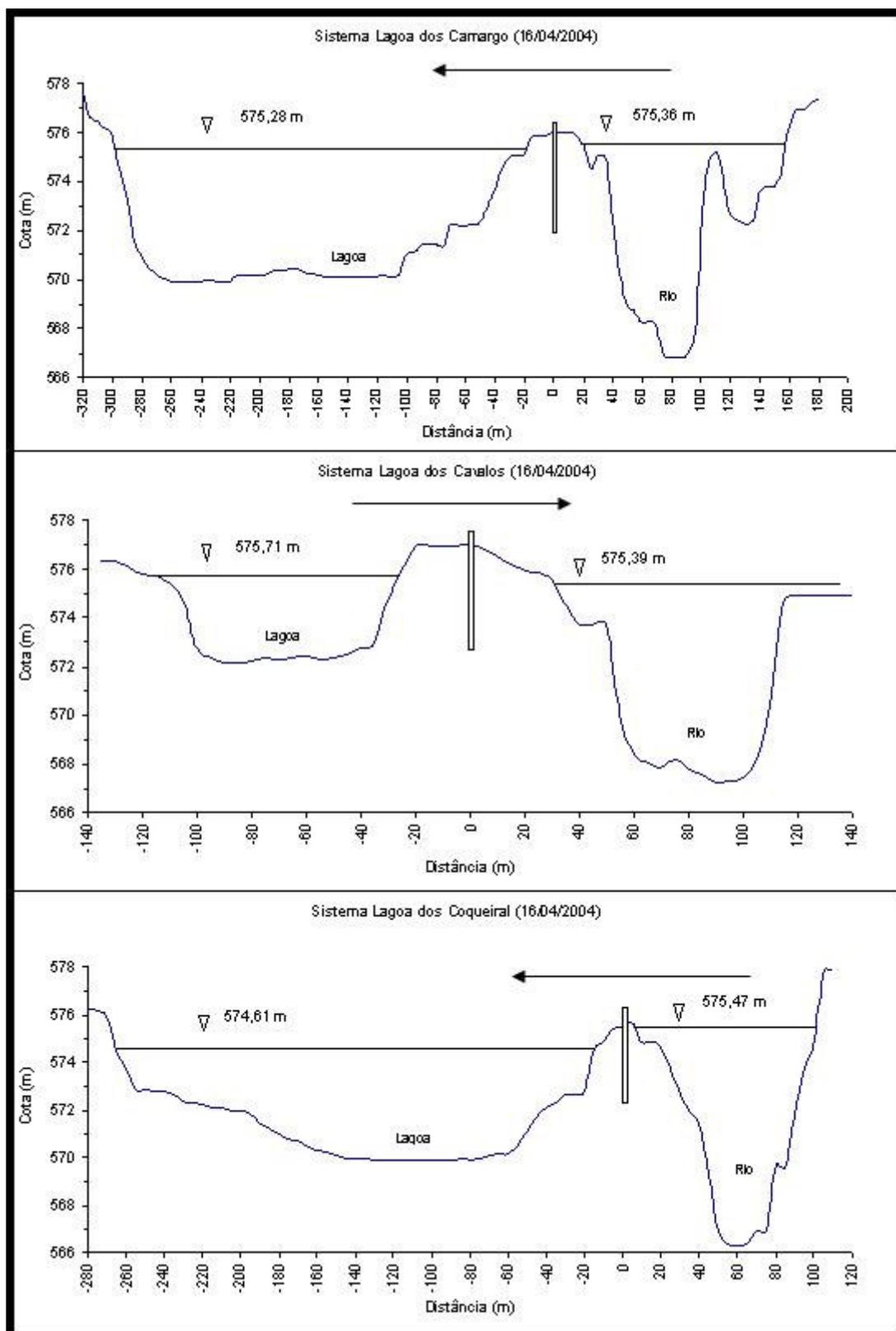


FIGURA 94: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em abril de 2004.

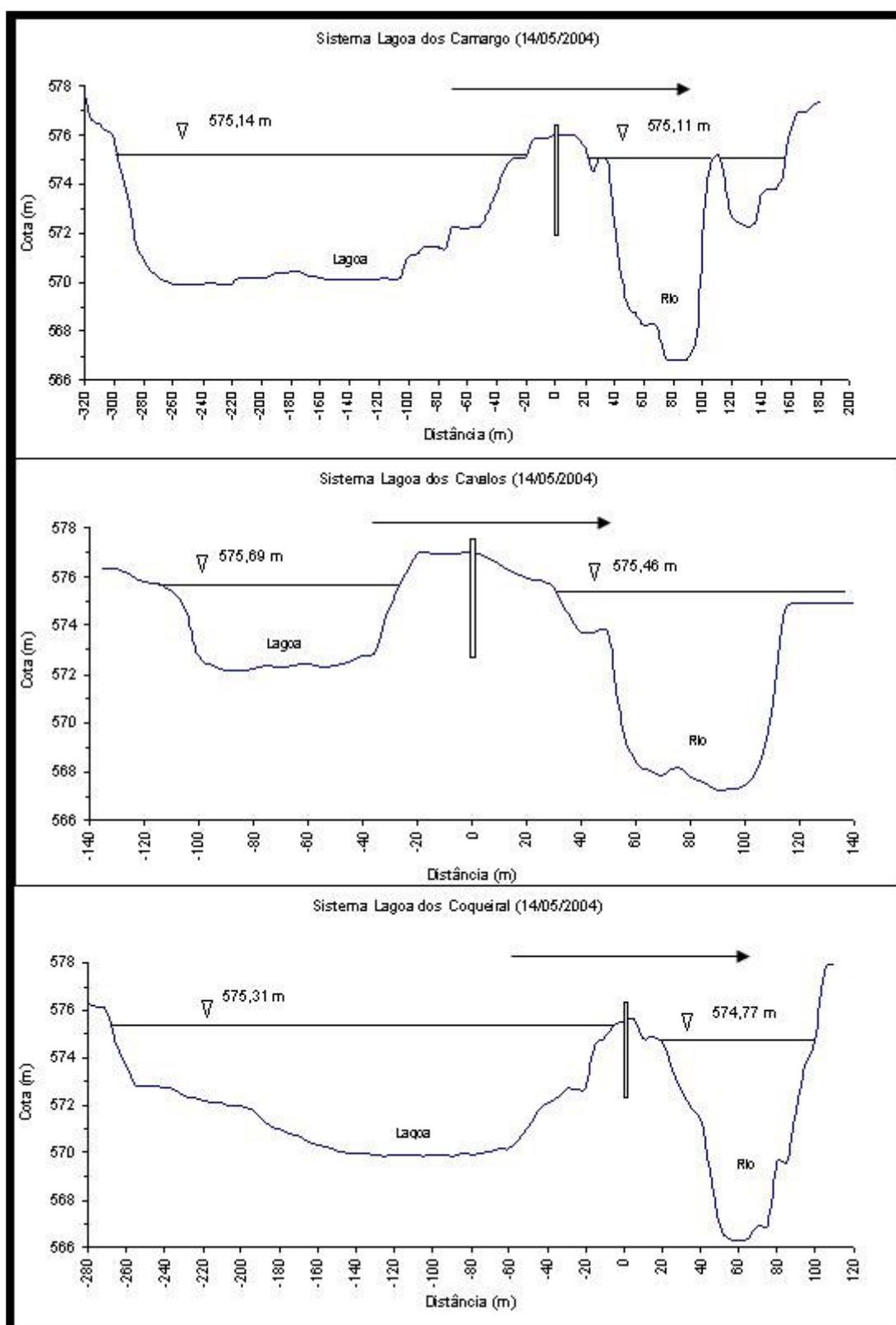


FIGURA 95: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em maio de 2004.

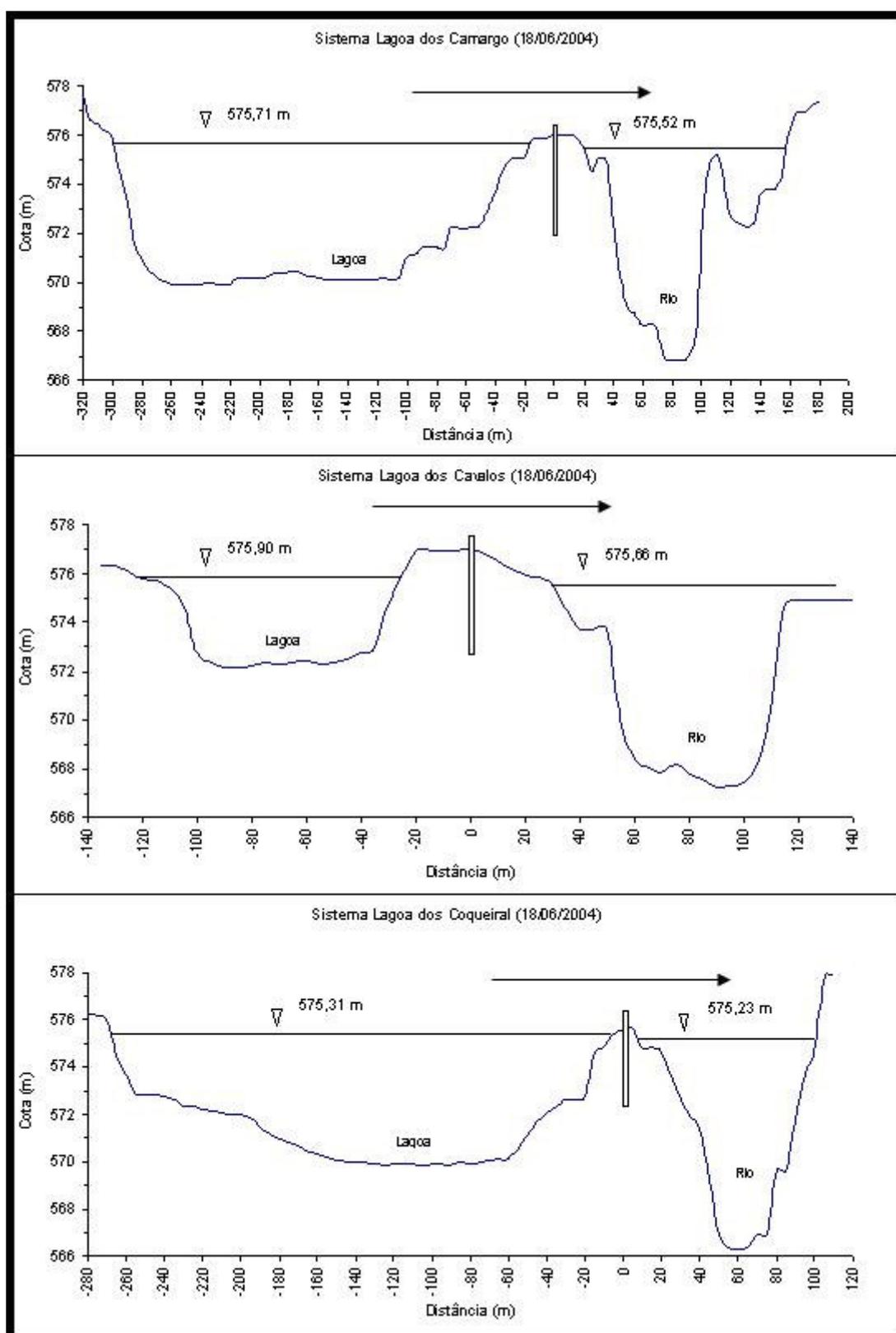


FIGURA 96: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em junho de 2004.

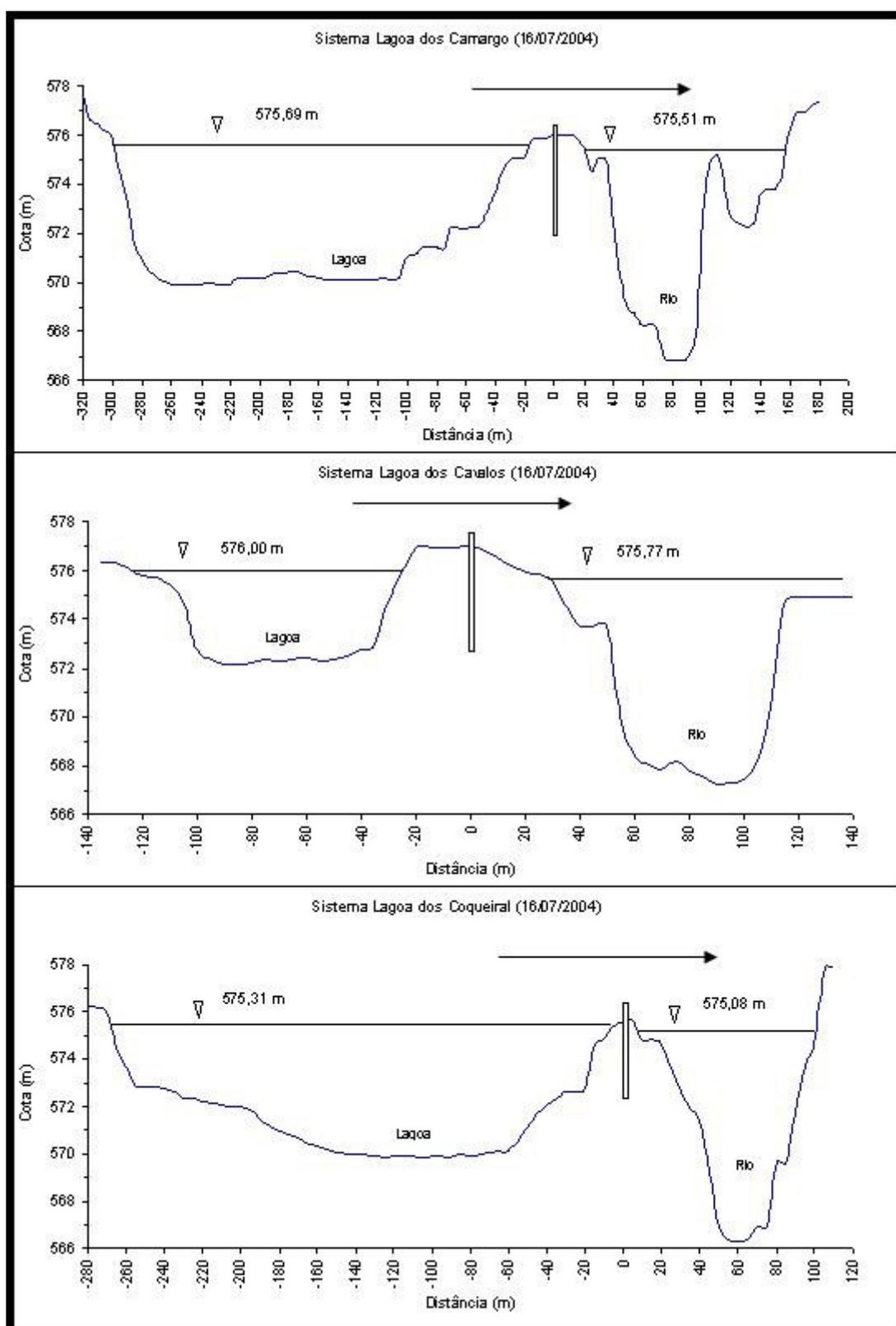


FIGURA 97: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em julho de 2004.

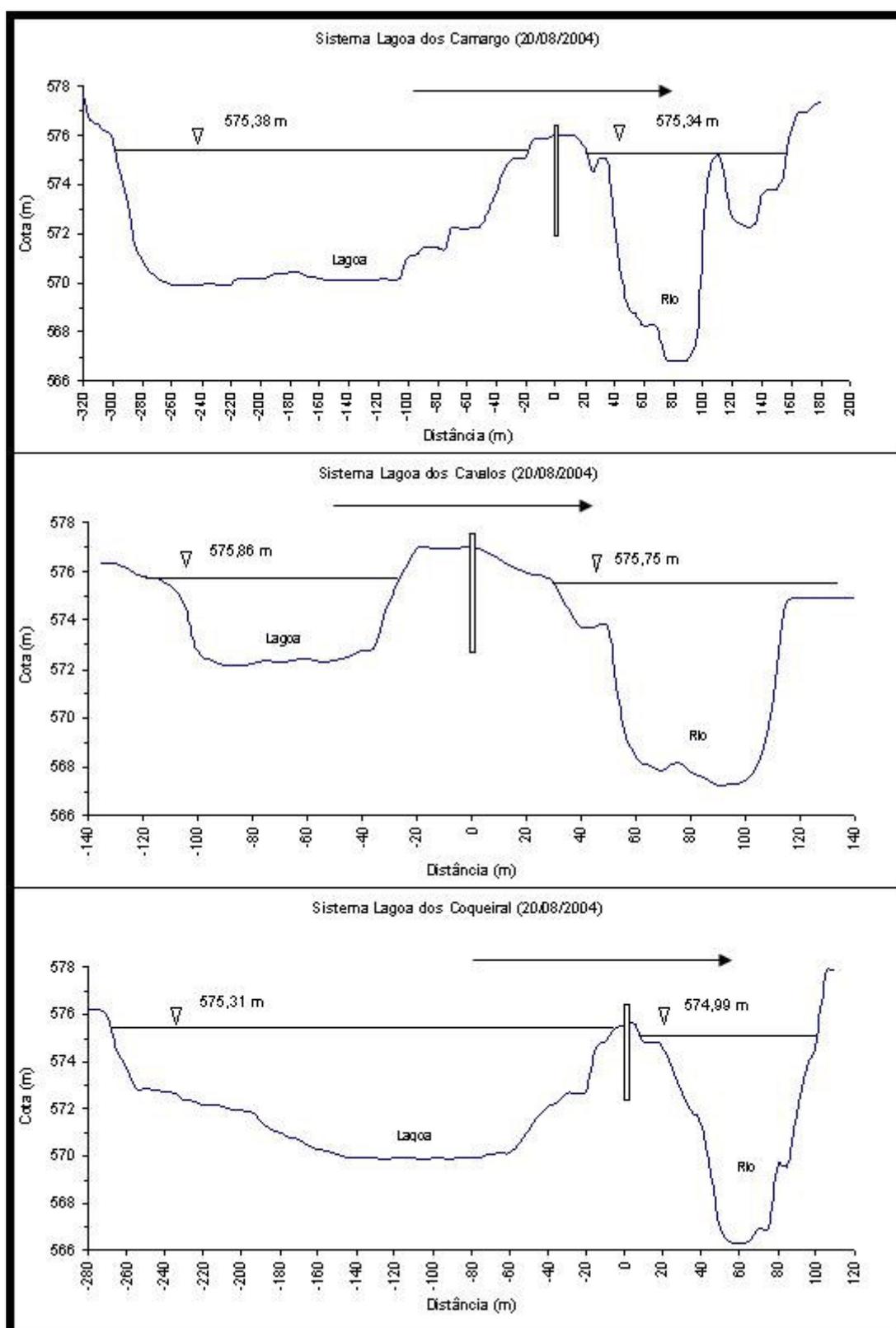


FIGURA 98: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em agosto de 2004.

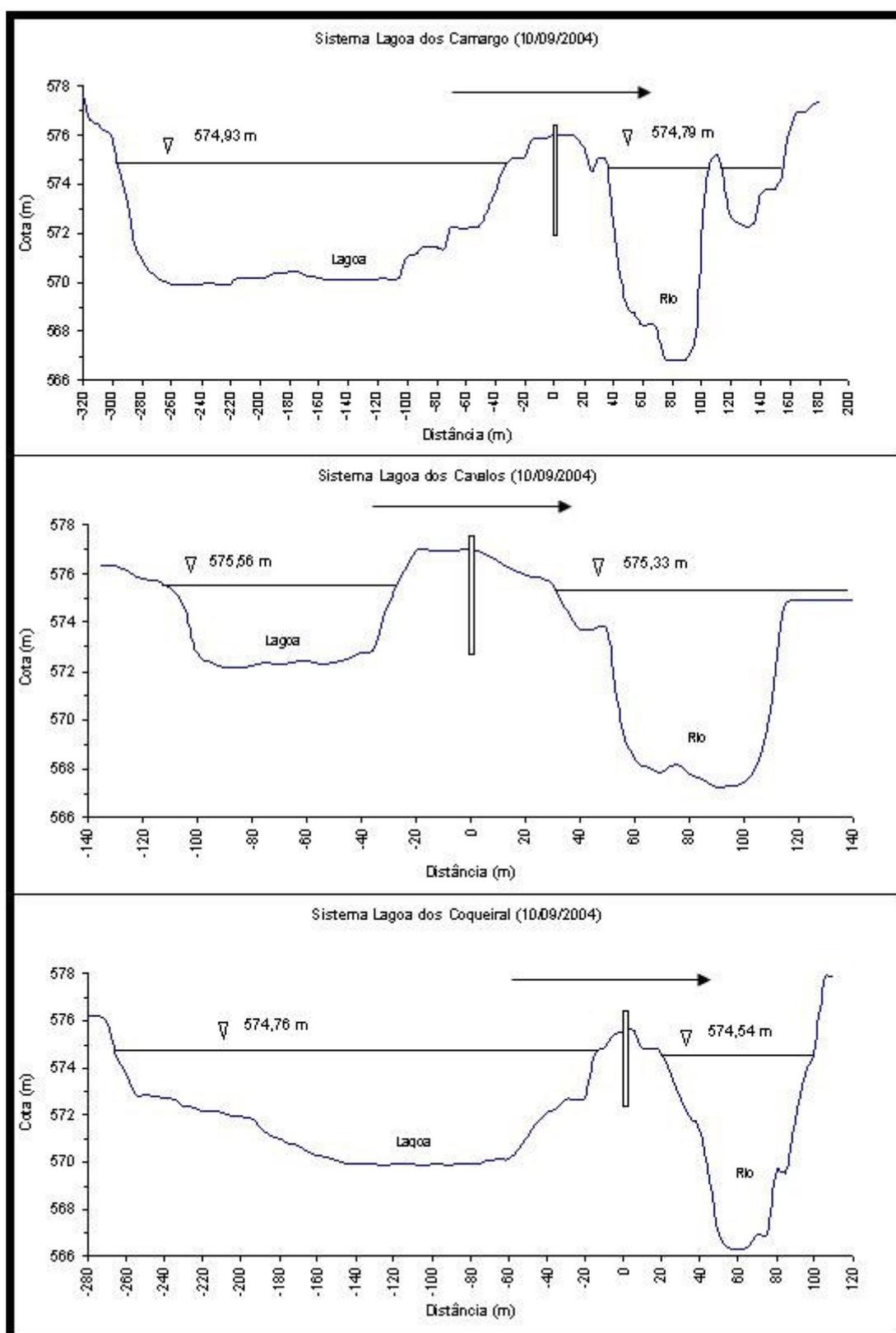


FIGURA 99: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em setembro de 2004.

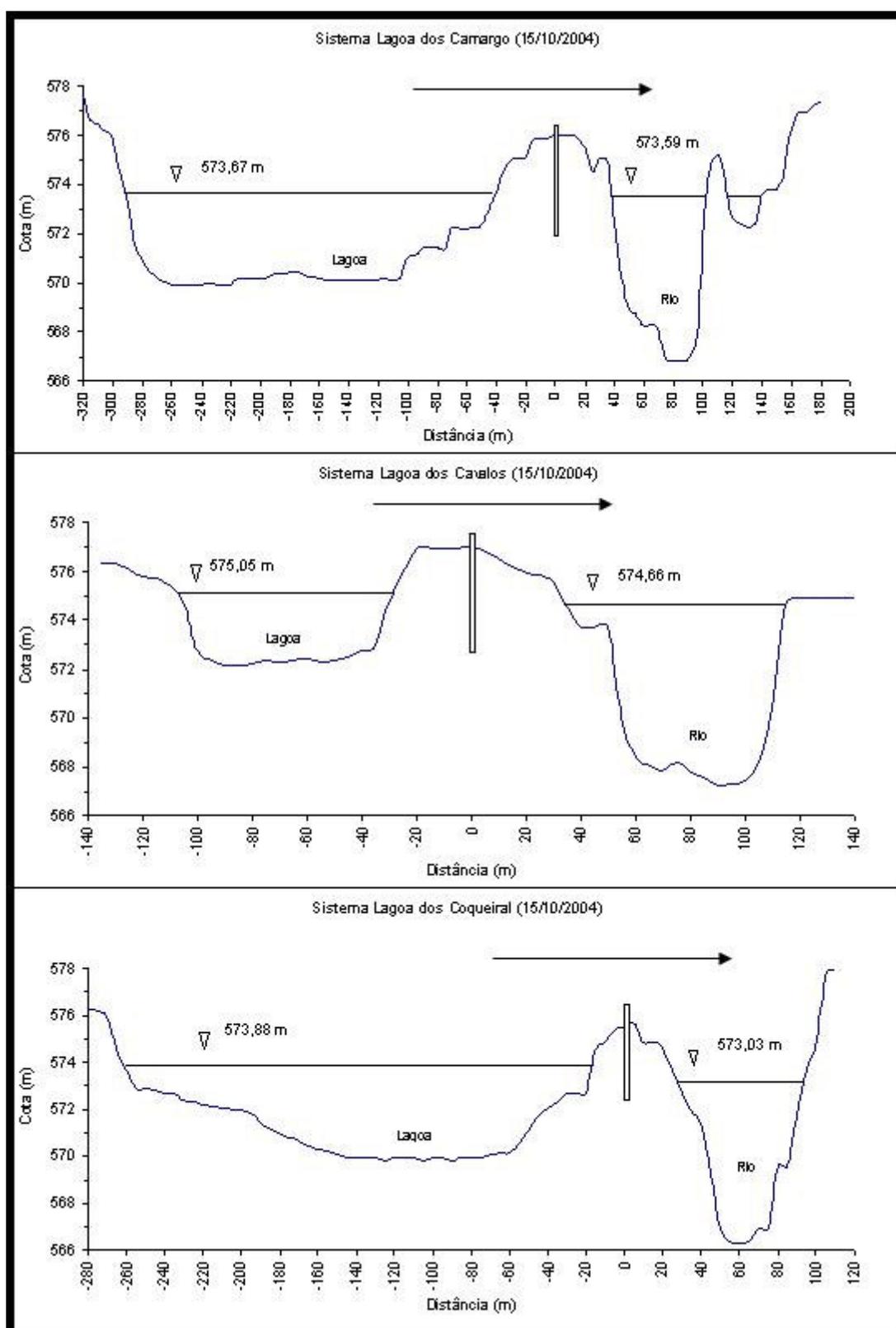


FIGURA 100:Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em outubro de 2004.

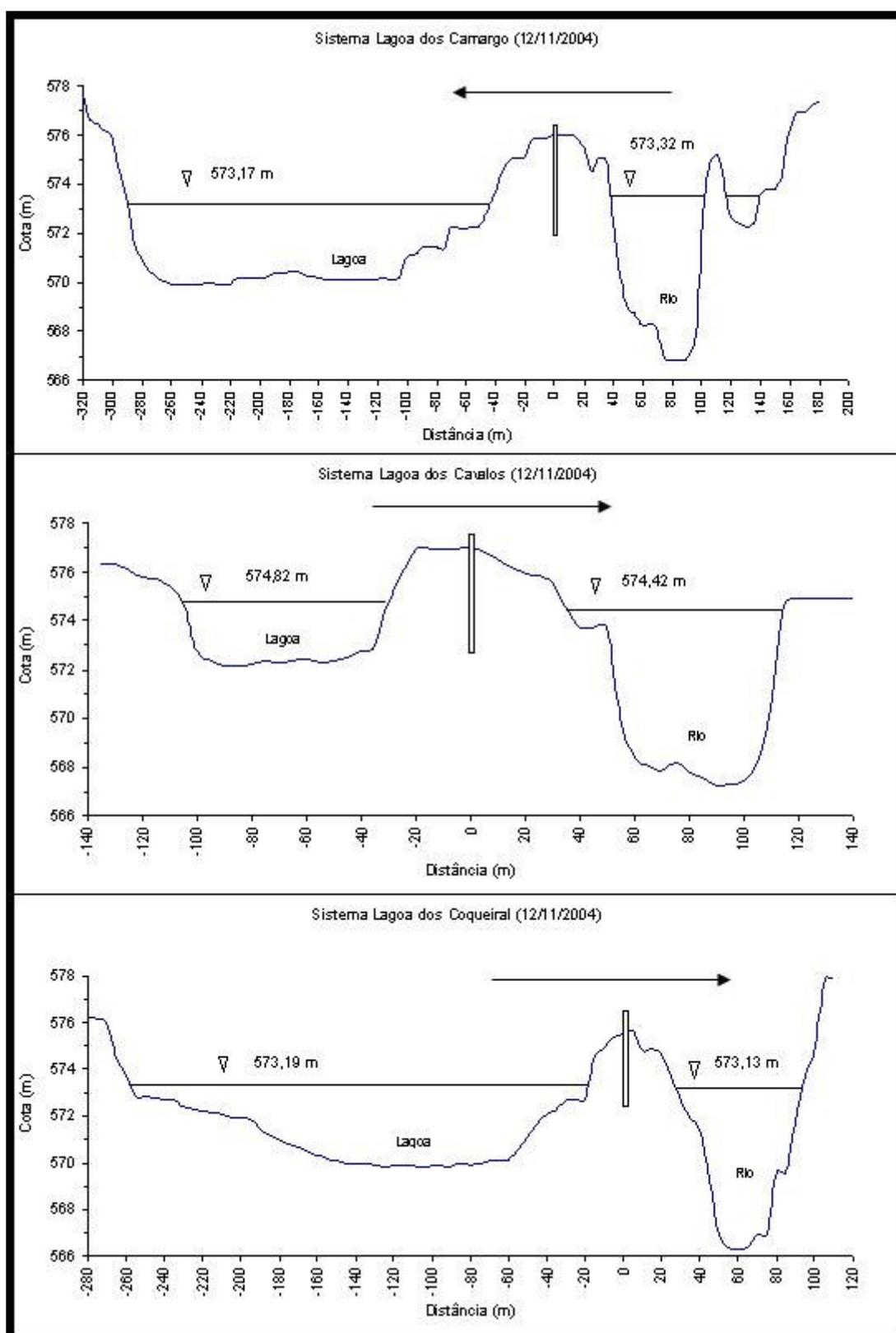


FIGURA 101: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em novembro de 2004.

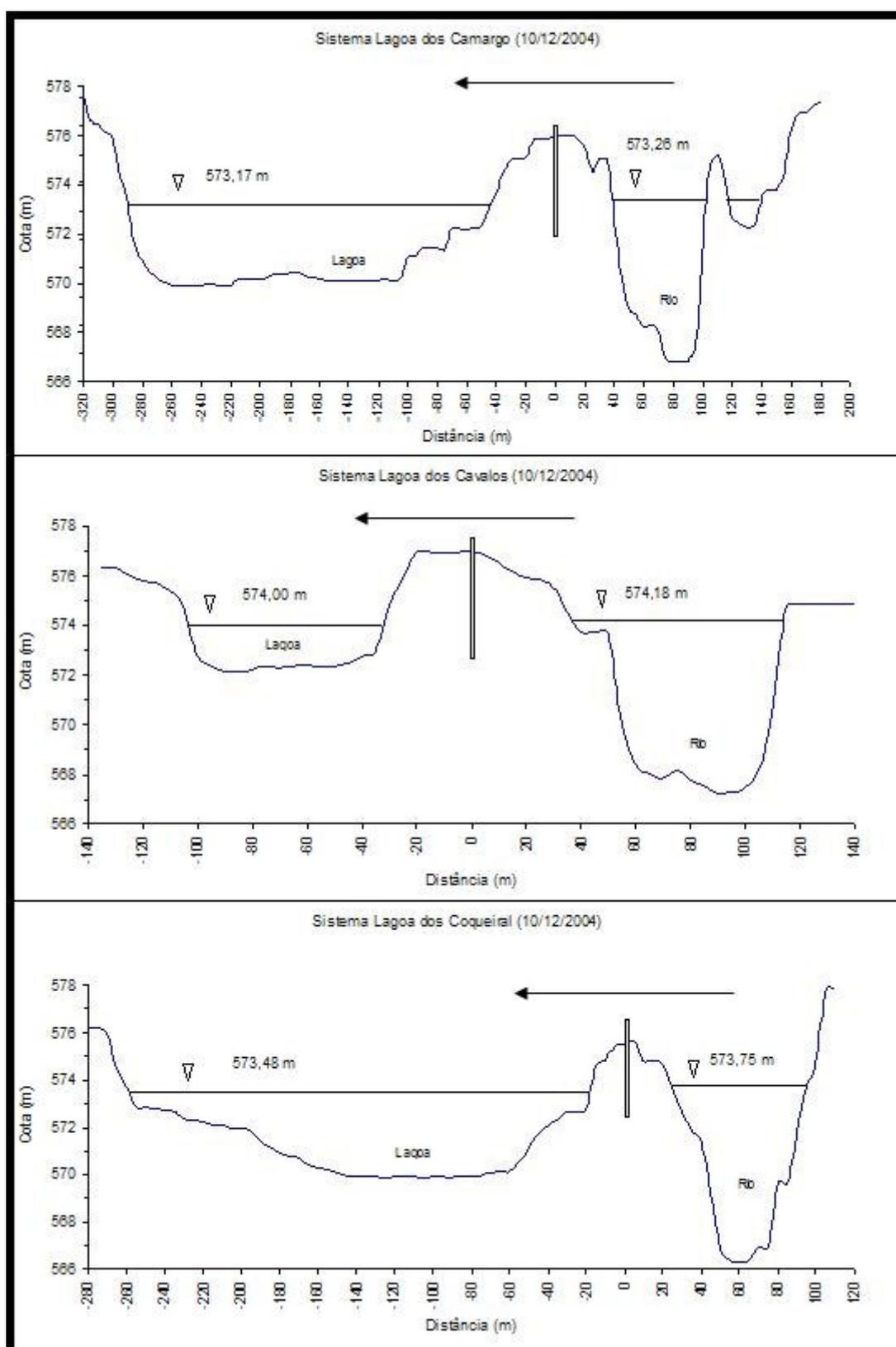


FIGURA 102: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em dezembro de 2004.

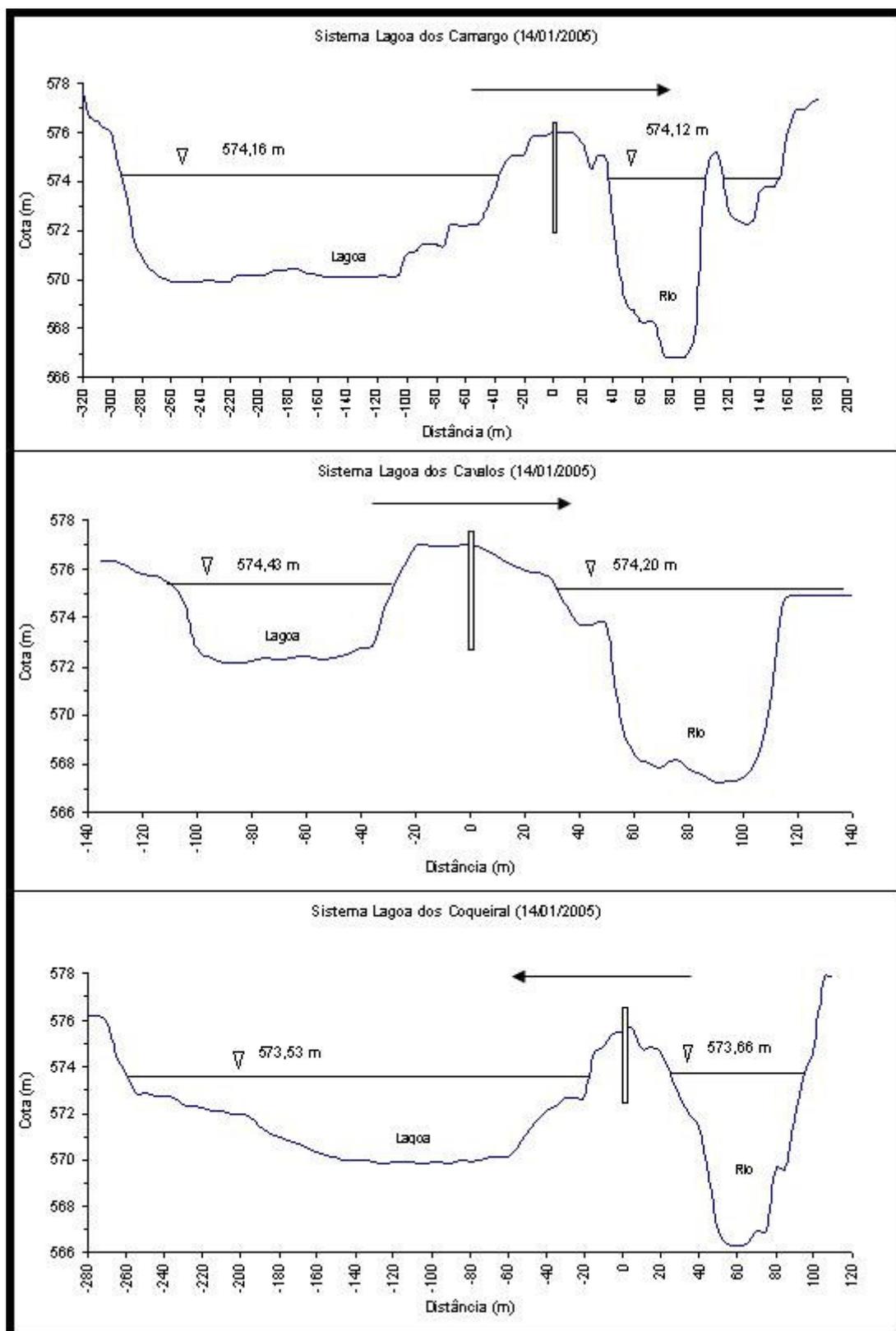


FIGURA 103: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em janeiro de 2005.

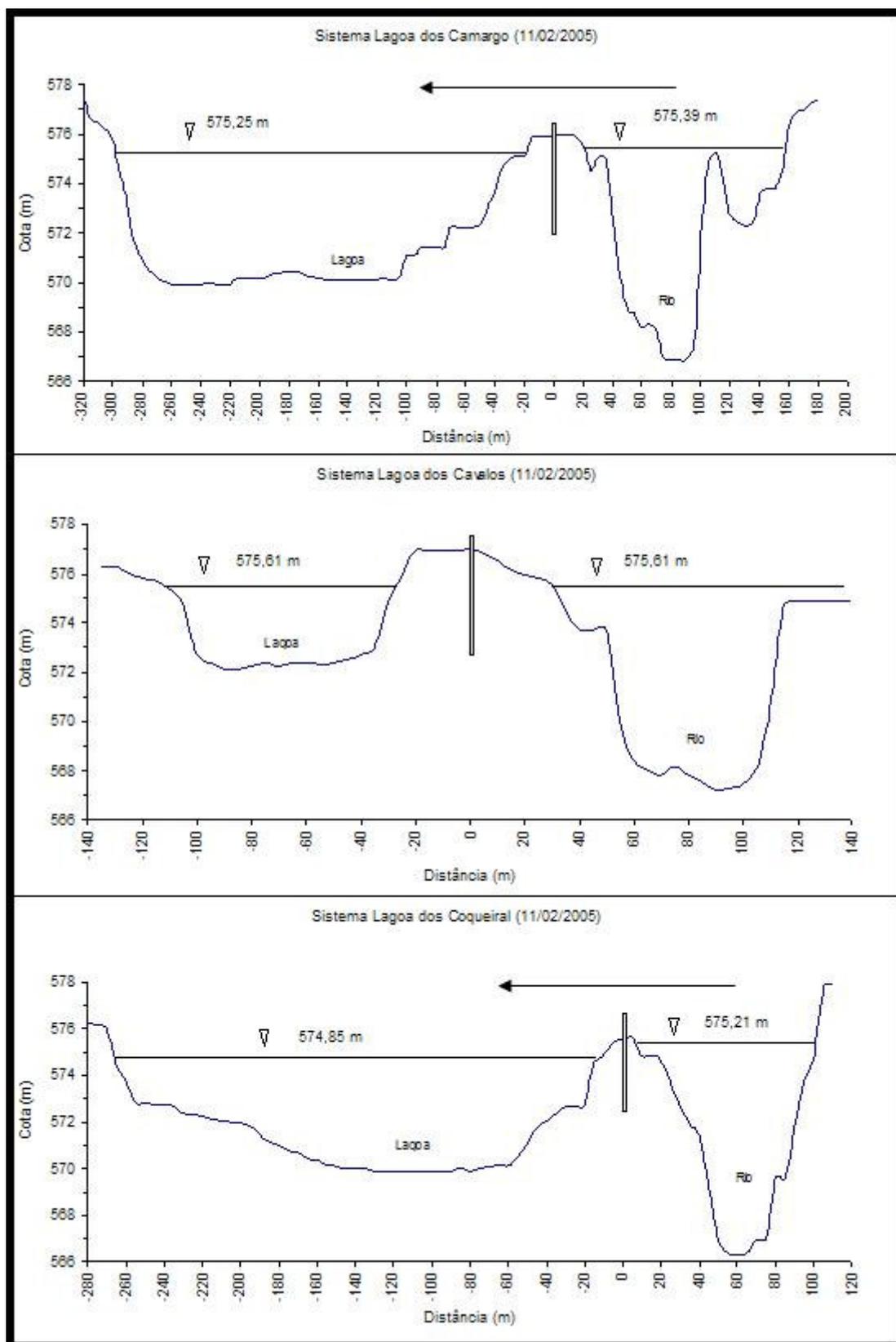


FIGURA 104:Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em fevereiro de 2005.

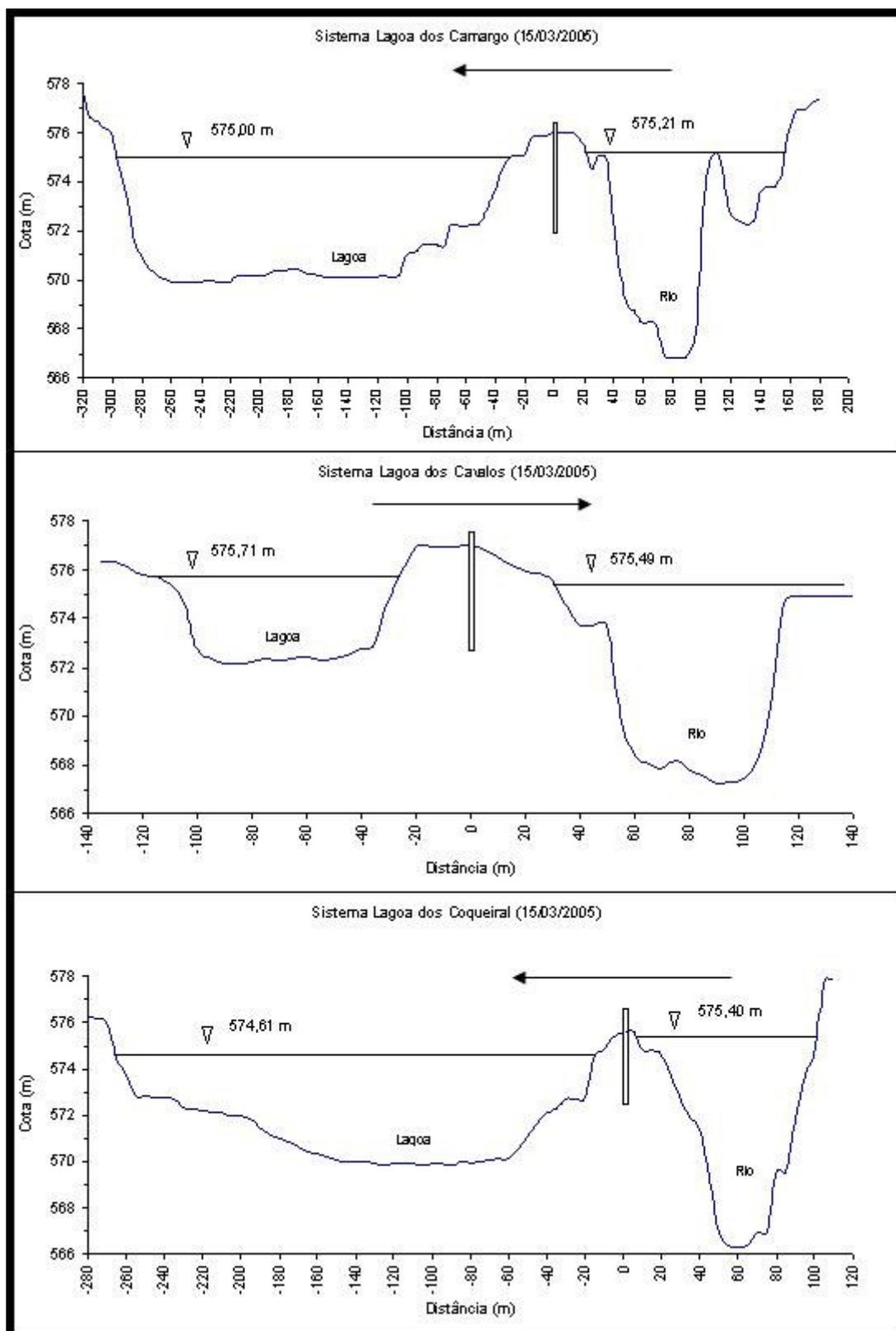


FIGURA 105: Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em março de 2005.

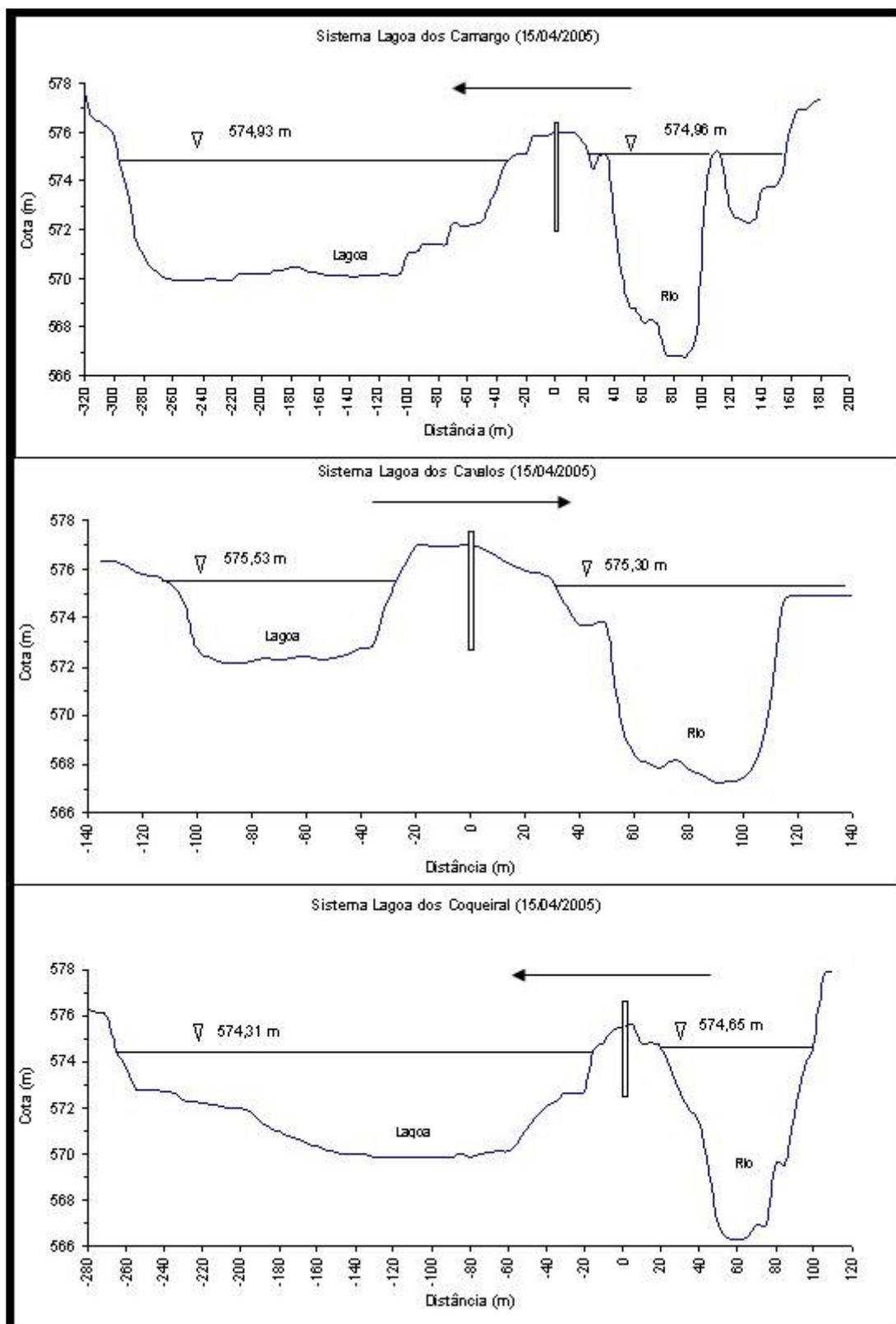


FIGURA 106:Esquema de direção do fluxo da água entre os compartimentos nos três sistemas estudados em abril de 2005.

O aquífero freático tende a acompanhar o modelado topográfico e oscila, ao longo do ano, sendo rebaixado com o escoamento para nascentes ou elevado com a incorporação de água infiltrada da chuva.

Na escala de trabalho utilizada na determinação do fluxo não se observa elevações topográficas que caracterizem um divisor de águas, a movimentação da água subterrânea mantém preferencialmente rotas em direção ao rio Paranapanema. O direcionamento preferencial da água nos três sistemas do presente estudo (Figuras 78 a 102) foi estabelecido através do potencial hidráulico dos poços de monitoramento (Figura 05 e 06) considerando-se a região como um sistema de fluxo local. Obtido o valor do potencial hidráulico de cada poço, as linhas de fluxo seguem os pontos de maior potencial para os de menor potencial.

Como para o presente estudo não foi encontrada uma planta topográfica que atendesse a escala de trabalho, foram inseridos os valores do nível hidrostático dos poços utilizados no croqui da malha piezométrica, e, a partir daí, manualmente foram inferidos setas com o sentido do fluxo subterrâneo (APÊNDICE A).

Segundo Sophocleous (2002), a água subterrânea move-se ao longo dos trajetos que são organizados no espaço e dão forma a um sistema de fluxo. Baseado em sua posição relativa no espaço, Tóth (1963 apud SOPHOCLEOUS, 2002)¹ reconhece três tipos distintos de sistemas de fluxo – locais, intermediários, e regionais – que poderiam ser sobrepostos em uma bacia de drenagem da água subterrânea.

A água em um sistema de fluxo local flui em direção a uma área próxima de descarga, tal como uma lagoa ou um córrego. A água em um sistema de fluxo regional percorre uma distância maior do que o sistema de fluxo local, e descarrega-

¹ Tóth J (1963) A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. J Geophys Res 68:4785–4812

se frequentemente nos rios principais, lagos grandes, ou nos oceanos. Um sistema de fluxo intermediário é caracterizado por uma ou mais elevações topográficas e depressões situadas entre suas áreas de recarga e descarga, mas, ao contrário do sistema de fluxo regional, ele não ocupa os pontos topográficos mais elevados e as bases da bacia (SOPHOCLEOUS, 2002).

O rio Paranapanema foi influente nos meses de abril-03, novembro-03, dezembro-03, fevereiro-04, março-04, abril-04, novembro-04, dezembro-04, janeiro-05, fevereiro-05, março-05, abril-05 e efluente nos meses de maio-03, junho-03, julho-03, agosto-03, setembro-03, outubro-03, janeiro-04, maio-04, junho-04, julho-04, agosto-04, setembro-04, outubro-04 para os sistemas LCM e LCQ.

No sistema isolado LCV, o rio foi influente nos meses de agosto-03, novembro-03, dezembro-03, fevereiro-04, dezembro-04, janeiro-05 e efluente nos meses de abril-03, junho-03, julho-03, setembro-03, outubro-03, março-04, abril-04, maio-04, junho-04, julho-04, agosto-04, setembro-04, outubro-04, novembro-04, março-05 e abril-05. Nos meses de maio-03, janeiro-04 e fevereiro de 2005 não foram observados gradientes hidráulicos entre o rio e a lagoa que orientassem o fluxo entre esses compartimentos.

Segundo Brunke e Gonser (1997), sob condições de baixa precipitação, o fluxo em muitos córregos constitui-se em descarga do aquífero em grande parte do ano (condição efluente). Sob circunstâncias de elevação da precipitação, escoamento superficial e aumento das interações, ocorrem alterações no gradiente hidráulico que causam à mudança de condição efluente à condição influente, determinando a recarga do aquífero.

A malha potenciométrica da água inclina-se para os lagos, que recebem o aporte da água subterrânea (KISHEL; GERLA, 2002). Isso ocorre porque o lago

molda uma forma de superfície hidráulica igual ao nível hidrostático e a descarga ocorre na fronteira da inclinação topográfica, onde a mudança no gradiente hidráulico é acentuada.

Os dados obtidos na zona de desembocadura do rio Paranapanema na represa de Jurumirim, no período de abril de 2003 a abril de 2005, mostraram que na escala do presente trabalho ocorreram mudanças no gradiente hidráulico associadas ao regime de conexão do rio com as lagoas marginais. O sistema isolado LCV manteve uma cota mais elevada no gradiente hidráulico durante 16 meses dos 25 estudados, ressaltando que em três meses do período amostral não foi possível determinar a direção do fluxo. Essa elevação observada nas lagoas marginais indica que as mesmas estão em processo de redução do volume e tendem a não receber contribuição de nutrientes via água subterrânea.

A fase de drenagem das lagoas marginais correspondeu a 64 % do período estudado para o sistema LCV, contra 52% para os demais sistemas.

No mês de janeiro-04, ocorreram características atípicas em todos os sistemas, com inversão e ausência de direção de fluxo entre os ambientes em função do grau de conectividade. Um evento na bacia hidrográfica, na última semana de janeiro, gerou um pulso de inundação extraordinário que provocou a conexão de todas as lagoas com o rio, fazendo desaparecer inclusive as fronteiras entre os sistemas Lagoa do Camargo, Lagoa dos Cavalos e Lagoa do Coqueiral (HENRY, 2004 - informação verbal)².

A perturbação no sistema foi pontual e de curta duração, visto que o relatório de controle do nível hidrométrico na barragem de Jurumirim, que dista aproximadamente 100 km da região, não mostrou variação significativa no período, porém o pulso foi gerado dentro da bacia de drenagem a montante da região de

estudo e distante da estação meteorológica de Angatuba, que não detectou eventos de precipitação (Figura 09) que justificassem o ocorrido.

Normalmente os pulsos de inundação dependem da capacidade de drenagem do rio e o controle da vazão de saída na barragem pode intensificar ou mitigar as conseqüências desse tipo de perturbação. Girard, Silva e Abdo (2003) consideraram que a construção da Usina Hidrelétrica de Manso localizada no estado de Mato Grosso, no rio Manso, principal afluente do rio Cuiabá, alterou as características hidrodinâmicas do período de cheia, reduzindo os picos de inundação em função da alteração na conectividade hidrológica da região.

Nos sistemas estudados, a característica do rio em contribuir para o aquífero foi associada, especialmente nos ambientes LCM e LCQ, ao período de chuva na região que se estende entre novembro e março. Esse padrão extrapolou o período de cheia, englobando o mês de abril, o início do período de seca, nos anos de 2003, 2004 e 2005.

Segundo Winter e Rosenberry (1995 apud SOPHOCLEOUS, 2002), as interações dos córregos, dos lagos e das áreas alagadas com a água subterrânea são estabelecidas pelas posições dos corpos d'água em relação aos sistemas de fluxo do aquífero e às características geológicas e climáticas da região.

No presente estudo, o sentido dos processos de troca variou junto com as mudanças na superfície potenciométrica entre o rio e as lagoas marginais. Dois sentidos do fluxo da água foram observados: (1) a condição do rio influente, onde a água superficial contribuiu ao fluxo subsuperficial em direção as lagoas marginais; e (2) a condição do rio efluente, onde a água subterrânea contribuiu na manutenção da vazão do canal principal (rio Paranapanema) e drenando os sistemas lacustres adjacentes. A intensidade e a freqüência da variação dos regimes do fluxo podem

² Informação fornecida pelo professor Dr. Raoul Henry em Angatuba-SP, em janeiro de 2004.

alterar a condutividade hidráulica do sedimento e produzir processos de erosão e deposição, afetando as interações de fluxo através das fronteiras entre a água subterrânea e os demais ambientes aquáticos.

Henry (2002) observou durante o ano de 1999, redução acentuada, em função de uma seca severa, da quota do nível hidrológico; esse evento desconectou as Lagoas do Coqueiral e Camargo do rio Paranapanema. Esta desconexão iniciou-se em 14 de outubro de 1999 e prolongou-se até 20 de dezembro de 2000, mantendo isoladas as lagoas marginais durante cerca de catorze meses, provocando impactos associados aos processos erosivos nas fronteiras dos sistemas (Figuras 107 e 108).

Segundo Henry (2002), registros anteriores a 1999 de desconexão dos ambientes lacustres com o rio Paranapanema, isto é quando cota do nível da água na represa de Jurumirim, não são de ocorrência comum na história do reservatório. Segundo os dados do setor de operações da CESP (atualmente Duke Energy-Paranapanema), a desconexão ocorreu somente em três episódios anuais anteriores (em 1969, 1979 e 1986) desde que há 40 anos (em 1962) formou-se o lago pela barragem do rio Paranapanema (Represa de Jurumirim).

Durante o período do presente estudo não foi detectado qualquer evento de intensidade capaz de desconectar os sistemas LCM e LCQ durante intervalos prolongados de tempo.



FIGURA 107: Imagem do efeito da erosão na fronteira do sistema Lagoa do Camargo, no período de seca severa 1999-2000 (autor da foto: Raoul Henry).



FIGURA 108: Imagem em detalhe do efeito da erosão na fronteira do sistema Lagoa do Camargo, no período de seca severa 1999-2000 (autor da foto: Raoul Henry).

4.6 Estimativa da contribuição de nitrogênio total e fósforo total via água subterrânea.

A condutividade hidráulica (K) foi determinada através de testes tipo slug aplicados nos piezômetros centrais dos três sistemas estudados. O Apêndice B mostra os dados observados de campo em cada poço.

Os valores em ordem crescente de K obtidos foram:

- $1,62 \times 10^{-2}$ cm/s para o sistema Lagoa do Camargo
- $1,02 \times 10^{-2}$ cm/s para o sistema Lagoa do Coqueiral
- $6,66 \times 10^{-3}$ cm/s para o sistema Lagoa dos Cavalos

A condutividade hidráulica pode ser definida em um meio isotrópico como a velocidade aparente por um gradiente hidráulico unitário. Considerando intervalo de $1,02 \times 10^{-2}$ cm/s a $6,66 \times 10^{-3}$ obtido para os valores de K, o solo dos sistemas pode ser categorizado, segundo Fetter (1994) em areia bem distribuída (TABELA 52).

TABELA 52 - Faixa de valores de condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados.

| Material | Condutividade Hidráulica (cm/s) |
|----------------------------|---------------------------------|
| Argila | $10^{-9} - 10^{-6}$ |
| Silte e silte arenoso | $10^{-6} - 10^{-4}$ |
| Areia argilosa | $10^{-6} - 10^{-4}$ |
| Areia siltosa e areia fina | $10^{-5} - 10^{-3}$ |
| Areia bem distribuída | $10^{-3} - 10^{-1}$ |
| Cascalho bem distribuído | $10^{-2} - 10^{-1}$ |

Fonte: Adaptado de Fetter (1994).

Segundo Fetter (1994), quando a camada do aquífero ensaiada é restrita, a condutividade hidráulica determinada no teste é um valor pontual que não deve ser estendido além das proximidades dos poços amostrados. Dessa forma, a escala

local utilizada garante que os valores obtidos são representativos para os objetivos do presente estudo.

Doménico e Schwartz (1997), consideram que a condutividade hidráulica é capacidade do aquífero de transmitir água e pode ser integrada na dimensão vertical do aquífero para obter as características médias de transmissão da água. Dessa forma a transmissividade, que corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por unidade de largura do aquífero pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$T = K \times b$$

Sendo:

T = transmissividade (m²/s ou m²/dia);

K= condutividade hidráulica (m/s)

b= espessura do aquífero (m)

O conceito de transmissividade é utilizado em estudos bidimensionais, e para aquíferos livres o valor da espessura varia com o tempo, de acordo com a recarga ou descarga.

Considerando as características morfométricas dos sistemas descritas por Henry (2002, 2005) e a escala de interesse do presente trabalho, assumiu-se a profundidade média de 3,20m para a Lagoa do Camargo, 1,58m para a Lagoa do Coqueiral e 1,35m para a Lagoa dos Cavalos como espessura do aquífero para

determinação da transmissividade. Os resultados seguiram o padrão da condutividade apresentando os seguintes valores:

- $5,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ou $44,8 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o sistema Lagoa do Camargo
- $1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ou $13,9 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o sistema Lagoa do Coqueiral
- $9,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ou $7,8 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o sistema Lagoa dos Cavalos

No presente estudo, foi considerado um sistema bidimensional, homogêneo e isotrópico. A componente da transmissividade na direção z é desconsiderada no caso de modelos bidimensionais, que são utilizados para descrever fluxos horizontais (Figura 109).

Valores de transmissividade apresentam elevada variabilidade em aquíferos freáticos e confinados. Os dados de Sracek e Hirata (2002), no Sistema Aquífero Guarani – São Paulo, mostraram uma variação entre $39 \text{ m}^2/\text{dia}$ a $1035 \text{ m}^2/\text{dia}$, com média de $336 \text{ m}^2/\text{dia}$.

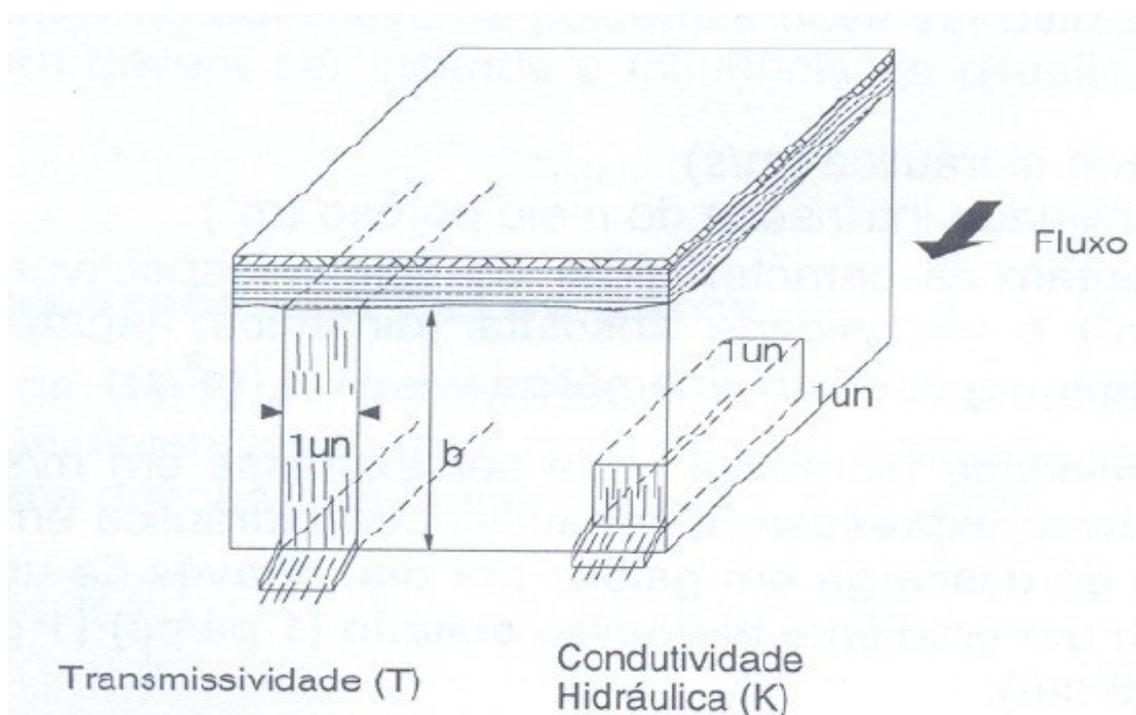


FIGURA 109: Ilustração da relação dos coeficientes de condutividade e transmissividade hidráulica.

O cálculo da descarga nos sistemas estudados foi baseado no trabalho do hidrólogo Francês Henri Darcy. Segundo Feitosa e Manoel Filho (1997), em 1856 Darcy descobriu que a velocidade do fluxo da água nos poros do aquífero era proporcional ao gradiente hidráulico.

A seguinte expressão foi utilizada para determinação da velocidade do escoamento subterrâneo:

$$v = K \times \frac{dh}{dr}$$

Sendo:

v = velocidade (m/s)

K = condutividade hidráulica (m/s)

dh/dr = declividade do gradiente hidráulico

A TABELA 53 mostra os dados de velocidade para os três sistemas estudados. No ambiente Lago dos Cavalos não foi possível calcular a velocidade nos meses de maio/03, janeiro/04 e fevereiro/05, por não ter sido obtido os valores do gradiente hidráulico formado entre a lagoa e o rio.

Os valores médios de velocidade foram 18 cm/dia, 38 cm/dia e 139 cm/dia nos sistemas LCV, LCM e LCQ, respectivamente.

O maior valor de velocidade (378 cm/dia) foi encontrado na Lagoa do Coqueiral em abril de 2004. Esse valor foi produto de uma elevação do rio Paranapanema sem uma resposta similar no enchimento da lagoa, gerando o gradiente hidráulico mais alto (0,43) no período do presente estudo.

A descarga total nos corpos receptores foi determinada pelo produto da velocidade de fluxo e a área (A) de interesse através da qual é escoada. A aplicação desse método assume que quando há um acréscimo no nível do aquífero há,

também, um acréscimo no escoamento de base. Isto pode ser explicado pela lei de Darcy, considerando-se que na área em estudo, quando se tem uma elevação do aquífero provocado pela característica influente do rio Paranapanema, tem-se um aumento no valor do gradiente hidráulico do aquífero para o curso d'água adjacente (lagoas marginais). O inverso acontece quando se tem um decréscimo no nível do aquífero por uma situação de rio efluente.

A hipótese simplificadora aplicada no presente trabalho, em função da escala utilizada, é que a variação do nível do aquífero ocorre de forma homogênea, sendo assim, o gradiente hidráulico no aquífero freático para os sistemas pode ser representado pelo nível da água nos poços de monitoramento. Dessa forma, pode-se afirmar que existe uma correlação entre os valores da descarga no corpo d'água e o nível do aquífero.

Custódio e Llamas (1996) consideram que para determinação dos valores de vazão em aquíferos livres, duas hipóteses de Dupuit devem ser levadas em consideração:

1. Linhas de fluxo horizontais e equipotenciais verticais; e
2. gradiente hidráulico horizontal igual à inclinação da superfície livre e invariável com a profundidade.

A TABELA 54 mostra os valores de vazão estimados no período do presente estudo.

TABELA 53 – Valores de velocidade de Darcy (cm/dia) para os três sistemas estudados no período de abril/03 a abril/05.

| Velocidade (cm/dia) | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|
| Data | LCM | LCV | LCQ |
| 24/04/03 | 47 | 9 | 102 |
| 23/05/03 | 47 | nd | 249 |
| 27/06/03 | 22 | 3 | 205 |
| 17/07/03 | 45 | 4 | 166 |
| 22/08/03 | 39 | 9 | 129 |
| 26/09/03 | 20 | 23 | 176 |
| 24/10/03 | 31 | 5 | 148 |
| 20/11/03 | 87 | 12 | 38 |
| 19/12/03 | 42 | 3 | 31 |
| 19/01/04 | 46 | nd | 291 |
| 13/02/04 | 56 | 87 | 15 |
| 12/03/04 | 55 | 24 | 54 |
| 16/04/04 | 30 | 32 | 378 |
| 14/05/04 | 10 | 23 | 215 |
| 18/06/04 | 83 | 25 | 39 |
| 16/07/04 | 70 | 24 | 119 |
| 20/08/04 | 14 | 12 | 187 |
| 10/09/04 | 30 | 22 | 60 |
| 15/10/04 | 14 | 36 | 187 |
| 12/11/04 | 26 | 37 | 13 |
| 10/12/04 | 16 | 15 | 56 |
| 14/01/05 | 8 | 19 | 29 |
| 11/02/05 | 52 | nd | 158 |
| 15/03/05 | 52 | 11 | 347 |
| 15/04/05 | 8 | 22 | 79 |

nd- não determinado

TABELA 54 – Valores de vazão (m³/dia), baseando-se na velocidade de Darcy, para os três sistemas estudados no período de abril/03 a abril/05.

| Data | Vazão (m ³ /dia) | | |
|----------|-----------------------------|--------|----------|
| | LCM | LCV | LCQ |
| 24/04/03 | 1.821,85 | 15,35 | 2.550,71 |
| 23/05/03 | 2.821,85 | nd | 2.550,71 |
| 27/06/03 | 1.840,85 | 4,71 | 5.101,42 |
| 17/07/03 | 2.768,26 | 6,59 | 4.122,78 |
| 22/08/03 | 2.530,35 | 16,24 | 3.224,82 |
| 26/09/03 | 1.770,78 | 40,18 | 4.372,64 |
| 24/10/03 | 2.229,75 | 8,73 | 3.692,45 |
| 20/11/03 | 4.383,43 | 21,20 | 936,99 |
| 19/12/03 | 2.626,65 | 5,57 | 771,64 |
| 19/01/04 | 2.795,82 | nd | 7.254,61 |
| 13/02/04 | 3.186,22 | 149,70 | 364,39 |
| 12/03/04 | 3.157,45 | 41,91 | 1.336,09 |
| 16/04/04 | 2.181,74 | 54,57 | 9.401,18 |
| 14/05/04 | 1.409,92 | 39,22 | 5.366,43 |
| 18/06/04 | 4.245,17 | 43,16 | 971,70 |
| 16/07/04 | 3.732,77 | 41,36 | 2.957,96 |
| 20/08/04 | 1.546,55 | 19,78 | 4.664,15 |
| 10/09/04 | 2.177,19 | 37,92 | 1.503,10 |
| 15/10/04 | 1.553,47 | 61,23 | 4.645,93 |
| 12/11/04 | 2.024,79 | 62,80 | 312,33 |
| 10/12/04 | 1.614,87 | 26,57 | 1.405,49 |
| 14/01/05 | 1.303,64 | 32,43 | 710,55 |
| 11/02/05 | 3.013,62 | nd | 3.935,38 |
| 15/03/05 | 3.049,58 | 18,76 | 8.635,97 |
| 15/04/05 | 1.303,64 | 37,92 | 1.956,18 |

nd- não determinado

Para determinação da área de escoamento foram utilizados os parâmetros morfométricos obtidos por Henry (2002, 2005), considerando-se o comprimento máximo (LCM – 1220,0 m, LCV – 127,3 m e LCQ – 1576,1 m) e a profundidade média (LCM – 3,20 m, LCV – 1,35 m e LCQ – 1,58 m) dos sistemas estudados.

A projeção das direções dos fluxos corta em ângulos próximos de 90° (perpendicularmente) as linhas que representam o comprimento máximo em todos os sistemas (APÊNDICE A). As áreas calculadas foram de 3.904,00 m² para a Lagoa do Camargo; 171,86 m² para a Lagoa do Coqueiral e 2490,24 m² para a Lagoa do Coqueiral.

A descarga total (Q , m³/s) é o produto da velocidade do fluxo e a área da qual é escoada e pode ser expressa por:

$$Q = v \times A = K \times \frac{dh}{dr} \times A$$

Sendo:

v = velocidade do fluxo (m/s)

A = área de escoamento (m²)

K = condutividade hidráulica (m/s)

dh/dr = declividade do gradiente hidráulico

Geralmente no cálculo da vazão de um aquífero utiliza-se a velocidade aparente e a área total. Mas é importante lembrar que para o cálculo do transporte advectivo de poluentes deve ser utilizada a velocidade real (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

A área da seção transversal do escoamento pelos poros é menor que a área de seção do aquífero, e pode ser obtida multiplicando-se a área pela porosidade

efetiva de fluxo (n_{ef}). Portanto a velocidade linear média, ou seja, a verdadeira velocidade de escoamento pelos poros (q) é expressa por:

$$v = \frac{Q}{n_{ef} \times A}$$

Sendo:

Q= descarga total (m³/s)

v= velocidade do fluxo (m/s)

A= área de escoamento (m²)

n_{ef} = porosidade efetiva

A porosidade útil pode ser entendida como a razão entre o volume de água drenável por gravidade, em um solo inicialmente saturado com água, em um tempo infinito, pelo volume total do solo. Pode ser entendida, também, como a diferença entre a porosidade total e a capacidade de campo de um solo.

A análise das amostras de solo não consolidadas mostrou uma porosidade variando entre 52,3% a 54,0% com valor médio de 53%. Os valores de velocidade linear média e vazão considerando-se a porosidade estão apresentados nas TABELAS 55 e 56, respectivamente.

O valor máximo estimado da velocidade passou a ser de 200 cm/dia, com valor médio de 20 cm/dia para o sistema LCM, 10 cm/dia para o sistema LCV e 74 cm/dia para o sistema LCQ.

As vazões corrigidas oscilaram de 691 m³/dia a 2323 m³/dia na Lagoa do Camargo, de 2 m³/dia a 79 m³/dia na Lagoa dos Cavalos e de 166 m³/dia a 4983 m³/dia na Lagoa do Coqueiral.

As cargas de nitrogênio e fósforo foram calculadas através do produto das concentrações dos elementos e a velocidade real (TABELA 57).

Foi estimado para o sistema Lagoa do Camargo o transporte, via água subterrânea, máximo de 33,45 kg/mês (fev/2004) para o nitrogênio total e 3,60 kg/mês (nov/2003) para o fósforo total. Os valores médios foram de 15,50 kg-NT/mês e 1,50 kg-PT/mês.

Comparativamente o sistema Lagoa dos Cavalos transportou a menor carga de nutrientes. A somatória do período de 25 meses de estudo alcançou valores muito baixos de carga de nutrientes, sendo que para o nitrogênio o valor alcançou 6 kg e para o fósforo não alcançou 1 kg (0,624 kg).

A Lagoa do Coqueiral foi o sistema que recebeu o maior aporte, a água subterrânea movimentou com 538 kg de nitrogênio e 40 kg de fósforo. Os maiores valores mensais foram obtidos em abril de 2004 (72,84 kg) para o nitrogênio total e em janeiro de 2005 (4,64 kg) para o fósforo total.

TABELA 55 - Valores de velocidade linear média (cm/dia) para os três sistemas estudados no período de abril/03 a abril/05.

| Velocidade (cm/dia) | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|
| Data | LCM | LCV | LCQ |
| 24/04/03 | 25 | 5 | 54 |
| 23/05/03 | 25 | nd | 132 |
| 27/06/03 | 11 | 1 | 109 |
| 17/07/03 | 24 | 2 | 88 |
| 22/08/03 | 21 | 5 | 69 |
| 26/09/03 | 10 | 12 | 93 |
| 24/10/03 | 17 | 3 | 79 |
| 20/11/03 | 46 | 7 | 20 |
| 19/12/03 | 22 | 2 | 16 |
| 19/01/04 | 24 | nd | 154 |
| 13/02/04 | 30 | 46 | 8 |
| 12/03/04 | 29 | 13 | 28 |
| 16/04/04 | 16 | 17 | 200 |
| 14/05/04 | 6 | 12 | 114 |
| 18/06/04 | 44 | 13 | 21 |
| 16/07/04 | 37 | 13 | 63 |
| 20/08/04 | 7 | 6 | 99 |
| 10/09/04 | 16 | 12 | 32 |
| 15/10/04 | 8 | 19 | 99 |
| 12/11/04 | 14 | 19 | 7 |
| 10/12/04 | 8 | 8 | 30 |
| 14/01/05 | 4 | 10 | 15 |
| 11/02/05 | 27 | nd | 84 |
| 15/03/05 | 28 | 6 | 184 |
| 15/04/05 | 4 | 12 | 42 |

nd- não determinado

TABELA 56 – Valores de vazão (m³/dia) para os três sistemas estudados, baseando-se na velocidade linear média, no período de abril/03 a abril/05.

| Data | Vazão (m ³ /dia) | | |
|----------|-----------------------------|-------|----------|
| | LCM | LCV | LCQ |
| 24/04/03 | 965,58 | 8,13 | 1.351,88 |
| 23/05/03 | 1.495,58 | nd | 3.283,13 |
| 27/06/03 | 975,65 | 2,50 | 2.703,75 |
| 17/07/03 | 1.467,18 | 3,49 | 2.185,07 |
| 22/08/03 | 1.341,09 | 8,61 | 1.709,16 |
| 26/09/03 | 938,51 | 21,30 | 2.317,50 |
| 24/10/03 | 1.181,77 | 4,63 | 1.957,00 |
| 20/11/03 | 2.323,22 | 11,23 | 496,61 |
| 19/12/03 | 1.392,12 | 2,95 | 408,97 |
| 19/01/04 | 1.481,79 | nd | 3.844,94 |
| 13/02/04 | 1.688,70 | 79,34 | 193,13 |
| 12/03/04 | 1.673,45 | 22,21 | 708,13 |
| 16/04/04 | 1.156,32 | 28,92 | 4.982,63 |
| 14/05/04 | 747,26 | 20,79 | 2.844,21 |
| 18/06/04 | 2.249,94 | 22,88 | 515,00 |
| 16/07/04 | 1.978,37 | 21,92 | 1.567,72 |
| 20/08/04 | 819,67 | 10,48 | 2.472,00 |
| 10/09/04 | 1.153,91 | 20,10 | 796,64 |
| 15/10/04 | 823,34 | 32,45 | 2.462,34 |
| 12/11/04 | 1.073,14 | 33,28 | 165,54 |
| 10/12/04 | 855,88 | 14,08 | 744,91 |
| 14/01/05 | 690,93 | 17,19 | 376,59 |
| 11/02/05 | 1.597,22 | nd | 2.085,75 |
| 15/03/05 | 1.616,28 | 9,94 | 4.577,06 |
| 15/04/05 | 690,93 | 20,10 | 1.036,78 |

nd- não determinado

O volume dos sistemas estudados junto com outros parâmetros morfométricos foi descrito por Henry (2002 e 2005). A topografia de fundo da Lagoa

do Camargo foi realizada em 18 de abril de 2001, sendo que a quota na barragem de Jurumirim correspondia a 566,67 m e o volume encontrado foi de 719.867 m³. Para os demais sistemas, as sondagens foram realizadas em 13 de junho de 2001 (Lagoa dos Cavalos) e 14 de junho de 2001 (Lagoa do Coqueiral), com valores de quota e volume iguais a 565,67 m - 565,65 m e 719867,00 m³ – 1012957,36 m³, respectivamente.

A TABELA 58 mostra uma estimativa da contribuição do aquífero freático na massa de nutrientes (nitrogênio e fósforo) presente nas lagoas estudadas. O mês de abril/04 foi considerado similar em relação à quota do reservatório observada na elaboração da batimetria da Lagoa do Camargo, e para as demais lagoas foi utilizado mês de janeiro/05. Para seleção das datas levou-se em consideração também a característica influente do rio.

Na Lagoa dos Cavalos a contribuição de fósforo, via água subterrânea, foi de aproximadamente 18%. Nos demais sistemas a contribuição ficou em 14% para a Lagoa do Coqueiral e 5% para a Lagoa do Camargo. Em relação ao nitrogênio, a contribuição variou 1,71% no sistema isolado LCV a 8% nos sistema LCM, com valor de 2 % no sistema LCQ.

Desconsiderando-se as variações de volume das lagoas e assumindo que essas alterações ocorridas são refletidas na concentração dos nutrientes, podemos simular a contribuição do aquífero em função da variação dos teores de nitrogênio e fósforo na água da lagoa e aquífero.

TABELA 57 – Valores de carga de nitrogênio total e fósforo total (kg/mês) para os três sistemas estudados, no período de abril/03 a abril/05.

| Data | LCM | | LCV | | LCQ | |
|----------|-------|------|------|-------|--------|------|
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT |
| 24/04/03 | 22,61 | 0,96 | 0,18 | 0,03 | 29,99 | 1,48 |
| 23/05/03 | 21,49 | 3,24 | nd | nd | 20,97 | 1,70 |
| 27/06/03 | 45,65 | 1,78 | 0,05 | 0,005 | 26,69 | 1,66 |
| 17/07/03 | 34,35 | 3,40 | 0,08 | 0,01 | 48,48 | 2,42 |
| 22/08/03 | 18,93 | 2,29 | 0,13 | 0,02 | 22,72 | 2,86 |
| 26/09/03 | 9,52 | 4,98 | 0,30 | 0,01 | 21,81 | 3,47 |
| 24/10/03 | 8,94 | 2,32 | 0,05 | 0,01 | 59,47 | 7,13 |
| 20/11/03 | 15,88 | 6,77 | 0,08 | 0,03 | 4,41 | 1,67 |
| 19/12/03 | 12,97 | 4,65 | 0,08 | 0,01 | 3,27 | 0,69 |
| 19/01/04 | 34,59 | 4,47 | nd | nd | 121,33 | 6,78 |
| 13/02/04 | 63,11 | 4,55 | 1,00 | 0,16 | 9,57 | 0,33 |
| 12/03/04 | 62,19 | 4,40 | 0,89 | 0,04 | 49,96 | 0,56 |
| 16/04/04 | 22,33 | 2,93 | 0,35 | 0,06 | 137,44 | 8,08 |
| 14/05/04 | 5,92 | 0,93 | 0,17 | 0,09 | 56,12 | 5,72 |
| 18/06/04 | 23,40 | 3,31 | 0,23 | 0,07 | 12,66 | 0,89 |
| 16/07/04 | 44,76 | 1,39 | 0,33 | 0,05 | 37,71 | 1,57 |
| 20/08/04 | 41,04 | 2,44 | 1,17 | 0,03 | 101,62 | 2,07 |
| 10/09/04 | 54,56 | 1,37 | 1,60 | 0,03 | 60,95 | 1,60 |
| 15/10/04 | 8,70 | 1,63 | 2,26 | 0,38 | 73,42 | 5,55 |
| 12/11/04 | 7,58 | 1,59 | 0,35 | 0,02 | 7,46 | 0,08 |
| 10/12/04 | 29,56 | 1,06 | 0,16 | 0,02 | 20,22 | 0,26 |
| 14/01/05 | 27,95 | 0,78 | 0,22 | 0,04 | 11,27 | 8,75 |
| 11/02/05 | 38,19 | 3,38 | nd | nd | 28,39 | 1,81 |
| 15/03/05 | 51,95 | 3,20 | 0,22 | 0,003 | 38,35 | 6,92 |
| 15/04/05 | 24,41 | 2,52 | 1,46 | 0,07 | 10,61 | 1,44 |

nd- não determinado

TABELA 58 – Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para os sistemas estudados, na condição de rio influente.

| Sistema/Data | Concentração na água da lagoa (ug/L) | | Estimativa da massa de nutrientes na lagoa (Kg) | | Estimativa da carga via aquífero (Kg/mês) | | Estimativa da contribuição do aquífero (%) | |
|--------------|---|-------|---|-------|---|------|--|-------|
| LCM | Volume = 719.867 m³ | | | | | | | |
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT | NT | PT |
| 24/04/03 | 384,71 | 27,06 | 276,94 | 19,48 | 22,61 | 0,96 | 8,16 | 4,92 |
| LCV | Volume = 11.622,75m³ | | | | | | | |
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT | NT | PT |
| 14/01/05 | 1092,20 | 19,41 | 12,69 | 0,23 | 0,22 | 0,04 | 1,71 | 18,00 |
| LCQ | Volume = 1.012.957,36m³ | | | | | | | |
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT | NT | PT |
| 14/01/05 | 478,35 | 63,83 | 484,55 | 64,65 | 11,27 | 8,75 | 2,33 | 13,54 |

A TABELA 59 mostra as estimativas de contribuições médias similares da água subterrânea para o nitrogênio (16,6 %) e fósforo (16,2 %) com altos coeficientes de variação, no sistema Lagoa do Camargo. Contribuições superiores a 30 % foram estimadas nos meses de fevereiro/04 e março/05 para o nitrogênio e no mês de novembro/03 para o fósforo. No ambiente com o maior grau de conectividade (LCQ) foram estimados os menores valores de contribuição do aquífero entre os sistemas estudados (TABELA 60). As contribuições para o nitrogênio atingiram 20 % com média de 6,23 % e para o fósforo oscilou entre valores inferiores a 1% até próximo de 14%, com média de 4,42 %, apresentando também um elevado coeficiente de variação para os dois elementos.

As estimativas para a Lagoa dos Cavalos (TABELA 61) mostraram que os valores médios de contribuição da água subterrânea para a lagoa foram maiores para o fósforo (11,18 %) quando comparados com o nitrogênio (6,91%). Esse comportamento pode ser justificado, considerando-se que as fontes de aporte de fósforo em sistemas aquáticos isolados são restritas (processos erosivos, escoamento superficial) e dessa forma a contribuição pela água subterrânea tende a aumentar sua importância quando não ocorrem sobrecargas antrópicas desse elemento.

O aporte de nutrientes nos sistemas lacustres não produziu variações significativas na qualidade da água desses ambientes.

TABELA 59 – Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa do Camargo, nos meses com condição de rio influente.

| Sistema/Data | Concentração na água da lagoa (ug/L) | | Estimativa da massa de nutrientes na lagoa (Kg) | | Estimativa da carga via aquífero (Kg/mês) | | Estimativa da contribuição do aquífero (%) | |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------|---|-------|---|------|--|-------|
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT | NT | PT |
| V= 719.867 m³ | | | | | | | | |
| 24/04/03 | 384,71 | 27,06 | 276,94 | 19,48 | 22,61 | 0,96 | 8,16 | 4,92 |
| 20/11/03 | 146,29 | 30,50 | 105,31 | 21,96 | 15,88 | 6,77 | 15,08 | 30,85 |
| 19/12/03 | 705,26 | 39,00 | 507,69 | 28,07 | 12,97 | 4,65 | 2,55 | 16,56 |
| 13/02/04 | 290,55 | 23,11 | 209,15 | 16,63 | 63,11 | 4,55 | 30,18 | 27,34 |
| 12/03/04 | 327,16 | 30,50 | 235,51 | 21,96 | 62,19 | 4,40 | 26,41 | 20,06 |
| 16/04/04 | 303,62 | 24,05 | 218,57 | 17,32 | 22,33 | 2,93 | 10,22 | 16,92 |
| 12/11/04 | 129,60 | 15,88 | 93,29 | 11,43 | 7,58 | 1,59 | 8,12 | 13,95 |
| 10/12/04 | 476,77 | 12,88 | 343,21 | 9,28 | 29,56 | 1,06 | 8,61 | 11,45 |
| 14/01/05 | 397,44 | 74,79 | 286,10 | 53,84 | 27,95 | 0,78 | 9,77 | 1,45 |
| 11/02/05 | 273,02 | 26,02 | 196,54 | 18,73 | 38,19 | 3,38 | 19,43 | 18,04 |

continua...

TABELA 59 – Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa do Camargo, nos meses com condição de rio influente.

conclusão...

| | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 15/03/05 | 216,77 | 29,46 | 156,05 | 21,20 | 51,95 | 3,20 | 33,29 | 15,08 |
| 15/04/05 | 126,27 | 20,17 | 90,90 | 14,52 | 24,41 | 2,52 | 26,9 | 17,4 |
| | | | | | | Mínimo | 2,55 | 1,45 |
| | | | | | | Máximo | 33,29 | 30,85 |
| | | | | | | Média | 16,56 | 16,17 |
| | | | | | | D P | 10,30 | 8,16 |
| | | | | | | CV (%) | 62 | 50 |

TABELA 60 – Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa do Coqueiral, nos meses com condição de rio influente.

| Data | Concentração na água da lagoa (ug/L) | | Estimativa da massa de nutrientes na lagoa (Kg) | | Estimativa da carga via aquífero (Kg/mês) | | Estimativa da contribuição do aquífero (%) | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------|---|--------|---|------|--|-------|
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT | NT | PT |
| V= 1.012.957,36 m³ | | | | | | | | |
| 24/04/03 | 399,17 | 53,25 | 404,34 | 53,94 | 29,99 | 1,48 | 7,42 | 2,75 |
| 20/11/03 | 140,55 | 57,50 | 142,37 | 58,25 | 4,41 | 1,67 | 3,10 | 2,87 |
| 19/12/03 | 143,90 | 54,19 | 145,76 | 54,89 | 3,27 | 0,69 | 2,24 | 1,26 |
| 13/02/04 | 402,17 | 54,20 | 407,38 | 54,90 | 9,57 | 0,33 | 2,35 | 0,60 |
| 12/03/04 | 321,77 | 132,00 | 325,94 | 133,71 | 49,96 | 0,56 | 15,33 | 0,42 |
| 16/04/04 | 675,42 | 60,68 | 684,17 | 61,47 | 137,44 | 8,08 | 20,09 | 13,14 |
| 12/11/04 | 724,17 | 23,18 | 733,55 | 23,48 | 7,46 | 0,08 | 1,02 | 0,35 |
| 10/12/04 | 605,57 | 15,30 | 613,41 | 15,50 | 20,22 | 0,26 | 3,30 | 1,71 |
| 14/01/05 | 478,35 | 63,83 | 484,55 | 64,65 | 11,27 | 8,75 | 2,33 | 13,54 |
| 11/02/05 | 273,02 | 93,59 | 276,56 | 94,81 | 28,39 | 1,81 | 10,26 | 1,91 |

continua...

TABELA 60 – Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa do Coqueiral, nos meses com condição de rio influente.

conclusão...

| | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 15/03/05 | 792,80 | 92,05 | 803,07 | 93,24 | 38,35 | 6,92 | 4,78 | 7,42 |
| 15/04/05 | 414,28 | 20,17 | 419,65 | 20,43 | 10,61 | 1,44 | 2,53 | 7,03 |
| | | | | | | Mínimo | 1,02 | 0,35 |
| | | | | | | Máximo | 20,09 | 13,54 |
| | | | | | | Média | 6,23 | 4,42 |
| | | | | | | D P | 6,03 | 4,78 |
| | | | | | | CV (%) | 97 | 108 |

Os resultados apresentados nas tabelas 21 e 25 mostram que as concentrações de nitrogênio na água não apresentaram variação entre a lagoa, rio e aquífero. Para os teores de fósforo, o compartimento lântico apresentou oscilações na desse elemento, alternando características similares de concentração entre o ambiente lótico e aquífero freático. Essa característica observada pode estar associada à capacidade de retenção e liberação de nutrientes do ecótono formado na zona de descarga entre os sistemas.

TABELA 61 – Estimativas da contribuição em porcentagem de nitrogênio e fósforo total via aquífero freático para o sistema Lagoa dos Cavalos, nos meses com condição de rio influente.

| Data | Concentração na água da lagoa (ug/L) | | Estimativa da massa de nutrientes na lagoa (Kg) | | Estimativa da carga via aquífero (Kg/mês) | | Estimativa da contribuição do aquífero (%) | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|---|------|---|------|--|-------|-------|
| | NT | PT | NT | PT | NT | PT | NT | PT | |
| V= 1.012.957,36 m³ | | | | | | | | | |
| 22/08/03 | 189,59 | 76,51 | 2,20 | 0,89 | 0,13 | 0,02 | 5,95 | 2,12 | |
| 20/11/03 | 324,42 | 90,50 | 3,77 | 1,05 | 0,08 | 0,03 | 2,11 | 2,72 | |
| 19/12/03 | 370,14 | 43,26 | 4,30 | 0,50 | 0,08 | 0,01 | 1,79 | 1,78 | |
| 13/02/04 | 302,04 | 43,69 | 3,51 | 0,51 | 1,00 | 0,16 | 28,46 | 31,67 | |
| 10/12/04 | 990,44 | 16,59 | 11,51 | 0,19 | 0,16 | 0,02 | 1,41 | 10,80 | |
| 14/01/05 | 1092,20 | 19,41 | 12,69 | 0,23 | 0,22 | 0,04 | 1,71 | 18,00 | |
| | | | | | | | Mínimo | 1,41 | 1,78 |
| | | | | | | | Máximo | 28,46 | 31,67 |
| | | | | | | | Média | 6,91 | 11,18 |
| | | | | | | | D P | 10,70 | 11,90 |
| | | | | | | | CV (%) | 155 | 106 |

O efeito das contribuições de nutrientes pelo aquífero freático nos sistemas aquáticos superficiais adjacentes apresenta oscilações em função das características da zona de transição (zona de descarga). Segundo Maître et al (2003), a vegetação ripária é considerada, freqüentemente, um ecótono importante que reduz a carga de nutrientes via água subterrânea descarregada em rios. Os autores encontraram, em um estudo nas margens do rio Morand na Suíça, reduções nas concentrações de nitrato oscilando entre 27% e 38% no inverno e no verão, impulsionada pelo incremento do metabolismo da vegetação, as taxas alcançaram 60%.

A água subterrânea transporta nutrientes que são oriundos do processo de infiltração do solo. O sentido do fluxo subterrâneo é um dos parâmetros mais importantes na avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas pois, juntamente com outras informações hidrogeológicas é indispensável no estudo da evolução de plumas de contaminação.

Os resultados do presente trabalho mostraram que em uma escala local de observação da superfície piezométrica ocorrem alterações pontuais no gradiente hidráulico, em função das alterações nas características hidrodinâmicas, em especial no tempo de residência da água, de ecossistemas aquáticos continentais.

Mapas hidrogeológicos de grande escala comumente utilizados, englobam escalas de 1:20.000 a 1:100.000 e excepcionalmente a 1:200.000, e são sínteses na qual a finalidade essencial é a de prover dados com vistas à exploração e a utilização dos recursos de águas subterrâneas disponíveis e do estudo de todo o problema regional baseado nas águas subterrâneas (drenagem, extração, recarga artificial, obras, etc.). A obtenção dos mapas de isopiezas (mapas piezométricos)

em curvas se baseia na medição em campo dos níveis piezométricos e respectivo traslado e interpretação sobre mapas topográficos.

A característica do trabalho, sua finalidade e os possíveis usuários devem atentar para a necessidade de geração de curvas equipotenciais da superfície piezométrica que considerem a influência da precipitação pluviométrica nos diferentes corpos d'água presentes na área de estudo.

CONCLUSÕES

O estudo da influência do aquífero livre na dinâmica e suprimento de nutrientes para os sistemas aquáticos adjacentes na zona de desembocadura do Rio Paranapanema na represa de Jurumirim nos permitiu concluir que:

1. A escala temporal exerceu influência na maioria das variáveis estudadas. Para nitrogênio total, fósforo total e alumínio ocorreram aumentos de suas concentrações com o tempo. Em contrapartida para pH, condutividade elétrica, cálcio, magnésio, manganês, zinco e cobalto, houve uma relação inversa com o tempo. Para as demais variáveis (sódio e molibdênio) não foi identificado efeito da escala temporal.
2. Para as variáveis pH, condutividade elétrica e sódio foram detectadas diferenças no padrão de variabilidade de seus valores entre os três ambientes estudados. O padrão de variação das concentrações de nitrogênio total, fósforo total e alumínio no sistema Lagoa dos Cavalos é distinto dos demais. Uma peculiaridade no comportamento dos valores de cálcio, magnésio e manganês foi encontrada na Lagoa do Coqueiral, que a torna diferente dos dois outros sistemas. Para os teores de cobalto, a Lagoa do Camargo é diferente dos demais. Em relação as demais variáveis (zinco, bário e molibdênio) não foram identificadas diferenças entre os ambientes.

3. Considerando-se o padrão de variação da maioria das variáveis (pH, cálcio, magnésio, sódio, alumínio, bário, zinco e cobalto), a água subterrânea (compartimento P) diferenciou-se dos compartimentos R (água do rio) e L (água da lagoa). Para o variável fósforo total, foram identificadas diferenças apenas entre a água do aquífero e água do rio. Em relação à condutividade elétrica e ao manganês, houve diferenças nos três compartimentos estudados (água subterrânea, água do rio e água da lagoa). Para nitrogênio total e o molibdênio, não foram encontradas variabilidade espacial (efeito dos compartimentos).
4. O gradiente hidráulico nos sistemas conectados (Lagoa do Camargo e Lagoa do Coqueiral) variou em função da época do ano. O ambiente lótico foi caracterizado como influente no período de chuvas e no período de seca as lagoas, preferencialmente, assumiram essa condição.
5. No sistema isolado (Lagoa dos Cavalos) a quota do nível de água da lagoa apresentou, em relação ao Rio Paranapanema, valores mais elevados em 16 meses, mostrando que em aproximadamente 64% do período estudado, a lagoa sofre um processo de drenagem em direção ao rio, via aquífero freático e no restante do período (36%) o ambiente lótico é influente, invertendo o sentido do fluxo.
6. Estimativas da contribuição de nitrogênio total e fósforo total, via água subterrânea, para o sistema Lagoa do Camargo oscilaram entre 3% a 33%

(média de 17%) e de 1% a 31% (média de 16%), respectivamente, do conteúdo total na água da lagoa.

7. No sistema Lagoa do Coqueiral, a variação do aporte, via água subterrânea, foi de 1% a 20% (média de 6%) para o nitrogênio total e de <1% a 14% (média de 4%) para o fósforo total, do conteúdo total do ambiente lacustre.

8. No sistema isolado Lagoa dos Cavalos as estimativas da contribuição, via água subterrânea em relação ao conteúdo total da lagoa, foram maiores para o fósforo total (mínimo= 2%, máximo= 32% e média= 11%) quando comparadas com as estimadas para o nitrogênio total (mínimo= 1%, máximo= 28% e média= 7%). Essa característica indica que em sistemas isolados, a carga difusa de fósforo via aquífero freático pode assumir maior importância no metabolismo desses ambientes.

9. A movimentação de cargas de nutrientes transforma o aquífero em um depósito temporário desses elementos; esses compostos com a circulação da água podem retornar aos sistemas aquáticos superficiais (rios, lagos e reservatórios). Dessa forma as estratégias corretivas dos processos de contaminação e eutrofização de ecossistemas lacustres devem considerar a carga adicional oriunda da superfície freática na avaliação da problemática.

10. Estudos do gradiente hidráulico em escala local, como no presente trabalho, necessitam de levantamentos de campo mais detalhados onde a equidistância das curvas representem com precisão as medidas de base (níveis piezométricos), a qualidade do nivelamento topográfico e a densidade de pontos levantados. Durante o estudo foram observadas alterações na malha piezométrica em função do grau de conectividade dos sistemas lacustres com o rio e do regime de precipitação pluviométrica que devem ser considerados no planejamento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. ; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol.27, nº 2, p.373-378, 2003.
- AGUDO, E. G. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CETESB, 1989. 150p.
- ALVAREZ , V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 25-32.
- ANA Informações Hidrogeológicas. Disponível em:
<www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/aguasSubterr/mapaProvHdr> , 2004. Acesso em: maio/2005.
- A.W.W.A. Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. 15^a ed. New York, APHA, 1980. .
- BICUDO, C.E.M.; RAMÍREZ R., J.J.; TUCCI, A, BICUDO, D.C. Dinâmica de populações fitoplanctônicas em ambiente eutrofizado. In: RAOUL HENRY (ed.). **Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**, Ed. FAPESP / FUNDIBIO, Botucatu, 1999, p. 449-508.

- BONILLA, A. L. C. **Balço de nitrogênio em microbacias pareadas (floresta vs. Pastagem) no Estado de Rondônia**. Piracicaba. 2005. 69 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BOYLE, R.B. Design of a seepage meter for measuring groundwater fluxes in the nonlitoral zones of lakes – Evaluation in a boreal forest lake. **Limnol. Oceanogr.**, v.39, p. 670-681, 1994.
- BROERS, H.P., GRIFT B. Regional monitoring of temporal changes in groundwater quality. **Journal of Hydrology**, 296, p. 192–220, 2004.
- BRUNKE, M.; GONSER, T. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. **Freshwater Biology**, 37, p. 1-33, 1997.
- BRÜSCH, W., NILSSON, B. Nitrate transformation and water movement in a wetland area. **Hydrobiologia**, 251, p. 103–111, 1993.
- CABRAL, J.; KOIDE, S.; SIMÕES, S.J.C.; MONTENEGRO, S. Recursos hídricos subterrâneos. In: JOÃO B. DIAS DE PAIVA & ELOIZA M.C. DIAS DE PAIVA (ed). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**, Ed. ABRH, Porto Alegre, 2003, p. 237-282.
- CAICEDO, N. L. (2002). Água subterrânea. In: CARLOS E. M. TUCCI (ed.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, Ed. UFRGS / ABRH, Porto Alegre, 2002, p. 289-333.
- CARMELO A.C. **Caracterização de aquíferos fraturados por integração de informações geológicas e geofísicas**. 2002. 161p. Tese - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

- CARMO, C.F. (2000). **Aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e sua relação com os impactos antropogênicos em um lago urbano, São Paulo, SP, Brasil**. 2000. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER F. H. M.; TORNISIELO V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v.23, nº5, 2000.
- CARVALHO, E. D.; CASTRO, R. J.; SILVA, V. F. B.; VIDOTTO, A.P. (2003). A estrutura das assembléias de peixes nas zonas de ecótono da Represa de Jurumirim (Alto do Rio Paranapanema). In: Raoul Henry (Org.). **Ecotónos nas Interfaces do Ecossistemas Aquáticos**. RIMA Editora, São Carlos, 2003, p. 249-278.
- CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, São Paulo: CETESB, 1995, 382 p.
- CETESB. **Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001, 232p.
- CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: 2001 – 2003**. São Paulo: CETESB, 2004, 179p.
- CHERKAUER, D.S.; NADER, D.C. Distribution of groundwater seepage to large surface-water bodies: the effect of hydraulic heterogeneities. **J. Hydrol.**, v. 109, p. 151 – 165, 1989.
- COOD, A. G. Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. **Ecological Engineering**, v. 16, p. 51–60, 2000.

- COOPER, A.B. Nitrate depletion in the riparian zone and stream channel of a small headwater catchment. **Hydrobiologia**, v. 202, p. 13- 26, 1990.
- CROWE, A.S. Numerical modelling of the groundwater contribution to the hydrological budget of lakes. In: **Selected papers on hidrology**. (Ed.) Simpson, E.S. and Sharp, J.M.Jr., 1990, vol. 1.
- DANIELOPOL, D.L. The role of the limnologist in ground water studies. *Int. Ver. **Gesamten Hydrobiol.*** V. 65, p. 777-791, 1980.
- DANIELOPOL, D.L.; GRIEBLER, C.; GUNATILAKA, A.; NOTENBOOM, J. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. **Environmental Conservation**. 30 (2): 104–130, 2003.
- DHONDT, K; BOECKX, P.; CLEEMPUT, O.; HOFMAN, G.; TROCH, F. Seasonal groundwater nitrate dynamics in a riparian buffer zone. **Agromomie** 22: 47–753, 2002.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, 1999, 12p..
- FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J. (Coords.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM; LABHID - UFPE, 1997. 412 p.
- FELLOWS, H.R. & BREZONIK, P.L. Seepage flow into Florida lakes. **Water Res. Bull.** v. 16, p. 635 – 641, 1980.
- FETTER, C.W. **Applied hydrogeology**. Prentice Hall. 1994, 691 p.
- FOLLET, R.F.; DELGADO, J.A. Nitrogen fate and transport in agricultural systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 52, n^o6, p. 402-408, 2002.

- FRAPE, S.K. Chemistry of interstitial water and bottom sediments as indicators of seepage patterns in Perch Lake, Chalk River, Ontario. **Limnol. Oceanogr.**, v. 26, p. 500 – 517, 1981.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. **Groundwater**, Prentice-Hall, 1979, 604 p.
- FURCH, K. Evaluation of groundwater input as major source of solutes in na Amazon floodplain lake during the low water period. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 27, p. 412-415, 2000.
- GARCIA, R.V.; OLIVEIRA,M.L.; MELLO, J.W.V.; PRIMAVERSI, O. Alteração do caráter eletroquímico de um latossolo vermelho-amarelo do Estado de São Paulo sob diferentes sistemas de manejo. **UNIMONTES CIENTÍFICA**. Montes Claros, v.5, n.1, 2003.
- GIBERT J. Groundwater systems and their boundaries: Conceptual framework and prospects in groundwater ecology. **Verh Internat Verein Limnol**, 24:1605–1608, 1991.
- GIRARD, P.; SILVA, C.J.; ABDO, M. River-groundwater interactions in the Brazilian Pantanal. The case of the Cuiabá River. **Journal of hydrology**, 283: 57-66, 2003.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978, 213 p..
- GRAPES, T. R.; BRADLEY C.; PETTS, G. E. Dynamics of river-aquifer interactions along a chalk stream: the River Lambourn, UK. **Hydrological Processes**, 19 (10), p. 2035-2053, 2005.
- GROFFMAN, P.M.; HOWARD, G.; GOLD, A. J.; NELSON, W.M. Microbial nitrate processing in shallow groundwater in a riparian forest. **J. Environ. Qual.**, v.25, p. 1309 – 1316, 1996.

- HANCOCK, P.J.; BOULTON, A.J.; HUMPHREYS, W.F. Aquifers and hiporheic zones: Towards an ecological understanding of groundwater. **Hydrogeol Journal**, 13, p 98-111, 2005.
- HANSON, G.C.; GROFFMAN, P.M.; GOLD, A.J. Denitrification in riparian wetlands receiving high and low groundwater nitrate inputs. **J. Environ. Qual.**, v.23, p 917 – 922, 1994.
- HAVENS, K. E.; AUMEM, N. G.; JAMES, R.T.; SMITH, V. H. Rapid ecological changes in a large subtropical lake undergoing cultural eutrophication. **Ambio**, 25: 150-155, 1996.
- HENRY, R. The connectivity of the Paranapanema river with two lateral lakes in its mouth zone into the Jurumirim Reservoir. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 17, n. 1, p. 57-69, 2005.
- HENRY, R. ; PANARELLI, E.A. ; CASANOVA, S.M.C. ; SUIBERTO, M. ; AFONSO, A.A.O. Interações hidrológicas entre lagoas marginais e o Rio Paranapanema na zona de sua desembocadura na Represa de Jurumirim. In: Nogueira, M. N.; Henry, R.; Jorcim, A.. (Org.). **Ecologia de Reservatórios. Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. São Carlos, RIMA Editora, 2005, p. 57-82.
- HENRY, R.; NOGUEIRA, M.G. A Represa de Jurumirim (São Paulo). In: HENRY, R. (ed.). **Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**, Ed. FAPESP / FUNDIBIO, Botucatu, 1999, pag. 449-508.
- HYPOLITO, R.; NASCIMENTO, S. C. Comportamento de íons metálicos em solos, sedimentos, águas superficiais e subterrâneas no Córrego da Anta, S. J. do Rio Preto-SP. **Revista Águas Subterrâneas**, 18, p 55-65, 2004.
- JOHN, P.H. & LOCK, M.A. The spacial distribution of groundwater discharge into the littoral zone of a New Zealand lake. **J. Hidrol.** v. 33, p. 391 – 395, 1977.

- KISHEL, H. F.; GERLA P. J. Characteristics of preferential flow and groundwater discharge to Shingobee Lake, Minnesota, USA. **Hydrological Processes**. 16, 1921–1934, 2002.
- LEE, D.R. A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. **Limnol. Oceanogr.** V. 22, p. 140 – 147, 1977.
- LEMES, M. J. L. (2001). **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo**. 2001. 215 p. Dissertação, Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares - Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LESACK, L.F.W. Seepage exchange in an Amazon floodplain lake. **Limnol. Oceanogr.**, v. 40 (3), p. 598 – 609, 1995.
- LIKENS, G.E. & BORMANN, F.H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. **BioScience**, v. 24, p. 447-456, 1974.
- LOCK, M.A. & JOHN, P.H. The measurement of groundwater discharge into a lake by a direct method. **Int. Revue ges. Hydrobiol.**, v. 63, p. 271 – 275, 1978.
- LOPES, A. S. & GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise do solo - Conceitos e Aplicações**. Instituto Agrônomo, Campinas. 1992. 64 p. (Boletim técnico).
- LOWRANCE, R.R. The potential role of riparian forests as buffer zones. In: Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G. (Eds.), **Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection**, 1996, p. 128–133.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. Water analysis: some revised methods for limnologists. **Freshwater Biological Association**. Scientific Publication, nº 36. Titus Wilson & Son Ltd., Kendall, 1978, 117p.

- MAÎTRE, V; COSANDEYB, A; DESAGHERA, E.; PARRIAUX, A. Effectiveness of groundwater nitrate removal in a river riparian area: the importance of hydrogeological conditions. **Journal of Hydrology**, 278: 76–93, 2003.
- MARTÍ, E.; FISHER, S.G.; SCHADE, J.D.; WELTER, J.R.; GRIMM, N.B. Hydrological and chemical linkages between the active channel and the riparian zone in an arid land stream. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 27: 442-447, 2000.
- MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo**. 2001. 172 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- MATTIAZZO, M.E.; GLÓRIA, N.A. Parâmetros para adição a solos de resíduos contendo metais. I: Estudos com soluções. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. Viçosa. MG, 23-29/07/1995. **Resumos expandidos**. Viçosa : SBCS, 1995, p.2315-17.
- MILANI, D.M. **Análise da interação rio-aquífero em bacias hidrográficas e desenvolvimento de modelo numérico tridimensional**. 1992. 146 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- MIRANDA, S.A.F. (1997). **Entradas não fluviais de nitrogênio e fósforo na represa do Lobo**. 1997. 72 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
- MIRANDA, S.A.F. & MATVIENKO, B. Rain and groundwater as phosphorus sources of a small reservoir. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, 8: 27–30, 2003.
- MONTOROI, J; GRUNBERGER, O; NASRI, S. Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. **Applied Geochemistry**, 17: 1047–1060, 2002.

- MOREL, F.. **Interpretação de Resultados de Análise de Solo**. Obtido em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/solinterpreta.htm>>, consultado em out/2005.
- MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M.L.M.; HENRY, R. Dinâmica da comunidade perifítica na zona de desembocadura do Rio Paranapanema. In: HENRY, R. (ed.). **Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**, Ed. FAPESP / FUNDIBIO, Botucatu, 1999, pag. 449-508.
- NUVOLARI, A.; CORAUCCI FILHO, B. ; FADINI, P. S. ; SILVA, M. B.. Aplicação de lodo de esgoto municipal no solo: Influência na capacidade de campo. In: XI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 1996, Campinas. XI CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - **ANAIS**, 1996. v. 1. p. 406-411.
- OXTOBEE, J. P.A.; NOVAKOWSKI, K. A field investigation of groundwater/surface water interaction in a fractured bedrock environment. **Journal of Hydrology**, 269: 169–193, 2002.
- PANARELLI, E. A. **Flutuações mensais da comunidade zooplanctônica e dinâmica das populações de Cladocera em três lagoas marginais, na região de transição Rio Paranapanema - Represa de Jurumirim (SP)**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia)) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2004.
- PEDRO, F. (2003). **Ciclo hidrológico e dinâmica de dois rios intermitentes da região semi-árida do Brasil, com ênfase em macrófitas aquáticas**. 2003, 105 p., Tese (Doutorado) – Universidade de Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
- POMPÊO, M. L. M. ; HENRY, R. ; MOSCHINI-CARLOS, V. . Dinâmica da comunidade perifítica na zona de desembocadura do Rio Paranapanema, Represa de Jurumirim, SP.. In: R. Henry (ed.). (Org.). **Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNDIBIO/FAPESP, 1999, p. 711-734.

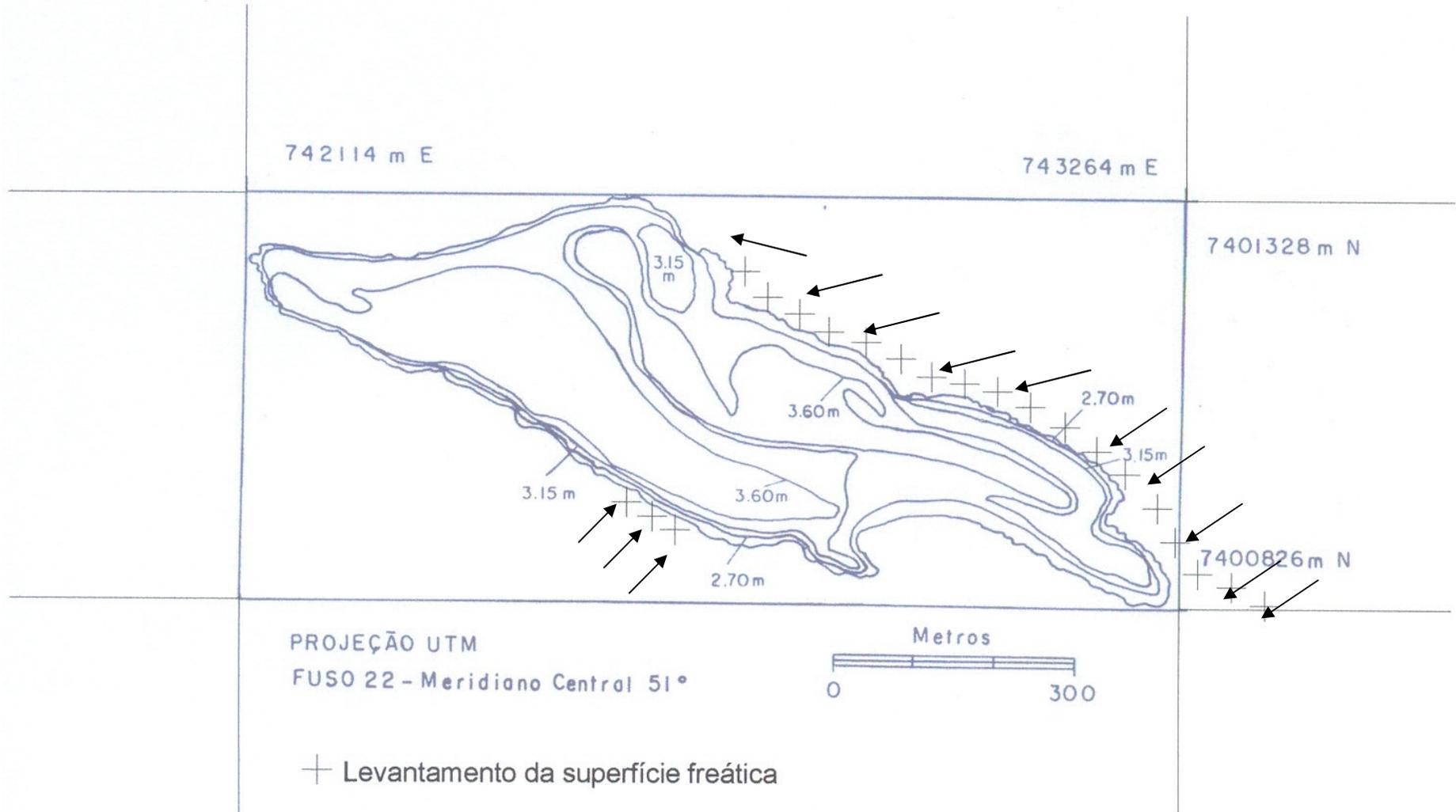
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Instituto Agrônomo, Campinas. 1983, 26 p. (Boletim técnico)
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS et al. **Águas Doces no Brasil**. Ed. Escrituras, São Paulo. 1999a , cap. 01, pág. 01-37.
- REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS et al. **Águas Doces no Brasil**. Ed. Escrituras, São Paulo. 1999b, cap. 04, pág. 117-151.
- ROSS, J.L.S. (1981). **Qualidade da água subterrânea no espaço urbano da grande São Paulo**. 1981. 120 p. Tese – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.
- SABESP / CEPAS. **Diagnóstico Hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo**. Relatório Final. Convênio SABESP/CEPAS-IGc-USP. São Paulo. 1994, 115p.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M.; TRÉMOLIÈRES, M. Change in groundwater chemistry as a consequence of suppression of floods: the case of the Rhine floodplain. **Journal of Hydrology**, 270, p. 89–104, 2003.
- SANTOS, A. C. 2^o Curso de Tecnologia Hidrogeológica Aplicada. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Pernambuco, 4 set. a 16 dez. **Apostila**, 1995, 60 p..
- SANTOS, U.M., RIBEIRO, M.N.G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. **Acta Amaz.**, v.18, p.145-72, 1988.
- SCHNABEL, R.R.; CORNISH, L.F.; STOUT, W.L.; SHAFFER, J.A. Denitrification in a grassed and a wooded, valley and ridge, riparian ecotone. **J. Environ. Qual.**, v. 25, p. 1230-1235, 1996.

- SCOPEL, R. M.; TEIXEIRA, E. C.; BINOTTO, R. B. Caracterização hidrogeoquímica de água subterrânea em área de influência de futuras instalações de usinas hidrelétricas – bacia hidrográfica do rio Taquarientas/ RS, Brasil. **Química Nova**, Vol. 28, N° 3, 383-392, 2005.
- SILVA, M.L. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). **Revista Escola de Minas**. Vol.54, n° 2, 21-31, 2001.
- SOAREZ, M. R. **Coefficiente de distribuição (K_D) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo**. 2004. 202 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. **Hydrogeol J.**, 10:52–67, 2002.
- STANLEY, E. H.; BOULTON, A. J. (1995). Hyporheic processes during flooding and drying in a Sonoran desert stream. Hydrologic and chemical dynamics. **Arch. Hydrobiol.**, v 134, n° 1, p. 1-26, 1995.
- STETZENBACH, K. J.; FARNHAM, I. M.; HODGE V. F.; JOHANNESSON, K. H. Using multivariate statistical analysis of groundwater major cation and trace element concentrations to evaluate groundwater flow in a regional aquifer. **Hydrological Processes**. v 13, 2655-2673, 1999.
- STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. A manual of sea water analysis. **Bull. Fish. Res. Bd. Can.**, 125: 1-185, 1960.
- SUIBERTO, M. R. **Distribuição espacial e temporal do icteoplâncton na sua zona de desembocadura na represa de Jurumirim, SP**. 2005. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2005.

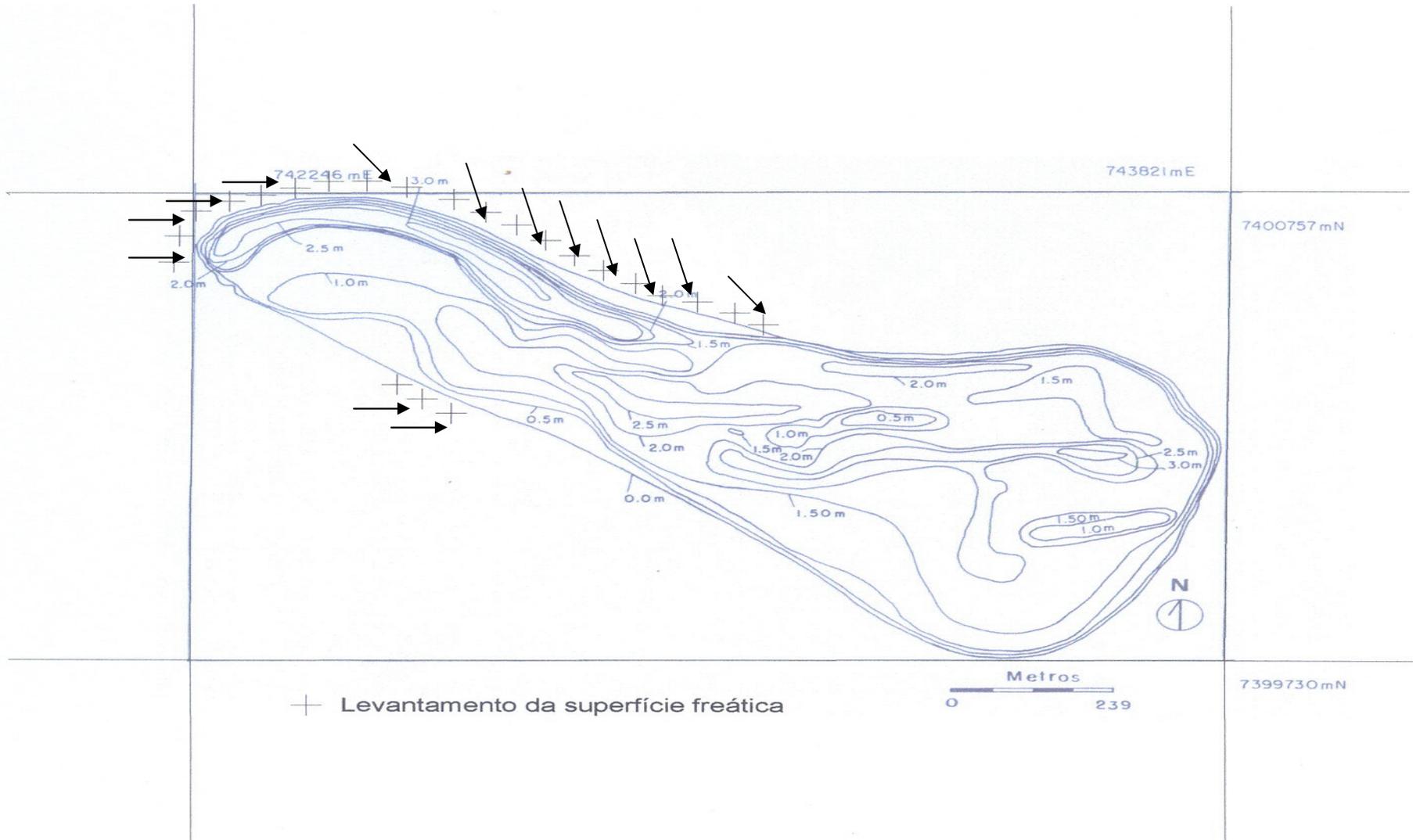
- TAKATERT, N., SANCHEZ-PEREZ, J.M., TREMOLIERES, M. Spatial and temporal variations of nutrients concentration in the groundwater of a floodplain: effect of hydrology, vegetation and substrate. **Hydrol. Processes**, 13, 1511–1526, 1999.
- TREMOLIERES, M., EGLIN, I., ROECK, U., CARBIENER, R. The exchange process between river and groundwater on the central Alsace floodplain (Eastern France): I. The case of a canalised river. **Hydrobiologia**, 254, 133–148, 1993.
- TRISKA, F.J.; JACKMAN, A.P.; DUFF, J.H.; AVANZINO, R.J. Nutrients contributed by “old” and “new” ground water to the Shingobee River MN, USA. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 28: 410-416, 2002.
- TUNDISI, J.G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicação e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (ed.). **Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**, Ed. FAPESP / FUNDIBIO, Botucatu, 1999, p. 19-38.
- VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine Chemistry**, v.10: 109-122, 1981.
- VANEK, V. Transport of groundwater-borne phosphorus to Lake Bysjön, South Sweden. **Hydrobiologia**, v. 251, p. 211–216, 1993.
- VIDAL, C. L.R. (2003). **Disponibilidade e gerenciamento sustentável do aquífero Serra Grande no Município de Picos – Piauí**. 2003. 208 p., Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- WETZEL, R. G. **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1993, 919 p.

APÊNDICES

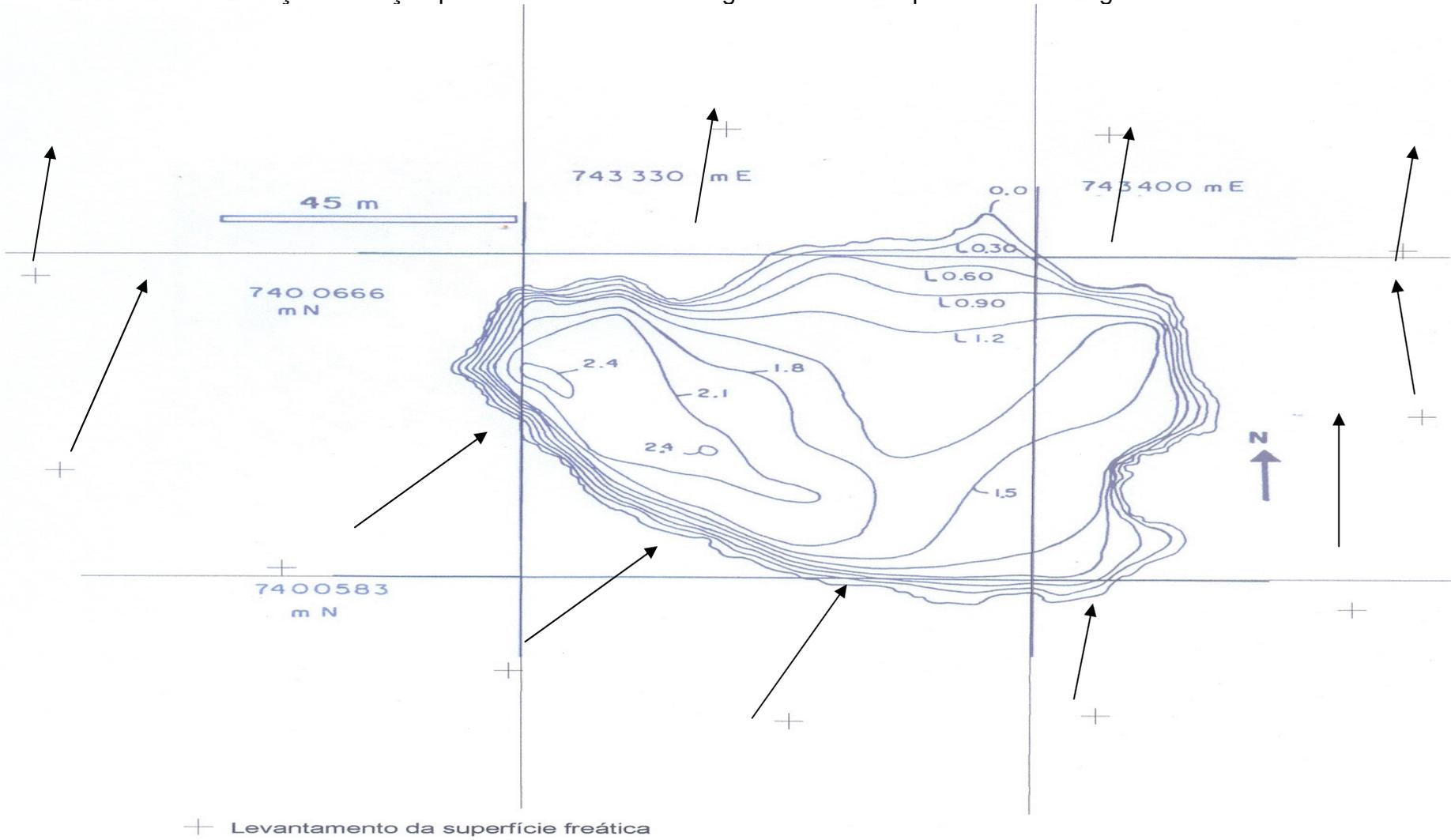
APÊNDICE A-1: Esboço da direção preferencial do fluxo da água subterrânea para o sistema Lagoa do Camargo.



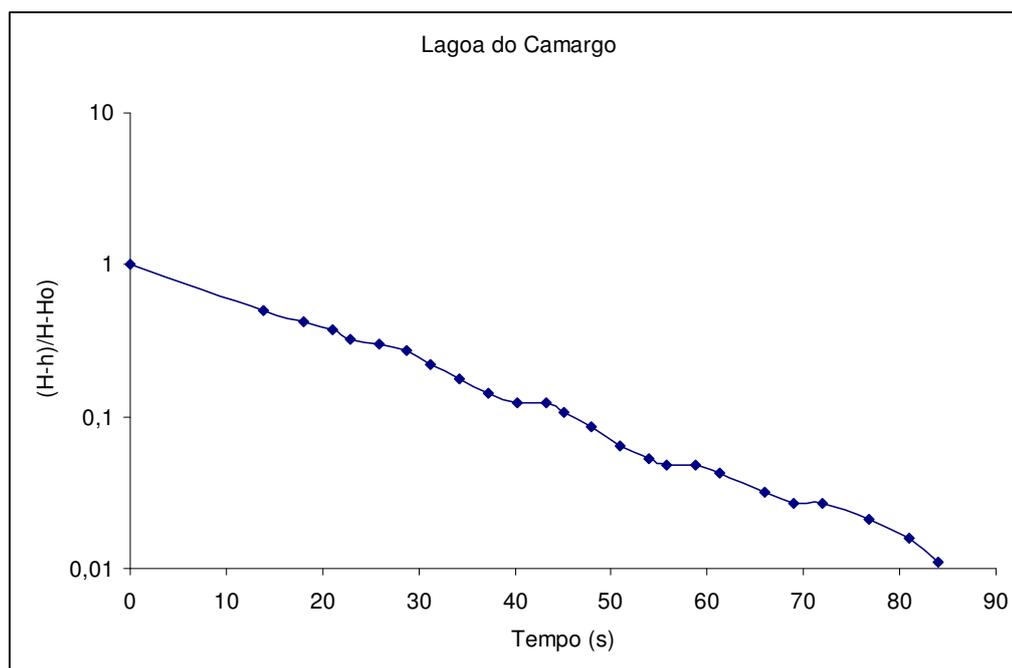
APÊNDICE A-2: Esboço da direção preferencial do fluxo da água subterrânea para o sistema Lagoa do Coqueiral.



APÊNDICE A-3: Esboço da direção preferencial do fluxo da água subterrânea pra o sistema Lagoa dos Cavalos.

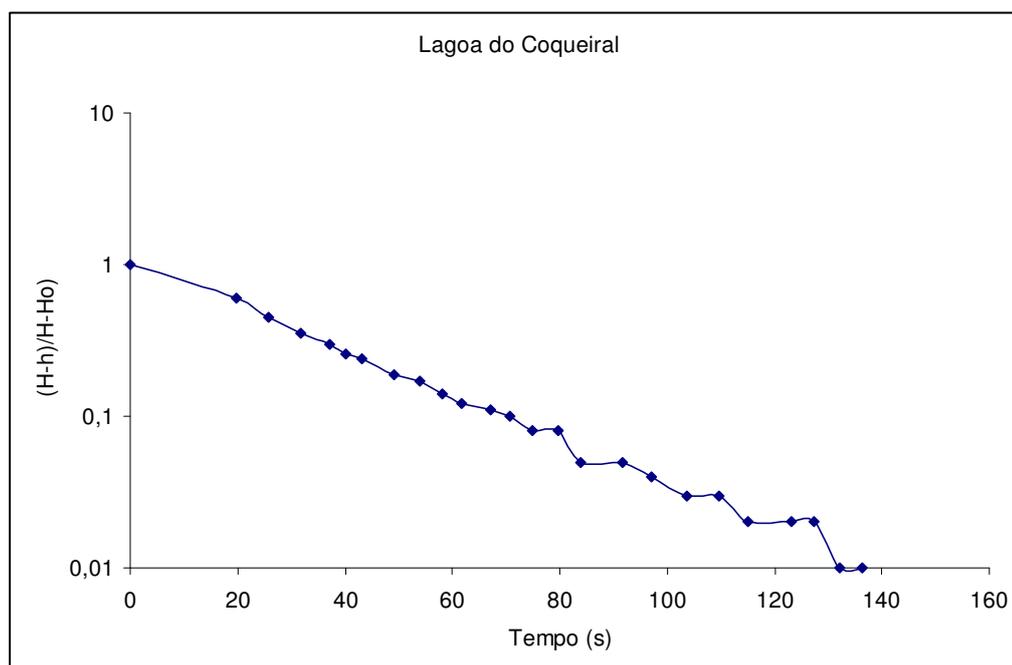


APÊNDICE B-1: Teste tipo slug no piezômetro dos sistemas Lagoa do Camargo.



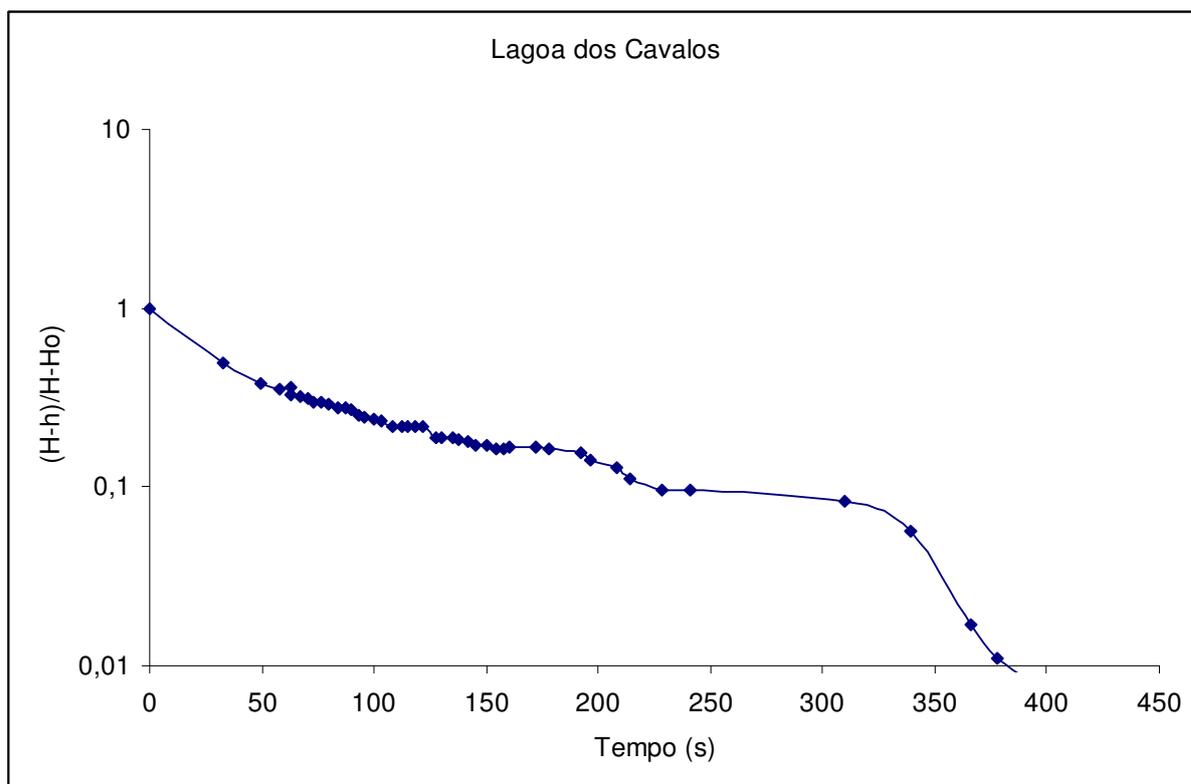
| Lagoa do Camargo | | |
|------------------|-----------|---------------|
| Tempo (s) | quota (m) | $(H-h)/H-H_0$ |
| 0,0 | 575,65 | 1,001 |
| 13,8 | 575,56 | 0,505 |
| 18,0 | 575,64 | 0,426 |
| 21,0 | 575,64 | 0,372 |
| 22,8 | 575,64 | 0,324 |
| 25,8 | 575,65 | 0,298 |
| 28,8 | 575,65 | 0,271 |
| 31,2 | 575,64 | 0,218 |
| 34,2 | 575,64 | 0,176 |
| 37,2 | 575,64 | 0,144 |
| 40,2 | 575,65 | 0,122 |
| 43,2 | 575,65 | 0,122 |
| 45,0 | 575,65 | 0,106 |
| 48,0 | 575,65 | 0,085 |
| 51,0 | 575,65 | 0,064 |
| 54,0 | 575,65 | 0,053 |
| 55,8 | 575,65 | 0,048 |
| 58,8 | 575,65 | 0,048 |
| 61,2 | 575,65 | 0,043 |
| 66,0 | 575,65 | 0,032 |
| 69,0 | 575,65 | 0,027 |
| 72,0 | 575,65 | 0,027 |
| 76,8 | 575,65 | 0,021 |
| 81,0 | 575,65 | 0,016 |
| 84,0 | 575,65 | 0,011 |

APÊNDICE B-2: Teste tipo slug no piezômetro do sistema Lagoa do Coqueiral.



| Lagoa do Coqueiral | | |
|--------------------|-----------|------------|
| Tempo (s) | quota (m) | (H-h)/H-Ho |
| 0,0 | 575,05 | 1,001 |
| 19,8 | 574,3 | 0,6 |
| 25,8 | 574,02 | 0,45 |
| 31,8 | 573,83 | 0,35 |
| 37,2 | 573,74 | 0,3 |
| 40,2 | 573,67 | 0,26 |
| 43,2 | 573,63 | 0,24 |
| 49,2 | 573,53 | 0,19 |
| 54,0 | 573,49 | 0,17 |
| 58,2 | 573,44 | 0,14 |
| 61,8 | 573,44 | 0,12 |
| 67,2 | 573,4 | 0,11 |
| 70,8 | 573,38 | 0,1 |
| 75,0 | 573,37 | 0,08 |
| 79,8 | 573,33 | 0,08 |
| 84,0 | 573,32 | 0,05 |
| 91,8 | 573,28 | 0,05 |
| 97,2 | 573,27 | 0,04 |
| 103,8 | 573,25 | 0,03 |
| 109,8 | 573,24 | 0,03 |
| 115,2 | 573,23 | 0,02 |
| 123,0 | 573,22 | 0,02 |
| 127,2 | 573,21 | 0,02 |
| 132,0 | 573,2 | 0,01 |
| 136,2 | 573,19 | 0,01 |

APÊNDICE B: Teste tipo slug no piezômetro do sistema Lagoa dos Cavalos.



| Lagoa dos Cavalos | | | | | |
|-------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| Tempo (s) | quota (m) | (H-h)/H-Ho | Tempo (s) | quota (m) | (H-h)/H-Ho |
| 0,0 | 574,95 | 1,001 | 127,2 | 574,61 | 0,190 |
| 33,0 | 574,87 | 0,492 | 130,2 | 574,6 | 0,190 |
| 49,2 | 574,91 | 0,38 | 135,0 | 574,59 | 0,190 |
| 58,2 | 574,85 | 0,355 | 138,0 | 574,58 | 0,184 |
| 63,0 | 574,84 | 0,358 | 142,2 | 574,58 | 0,179 |
| 63,0 | 574,83 | 0,324 | 145,2 | 574,56 | 0,173 |
| 67,2 | 574,8 | 0,318 | 150,0 | 574,56 | 0,173 |
| 70,2 | 574,8 | 0,313 | 154,2 | 574,57 | 0,162 |
| 73,2 | 574,79 | 0,296 | 157,8 | 574,57 | 0,162 |
| 76,8 | 574,77 | 0,296 | 160,2 | 574,56 | 0,168 |
| 79,8 | 574,77 | 0,291 | 172,2 | 574,55 | 0,168 |
| 84,0 | 574,75 | 0,279 | 178,2 | 574,52 | 0,162 |
| 87,0 | 574,72 | 0,279 | 192,0 | 574,5 | 0,156 |
| 90,0 | 574,71 | 0,268 | 196,8 | 574,47 | 0,140 |
| 93,0 | 574,7 | 0,251 | 208,2 | 574,44 | 0,128 |
| 96,0 | 574,69 | 0,246 | 214,2 | 574,44 | 0,112 |
| 100,2 | 574,66 | 0,24 | 228,0 | 574,42 | 0,095 |
| 103,2 | 574,66 | 0,235 | 241,2 | 574,37 | 0,095 |
| 108,0 | 574,66 | 0,218 | 310,2 | 574,3 | 0,084 |
| 112,2 | 574,66 | 0,218 | 339,0 | 574,29 | 0,056 |
| 115,2 | 574,66 | 0,218 | 366,0 | 574,28 | 0,017 |
| 118,2 | 574,61 | 0,218 | 378,0 | 573,18 | 0,011 |
| 121,8 | 574,61 | 0,218 | 410,0 | 573,17 | 0,006 |

APÊNDICE C: Comparação entre os valores mínimos e máximos obtidos nos três sistemas estudados e os valores de referência estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 e Portaria 518/04.

| Variáveis estudadas | CONAMA 357/05 MMA | PORTARIA Nº 518/04 MS | Lagoa do Camargo | | Lagoa do Coqueiral | | Lagoa dos Cavalos | |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | | Rio | Lagoa | Rio | Lagoa | Rio | Lagoa |
| pH | 6,0-9,0 | 6,0-9,5 | 6,3 - 7,2 | 5,6 - 7,4 | 5,8 - 7,1 | 6,2 - 7,0 | 6,0 - 6,6 | 5,6 - 6,8 |
| Alumínio (mg/L) | | 0,2 | 0,10 - 0,18 | 0,10 - 0,49 | 0,10 - 0,22 | 0,10 - 0,11 | 0,10 - 0,33 | 0,10 - 0,41 |
| Bário (mg/L) | 0,7 | 0,7 | 0,021 - 0,032 | 0,018 - 0,071 | 0,019 - 0,165 | 0,010 - 0,167 | 0,019 - 0,049 | 0,019 - 0,069 |
| Cobalto (mg/L) | 0,05 | | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Fósforo total (mg/L) ambiente lântico | 0,02 | | | 0,002 - 0,187 | | 0,013 - 0,136 | | 0,007 - 0,186 |
| Fósforo total (mg/L) ambiente lótico | 0,1 | | 0,006 - 0,112 | | 0,005 - 0,171 | | 0,004 - 0,314 | |
| Manganês (mg/L) | 0,1 | 0,1 | 0,01 - 0,76 | 0,01 - 0,37 | 0,01 - 0,59 | 0,03 - 1,07 | 0,02 - 0,58 | 0,015 - 0,43 |
| Molibdênio | | | | | | | | |
| Sódio | | 200 | 1,96-3,66 | 2,18-3,53 | 1,48-3,68 | 0,9-2,58 | 1,84-3,37 | 1,58-4,92 |
| Zinco (mg/L) | 0,18 | 5 | < 0,01 | 0,01 - 0,012 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,01 - 0,02 |
| pH | 6,0-9,0 | 6,0-9,5 | 6,3 - 7,2 | 5,6 - 7,4 | 5,8 - 7,1 | 6,2 - 7,0 | 6,0 - 6,6 | 5,6 - 6,8 |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)