
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(ÁREA DE MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**RELAÇÃO DOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS
COM OUTROS PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS NO RIO
CORUMBATAÍ, SP, NO INTUITO DE PROPOR UM
MODELO MATEMÁTICO PARA GESTÃO AMBIENTAL**

GINA MARIA DE PALMA-SILVA

**Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus de Rio
Claro, para a obtenção do título de
Doutor em Ciências Biológicas
(Área de Concentração:
Microbiologia Aplicada)**

**Rio Claro, SP
Setembro - 2006**

**RELAÇÃO DOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS COM OUTROS
PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS NO RIO CORUMBATAÍ, SP, NO INTUITO
DE PROPOR UM MODELO MATEMÁTICO PARA GESTÃO AMBIENTAL.**

GINA MARIA DE PALMA - SILVA

Orientadora: PROF^a DR^a SÂMIA MARIA TAUKE-TORNISIELO

Co-Orientador: PROF. DR. ANTÔNIO CARLOS SIMÕES PIÃO

**Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus de Rio
Claro, para a obtenção do título
de Doutor em Ciências Biológicas
(Área de Concentração:
Microbiologia Aplicada).**

**Rio Claro, SP
Setembro - 2006**

551.49 Palma-Silva, Gina Maria de
P171r Relação dos indicadores microbiológicos com outros parâ-
metros limnológicos no Rio Corumbataí, SP, no intuito de
propor um modelo matemático para gestão ambiental / Gina
Maria de Palma-Silva. – Rio Claro : [s.n.], 2006
175 f. : il., figs., tabs., mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Institu-
to de Biociências de Rio Claro
Orientador: Sâmia Maria Tauk-Tornisielo
Co-orientador: Antônio Carlos Simões Pião

1. Hidrografia. 2. Bacia hidrográfica. 3. Qualidade de água.
4. Modelos matemáticos. I. Título.

*A Deus, Jesus Cristo e ao Espírito Santo, meus amigos
de todas as horas, DEDICO.*

*À minha mãe Maria, exemplo maior de amor, coragem
e força de viver, por respeitá-la e amá-la, e que me
ensinou a viver e persistir DEDICO esse trabalho
COM MEU ETERNO AMOR.*

AGRADECIMENTOS

Sinto-me sinceramente grata a um grande número de amigos que possibilitaram realização deste trabalho. Antecipadamente peço desculpas por alguma eventual omissão.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Sâmia Maria Tauk-Tornisielo, pelo apoio, amizade, paciência, atenção, ensinamentos, consideração e orientação no desenvolvimento durante todos estes anos de pesquisa e também pelos puxões de orelha..

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Pião por sua orientação, amizade, atenção e ensinamentos.

Às minhas filhas Carolina e Marianna, meus dois amores, pelo apoio e carinho, tornando as dificuldades e os problemas mais amenos no decorrer desse trabalho. Ao Lelis pelo apoio e incentivo.

A minha amiga de todas as horas Maria Lucinda Lealdini, pelo apoio, amizade, incentivo, orações, enfim por tudo que fez por mim, nas horas boas e ruins, sempre com seu sorriso encantador e palavras amigas.

A minha irmã e amiga Eliana Rosa de Palma Fernandez e minha sobrinha Stephanie pelo apoio mesmo à distância e orações.

A minha irmã Neide Alvarenga pelo incentivo e amizade.

A tia Rosaria pelas orações e torcida e palavras de incentivo.

Ao Prof. Dr. Roberto Naves Domingos, pela colaboração, amizade, pelo apoio, carinho e incentivo.

A Sara Cristina Galvão, amiga de todas as horas pela amizade, incentivo, mensagens de alto astral, sorriso lindo, ajuda em todas as horas e pelo carinho.

A Prof^a Dr^a Dejanira F. de Angelis pela amizade e apoio.

Em especial ao Centro de Estudos Ambientais (CEA), pela infraestrutura e apoio logístico, sem os quais este trabalho não poderia ter sido desenvolvido.

À UNESP e ao Departamento de Bioquímica e Microbiologia da UNESP – IB/Campus de Rio Claro, pela infra estrutura.

Ao coordenador do curso de pós-graduação de Ciências Biológicas, área de concentração Microbiologia Aplicada, Prof. Dr. Jonas Contiero, pela atenção e amizade.

A vice-diretora do Centro de Estudos Ambientais (CEA) da UNESP - Campus de Rio Claro, Profa. Dra. Ana Luiza Brossi Garcia, pelo apoio e amizade.

Ao professor Dr. Ricardo Bruno, pelos ensinamentos do modelos matemáticos utilizados na pesquisa, pela paciência e amizade.

As amigas Eleni Nadai Malagutti e Francisca Mattioli Gonçalves e pela amizade, pelos ensinamentos, opiniões e apoio durante todos estes anos.

Ao Jorbson Antônio Giovanni e Reginaldo Bortolin, pelo apoio e amizade.

A Isabel Marisilvia e Maria Gleide Palatin pela amizade e estímulo.

Ao Jorge Rodrigues de Faria e Marcos Perdiza pelo transporte, auxílios nas coletas de campo e amizade.

Ao Prof. Dr. Nivar Gobbi pela amizade.

Ao Prof. Dr. Sílvio Govone e Profa Dra. Cecília Carneiro pelo apoio e amizade.

A Heloísa A. Scopinho Nicoletti e demais funcionários da Seção de Pós-graduação, do Instituto de Biociências de Rio Claro, pela atenção e eficiência dispensada sempre que solicitados

Aos meus amigos: Ana Kleiber, André Buffon, Eduardo Beraldo de Moraes, Alexandre, Ítalo, Ariovaldo e ao Pastor José, pelo apoio, compreensão e carinho dados durante a realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto.

Acreditar na Vida

*É ter esperança no amanhã.
Saber que após a noite vem o dia.
Viver intensamente as emoções!
Pular de alegria
Ser espontâneo.*

*Apreciar o nascer e o pôr-do-sol.
Amar as pessoas incondicionalmente.
Aproveitar todos os momentos...
Fazer trabalho voluntário.
Vencer a depressão!
Confiar na voz da intuição. Perdoar as pessoas..*

*Não se prender a detalhes.
Brincar como uma criança. Chorar de felicidade.
Ter pensamento positivo.
Respeitar os sentimentos dos outros.*

*Rir sozinho.
Saber trabalhar em equipe. Ser sincero.
Encontrar a felicidade nas pequenas coisas.
Entender que somos pessoas únicas.
É dançar sem medo.
Não se apegar a bens materiais.
Respirar a brisa do mar.
Ouvir a melodia suave de uma fonte.
Observar a natureza.*

*Adorar um dia de chuva.
Descobrir que precisamos dos outros.
Esquecer o que já passou...
Vencer a nós mesmos.
Ver a beleza da alma. Sair da passividade.
Saber que a vida é consequência de nossas atitudes....
Mimar a criança interior.
Deixar acontecer...*

*Curtir as pequenas vitórias.
Viver apaixonado pela vida
Colocar sua energia positiva em tudo que realizar
Só se arrepender do que não fez.
Fazer parcerias com os amigos. Crescer juntos.
Dormir feliz.
Saber que estamos só de passagem...
Aproveitar as oportunidades.*

Ouvir o coração...

Acreditar na vida!!!

Autor Desconhecido.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMO.....	1
.ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1. Objetivos.....	10
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1. Qualidade da água.....	11
2.1.1 Parâmetros físicos.....	15
2.1.1.1 Temperatura.....	15
2.1.1.2 Condutividade.....	16
2.1.1.3 Turbidez.....	17
2.1.2 Parâmetros químicos.....	17
2.1.2.1 Potencial hidrogeniônico – pH.....	17
2.1.2.2. Oxigênio dissolvido (OD).....	19
2.1.2.3 Matéria orgânica.....	20
2.1.2.4 Fósforo total.....	22
2.1.2.5 Ferro.....	23
2.1.3 Parâmetros biológicos.....	23
2.2 Legislação ambiental relacionada à qualidade das águas superficiais.....	25
2.3 Bacia do rio Corumbataí.....	27
2.4 Modelos estatísticos e a poluição ambiental.....	41
2.4.1 Modelos estatísticos.....	41
2.4.2 As equações ARIMA.....	42
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1 Limites físicos e temporais (pontos de coletas e coletas das	45

amostras.....	
3.2 Parâmetros físico-químicos, físicos, químicos e biológicos.....	47
3.2.1 Temperatura da água (°C) e temperatura do ar (°C).....	48
3.2.2 pH.....	48
3.2.3 Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (STD) (mg.L ⁻¹) e salinidade (‰).....	48
3.2.4 Cor Aparente (PtCo/L).....	48
3.2.5 Alcalinidade total (mg.L ⁻¹).....	49
3.2.6 Turbidez (UNT).....	49
3.2.7 Oxigênio dissolvido (mgO ₂ .L ⁻¹)	49
3.2.8 Demanda química de oxigênio DQO (mg.L ⁻¹).....	50
3.2.9 Nitrato (mg.L ⁻¹).....	50
3.2.10 Nitrito (mg.L ⁻¹).....	51
3.2.11 Amônia (mg.L ⁻¹)	51
3.2.12. Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	51
3.2.13 Cloreto (mg.L ⁻¹)	51
3.2.14 Fluoreto (mg.L ⁻¹)	51
3.2.15 Sulfato (mg.L ⁻¹)	52
3.2.16 Coliformes totais e <i>Escherichia. coli</i> (NMP/ 100 mL).....	52
3.2.17 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (mg.O ₂ .L ⁻¹).....	53
3.3 Análise estatística e interpretação dos dados obtidos.....	53
3.4 Modelos estatísticos e a poluição ambiental em um determinado trecho do rio Corumbataí.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1. Parâmetros físicos, químicos e físico-químicos.....	54
4.1.1 Temperatura do ar	54
4.1.2 Temperatura da água.....	58
4.1.3 pH	62
4.1.4 Condutividade elétrica.....	65
4.1.5 Cor aparente.....	69
4.1.6 Alcalinidade.....	72

4.1.7 Turbidez.....	75
4.1.8 Sólidos totais dissolvidos.....	79
4.1.9 Oxigênio dissolvido.....	83
4.1.10 Demanda química de oxigênio.....	87
4.1.11 Nitrito.....	90
4.1.12 Nitrato.....	94
4.1.13 Amônia.....	98
4.1.14 Fósforo total.....	103
4.1.15 Cloreto.....	107
4.1.16 Salinidade.....	111
4.1.17 Fluoreto.....	115
4.1.18 Sulfato.....	119
4.2 Parâmetros biológicos.....	123
4.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio.....	123
4.2.2 Coliformes totais.....	126
4.2.3 <i>Escherichia coli</i>	131
4.3 Modelos estatísticos e a poluição ambiental.....	135
4.3.1 Oxigênio dissolvido.....	135
4.3.1.1 Ponto de coleta 1(P1) – ETA 2 à montante da área urbana do município de Rio Claro ((coordenadas UTM X 236443 e Y 7528966; altitude 415m).....	136
4.3.1.2 Ponto de coleta 2 (P2) – Ponto de coleta de amostras de águas localizado na Usina da CESP, a jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 233366 e Y 7511786; altitude 380m).....	138
4.3.1.3 Ponto 3 (P3) – Assistência, jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 230064 e Y 7507759; altitude 340m).....	140
4.3.1.4 Ponto 4 (P4) – Captação de água do SEMAE, município de Piracicaba (coordenadas UTM X 224804 e Y 7494646; altitude 320m).	143
4.3.1.5 Ponto 5 (P5)– Município de Piracicaba, 1km da foz do rio Corumbataí no rio Piracicaba (coordenadas UTM X 224987 e Y 7488846; altitude 310m).....	145
4.3.2. Potencial hidrogênionico – pH.....	147

4.3.2.1 Ponto de coleta 1 (P1) – ETA 2 a montante da área urbana do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 236443 e Y 7528966; altitude 415m).....	148
4.3.2.2 Ponto de coleta 2 (P2) – Ponto de coleta de amostras de águas localizado na Usina da CESP, a jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 233366 e Y 7511786; altitude 380m).....	150
4.3.2.3 Ponto 3 (P3) – Assistência, jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 230064 e Y 7507759; altitude 340m).....	152
4.3.2.4 Ponto 4 (P4) – Captação de água do SEMAE, município de Piracicaba (coordenadas UTM X 224804 e Y 7494646; altitude 320m).....	154
4.3.2.5 Ponto 5 (P5)– Município de Piracicaba, 1km da foz do rio Corumbataí no rio Piracicaba (coordenadas UTM X 224987 e Y 7488846; altitude 310m).....	156
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159
6 CONCLUSÕES.....	174
7. REFERÊNCIAS.....	175

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Cargas orgânicas poluidoras provenientes de esgotos domésticos gerados nas bacias dos rios Corumbataí e Piracicaba.....	35
Tabela 2. Cargas poluidoras provenientes de esgotos industriais gerados nas bacias dos rios Corumbataí.....	35
Tabela 3. Relações entre Demanda e Disponibilidade dos recursos hídricos nas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Piracicaba.....	38
Tabela 4. Demanda de água na bacia do rio Corumbataí distribuída entre os diferentes.....	39
Tabela 5. Projeção populacional para a bacia do Rio Corumbataí.....	39
Tabela 6. Distribuição do número de processos de cada atividade mineraria por sub-bacia.....	40
Tabela 7. Variação espaço-temporal da temperatura do ar (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 –seca e 2 –chuvosa.	55
Tabela 8. Análise da variância para a temperatura do ar para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	57
Tabela 9. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos, para a temperatura do ar.....	57
Tabela 10. Resultados da aplicação para o fator Pontos do Teste de Tukey para o estudo temperatura do ar.....	57
Tabela 11. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	59
Tabela 12. Análise da variância para a temperatura da água para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr = probabilidade.....	61
Tabela 13. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos Períodos para a	61

temperatura da água.....	
Tabela 14.. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator período de estudo para temperatura da água.....	65
Tabela 15. Variação espaço-temporal do pH, de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	63
Tabela 16. Análise da variância do pH para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	65
Tabela 17. Análise dos resultados através do Teste de Tukey nos pontos de coleta para pH.....	65
Tabela 18. Variação espaço-temporal de condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	
Tabela 19. Análise da variância para a condutividade elétrica para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	66
Tabela 20. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos de coleta para a condutividade elétrica.....	68
Tabela 21. Variação espaço-temporal da cor aparente (PtCo/L) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	70
Tabela 22. Análise da variância da cor aparente para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	72
Tabela 23. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos Períodos, para a cor aparente.....	72

aparente.....

Tabela 24. Variação espaço-temporal da alcalinidade (mg L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa **73**

Tabela 25. Análise da variância para a alcalinidade para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... **75**

Tabela 26. Resultados da aplicação do teste de Tukey nos períodos de coleta para alcalinidade..... **75**

Tabela 27. Variação espaço-temporal de turbidez (UNT), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa..... **77**

Tabela 28. Análise da variância para a turbidez para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 =seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... **79**

Tabela 29. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos Períodos, para a turbidez **79**

Tabela 30. Variação espaço-temporal de sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa..... **80**

Tabela 31. Análise da variância para sólidos totais dissolvidos para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... **82**

Tabela 32. Resultados da Aplicação do Teste de Tukey nos pontos de coleta para sólidos totais dissolvidos..... **81**

Tabela 33. Variação espaço-temporal de oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$) de outubro **84**

2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....

Tabela 34. Análise da variância para o oxigênio dissolvido para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... **86**

Tabela 35. Resultados da Aplicação do Teste de Tukey nos Pontos de coletas para oxigênio dissolvido..... **86**

Tabela 36. Variação espaço-temporal da demanda química de oxigênio ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa..... **88**

Tabela 37. Análise da variância para a demanda química de oxigênio (DQO) para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... **90**

Tabela 38. Resultados da Aplicação do Teste de Tukey nos Pontos de coletas para DQO..... **90**

Tabela 39. Variação espaço-temporal da concentração de nitrito (mg L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa..... **91**

Tabela 40. Análise da variância para nitrito para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 =seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... **93**

Tabela 41. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator Pontos de coletas de coletas para nitrito..... **94**

Tabela 42. Variação espaço-temporal das concentrações de nitrato (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	95
Tabela 43. Análise da variância dos valores de nitrato para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	97
Tabela 44. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator períodos para nitrato.....	97
Tabela 45. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator período de estudo para nitrato.....	98
Tabela 46. Valores do íon amônio (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	100
Tabela 47. Análise da variância da amônia para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	102
Tabela 48. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Períodos de coletas para a amônia.....	102
Tabela 49. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o período de estudo para a amônia.....	102
Tabela 50. Variação espaço-temporal de fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	104
Tabela 51. Análise da variância de fósforo total para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM=	

quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	106
Tabela 52. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos períodos para o fósforo total.....	106
Tabela 53. Resultado da aplicação do Teste de Tukey para o fator pontos de coleta para fósforo total.....	107
Tabela 54. Variação espaço-temporal do cloreto (mg L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	108
Tabela 55. Análise da variância de cloreto para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	110
Tabela 56. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Pontos de coletas de coletas para cloreto.....	110
Tabela 57. Variação espaço-temporal da salinidade (%),de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	112
Tabela 58. Análise da variância dos valores de salinidade para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	114
Tabela 59. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Períodos para a salinidade.....	114
Tabela 60. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Pontos de coletas para salinidade.....	114
Tabela 61. Variação espaço-temporal do fluoreto (mgF L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.....	116
Tabela 62. Análise da variância dos valores de fluoreto para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e	118

Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....

Tabela 63. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Pontos de coletas para fluoreto. 118

Tabela 64. Variação espaço-temporal do sulfato ($\text{mgSO}_4 \text{ L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa..... 120

Tabela 65. Análise da variância dos valores de sulfato para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... 122

Tabela 66. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o os pontos de coleta para o sulfato..... 122

Tabela 67. Variação espaço-temporal da demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_5 - \text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa..... 124

Tabela 68. Análise da variância dos valores da DBO_5 para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade..... 126

Tabela 69. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator pontos de coletas para DBO_5 126

Tabela 70. Variação dos números mais prováveis de coliformes totais (NMP/100mL), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa 128

Tabela 71. Análise da variância dos valores coliformes totais para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e 130

P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....

Tabela 72. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos, para coliformes totais	130
Tabela 73. Resultados da aplicação para o fator Pontos de coletas do Teste de Tukey para o estudo dos coliformes totais.....	130
Tabela 74. Variação dos números mais prováveis de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.	132
Tabela 75. Análise da variância dos valores <i>Escherichia coli</i> para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1= seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.....	134
Tabela 76. Resultados da aplicação para o fator Pontos de coletas do Teste de Tukey para o estudo da <i>Escherichia coli</i>	134
Tabela 77: Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2).....	136
Tabela 78. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2).....	138
Tabela 79. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2).....	141
Tabela 80. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2).....	143
Tabela 81. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2).....	146
Tabela 82. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1).....	148
Tabela 83. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1).....	150
Tabela 84. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1).....	152
Tabela 85. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1).....	154
Tabela 86. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1).....	156

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa do Estado de São Paulo dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI).....	8
Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Piracicaba no Estado de São Paulo.....	28
Figura 3. Diagrama Unifilar da bacia do rio Corumbataí.....	29
Figura 4. Localização da bacia hidrográfica do rio Corumbataí e sedes dos municípios.....	30
Figura 5. Divisão de sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Corumbataí.....	34
Figura 6. Diagrama de blocos do modelo ARIMA.....	43
Figura 7. Etapas interativas da construção de modelos de previsão.....	44
Figura 8. Mapa da localização dos pontos de coletas no rio Corumbataí, SP.....	46
Figura 9. Variação espaço-temporal da temperatura do ar (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	56
Figura 10. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz..	60
Figura 11. Variação espaço-temporal do pH de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	64
Figura 12. Variação espaço-temporal de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	67
Figura 13. Variação espaço-temporal da cor aparente (UNT), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	71
Figura 14. Variação espaço-temporal da alcalinidade (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio	74

Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....

Figura 15. Variação espaço-temporal de turbidez (UNT) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	78
Figura 16. Variação espaço-temporal de sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	81
Figura 17. Variação espaço-temporal de oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	85
Figura 18. Variação espaço-temporal da demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	89
Figura 19. Variação espaço-temporal da concentração de nitrito (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	92
Figura 20. Variação espaço-temporal das concentrações de nitrato (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	96
Figura 21. Variação espaço-temporal das concentrações de amônia (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	101
Figura 22. Variação espaço-temporal de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$); de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	105
Figura 23. Variação espaço-temporal do cloreto (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	109
Figura 24. Variação espaço-temporal da salinidade (‰) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	113
Figura 25. Variação espaço-temporal do fluoreto ($\text{mg.L}^{-1} \text{F}^-$) de outubro 2000 a	

novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	117
Figura 26. Variação espaço-temporal do sulfato (mg.L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	121
Figura 27. Variação espaço-temporal da demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_5 - \text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	125
Figura 28. Variação dos números mais prováveis de coliformes totais (NMP/100mL) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	129
Figura 29. Variação dos números mais prováveis de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.....	133
Figura 30. Concentração de OD no P1 obtida experimentalmente e concentrações de OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).....	137
Figura 31 Estimativa de tendência para o OD no P1 para os próximos três anos.....	137
Figura 32. Concentração de OD no P2 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).....	139
Figura 33. Estimativa de tendência para o OD para os próximos três anos.....	140
Figura 34. Concentração de OD no P3 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).....	141
Figura 35. Estimativa de tendência para o OD para os próximos 3 anos.....	142
Figura 36. Concentração de OD no P4 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).....	144
Figura 37. Estimativa de tendência para o OD para os próximos 3 anos no P4.....	145
Figura 38. Concentração de OD no P5 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).....	146
Figura 39. Estimativa de tendência para o OD para os próximos 3 anos no P5.....	147
Figura 40. Concentração de pH no P1 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).....	149

Figura 41. Estimativa de tendência para o pH no P1 para os próximos 3 anos.....	149
Figura 42. Concentração de pH no P2 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).....	151
Figura 43. Estimativa de tendência para o pH no P2 para os próximos 3 anos.	152
Figura 44. Concentração de pH no P1 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).....	153
Figura 45. Estimativa de tendência para o pH no P3 para os próximos 3 anos.	154
Figura 46. Concentração de pH no P4 obtida experimentalmente e concentrações pH no P4 obtida via equação ARIMA (1,2,1).....	155
Figura 47. Estimativa de tendência para o pH no P4 para os próximos 3 anos.....	156
Figura 48. Concentração de pH no P5 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).....	157
Figura 49. Estimativa de tendência para o pH no P5 para os próximos 3 anos.....	158

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional das Águas

APHA – American Public Health Association

CBH-PCJ – Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí

CEA - Centro de Estudos Ambientais – Coliforme grupo de bactérias que inclui todos os bacilos aeróbios e facultativos, gram-negativo e não-esporulados, que produzem ácido e gás a partir da fermentação da lactose

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa

DAAE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto

DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias

DQO - Demanda Química de Oxigênio

E. coli - *Escherichia coli*

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, SP

IB - Instituto de Biociências

IQA – Índice de Qualidade das Águas

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NMP - Número Mais Provável

ONU – Organização das Nações Unidas

SAS - Statistical Analyses Systems

SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba

TDS - Sólidos Totais Dissolvidos

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de recursos Hídricos.

UNESP - Universidade Estadual Paulista

UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez

RELAÇÃO DOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS COM OUTROS PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS NO RIO CORUMBATAÍ, SP, NO INTUITO DE PROPOR UM MODELO MATEMÁTICO PARA GESTÃO AMBIENTAL.

Autora: GINA MARIA DE PALMA-SILVA.

Orientadora: DR^a SÂMIA MARIA TAUKE-TORNISIELO.

Co-Orientador: DR. ANTONIO CARLOS SIMÕES PIÃO.

RESUMO

Estudos anteriores demonstraram a necessidade de realizar investigações mais detalhadas quanto à qualidade das águas da cava principal do rio Corumbataí, no trecho após a área urbana do município de Rio Claro até sua foz. Assim, objetivou-se caracterizar a variação espacial e temporal de determinados parâmetros relativos a água e a partir destas utilizar modelos matemáticos para verificar a tendência da contribuição dos mesmos quanto à poluição das águas deste rio. Foram definidos cinco pontos de coletas através de planejamento estatístico, sendo que um deles localizado a montante da área urbana de Rio Claro, serviu como um índice de referência da qualidade das águas antes desta área. Através das metodologias padronizadas determinaram-se: temperatura do ar e da água, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, turbidez, condutividade, amônia, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fósforo, cloretos, fluoretos, sulfato, coliformes totais e fecais. Os resultados encontrados após 37 meses de estudos foram tratados estatisticamente e através da metodologia de Box-Jenkins para estimar modelos de séries temporais. Verificou-se através destas análises que houve coerência quanto aos pontos de coletas previamente definidos. O modelo matemático ARIMA foi o mais adequado para o tratamento dos resultados e somente dois parâmetros, oxigênio dissolvido (OD) e pH, foram utilizados para inferir sobre as previsões futuras sobre a qualidade das águas nos pontos de coletas utilizados, por apresentarem grau de aderência mais significativo do que os demais, além de suas próprias importâncias na determinação da qualidade das águas. O trecho mais crítico do rio Corumbataí consiste aquele correspondente desde a área urbana de Rio Claro até o distrito de Assistência, sendo observada uma melhoria da qualidade de suas águas até a ETA do SEMAE no município de Piracicaba e perdendo a mesma até

sua foz. Tais condições somente tendem a piorar no período seco e frio, porém também se agravam quando ocorrem as primeiras chuvas que provocam, principalmente, o carreamento dos solos expostos das áreas de monoculturas de cana-de-açúcar e de laranja existentes ao longo do trecho estudado. Mesmo com a instalação de duas estações de tratamento de esgoto na cidade de Rio Claro, existe uma tendência de decréscimo de OD no rio Corumbataí, nos próximos três anos.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, rio Corumbataí, qualidade das águas, modelos matemáticos.

RELATION OF THE MICROBIOLOGICAL POINTERS WITH OTHER LIMNOLOGICAL PARAMETERS IN CORUMBATAÍ RIVER, SP, INTENTION TO CONSIDER A MATHEMATICAL MODEL FOR FUTURE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT.

Author: GINA MARIA DE PALMA-SILVA.

Adviser: Dr. SÂMIA MARIA TAUKE-TORNISIELO.

Co-Adviser: Dr. ANTONIO CARLOS SIMÕES PIÃO.

ABSTRACT

Previous studies had demonstrated the necessity to further detailed inquiries about the water quality of the principal cave of Corumbataí river, the stretch after the urban area of Rio Claro city until its estuary. The objective is to characterize the space and secular variation of the parameters rates of the water and then use mathematical models to verify the trend of their contribution in the water pollution in this river. Five sample points through statistical planning were defined, one of them located before of the Rio Claro city urban area, which served as a reference index of the water quality before this area. Through the standardized methodologies parameters, air and water temperatures, pH, dissolved oxygen, nitrate, nitrite, turbidez, conductivity, ammonia, biochemist oxygen demand, chemical oxygen demand, total phosphorus, total coliform, *Escherichia coli*, chlorides, fluorides and sulphate, were determined. The results obtained during 37 months of studies were statically and Box-Jenkins methodology esteem models of secular series treated. It was verified through these analyses that there was coherence in the results of the sample points. Mathematical model ARIMA was adjusted for the results treatment and two parameters, oxygen dissolved (OD) and pH, were used to infer on the future forecasts of the water quality in the collections points used, because their results were more significant than the others, besides their proper importance in the determination of the water quality. The most critical stretch of the Corumbataí river is right after the urban area of Rio Claro city until the Assistência district, then till SEMAE (water treatment station) in the Piracicaba municipality there is an improvement of the water quality which is lost as it continues towards its estuary.

Such conditions only tend to get worse in the dry and cold period. However it is aggravated when the first rains occur provoking, mainly, the carry out the soil of monoculture areas that exist throughout the stretch of the river studied. Although the installation of two sewer treatment stations in the Rio Claro city, in 1999 and 2000, a trend exists that the values of OD will decrease in the stretch studied here, in the next three years.

KEY WORDS: hydrographic basin; Corumbataí river; water quality; mathematical model.

1 INTRODUÇÃO

Ao se analisar historicamente a utilização dos recursos hídricos no Brasil, observa-se que estes aparecem prioritariamente como insumo básico para o desenvolvimento econômico, pois a exploração do potencial energético sempre foi privilegiada, em detrimento dos demais usos (SÃO PAULO, 1995). Este enfoque sobre os recursos hídricos é formador de cultura que está até hoje enraizada nas instituições nacionais, nas diversas esferas de poder, que têm dificuldade de atentar para o fato de que mananciais de abastecimento público devem possuir atenção especial das autoridades e da sociedade civil, ou não sobreviverão às pressões desenvolvimentistas.

O funcionamento de sistemas aquáticos tem sido objeto de diversos estudos ao longo desses anos, tanto quanto às condições naturais quanto em relação aos impactos causados por atividades antrópicas. As bacias hidrográficas são unidades ambientais naturais, onde estão integrados os efeitos de todas as atividades humanas e os usos de seus recursos. A qualidade e quantidade de água são bases para o desenvolvimento econômico e esse, como um “feedback”, contribui para a qualidade da água, usualmente com efeitos negativos predominantes. Todos os tipos de poluentes acabam sendo transportados para a água e acumulados em lagos, reservatórios, mares e rios (TUNDISI e STRAŠKRABA, 1995).

O aprofundamento do conhecimento de princípios nos quais os sistemas ecológicos naturais estão baseados, quando transferidos para um manejo, constituirá na minimização dos custos e danos. Quando os meios tecnológicos para um manejo de um

determinado ecossistema estão baseados nesses conhecimentos, denomina-se Ecotecnologia (STRAŠKRABA, 1993 apud TUNDISI e STRAŠKRABA, 1995). Esta utiliza modelos matemáticos para aplicação efetiva dos princípios de ecossistemas e para uma seleção sensível das melhores opções para um manejo efetivo. O que se deve preservar em uma bacia hidrográfica não são somente suas águas ou seu solo, mas toda “teia complexa” das relações existentes entre os parâmetros físicos, biológicos e antrópicos (SAHA e BARROW, 1981).

A escassez hídrica, outrora uma questão local, hoje atravessa fronteiras internacionais através do comércio internacional de grãos. Por exigir mil toneladas de água para produzir uma tonelada de grãos, a importação destes é a forma mais eficiente de importar água. Embora alguns países já tenham obtido ganhos significativos no aumento da eficiência de irrigação e reciclagem da água servida urbana, a resposta costumeira à escassez hídrica tem sido construir mais barragens ou perfurar mais poços. Mas hoje, ampliar a oferta está cada vez mais difícil. A única opção é elevar a produtividade hídrica.

O lançamento de volumes consideráveis de esgotos sem tratamento nos rios e outros corpos de água superficiais tem desempenhado importante papel na disseminação de inúmeros microrganismos patogênicos (bactérias, vírus, fungos, protozoários e outros), podendo constituir risco à saúde do homem, animais e contaminação dos organismos aquáticos (FEACHEM, 1983; SANCHEZ, 1997). Quando a localização dos corpos de água superficial situa-se em locais que favorecem a concentração de poluentes, pode ocorrer concentração de matéria orgânica, que beneficiará a manutenção de populações de microrganismos patogênicos e a sua sobrevivência por maior tempo em água (CETESB, 1995). Esse potencial de risco impõe a necessidade do monitoramento da qualidade das águas, para garantir a saúde, o bem-estar da população antrópica e as condições ecológicas desejáveis.

A crescente e acelerada demanda da água em decorrência do aumento da diversidade das ações antrópicas vem preocupando vários segmentos da sociedade, quanto à disponibilidade da mesma para os anos futuros. Especialmente no Estado de São Paulo, a maior parte de suas bacias hidrográficas já se encontra no estado em que as medidas preventivas para conservação se tornaram inócuas, necessitando de medidas de recuperação para as mesmas. Entre estas últimas destacam-se: a preservação e

recuperação dos aquíferos, recomposição da mata ciliar, controle das principais fontes poluidoras, tratamento dos efluentes domésticos e industriais e um manejo ambientalmente sustentável dos agroecossistemas.

Com o incremento do conhecimento de uma bacia hidrográfica e do desenvolvimento de metodologias (análises de sistemas, modelos matemáticos, análises laboratoriais, monitoramento por satélite e outros) pode-se obter um maior aprofundamento do conhecimento sobre a dinâmica específica de funcionamento de um ecossistema ou de uma unidade ambiental e posteriormente, estabelecer estratégias para o manejo efetivo de uma bacia hidrográfica.

A abordagem por bacia hidrográfica tem as seguintes vantagens e características para o desenvolvimento de estudos interdisciplinares, gerenciamento dos usos múltiplos e conservação: é uma unidade física com fronteira delimitada; é um ecossistema hidrológicamente integrado, com componentes e subsistemas interativos; oferece oportunidade para o desenvolvimento de parcerias e resolução de conflitos; permite que a população participe no processo de decisão, na educação ambiental e sanitária; garante alternativas para o uso de mananciais e de seus recursos; promove a integração de cientistas, gerentes e tomadores de decisão com o público em geral, permitindo que trabalhem juntos em uma unidade física com limites definidos e ainda promove a integração institucional necessária para o gerenciamento do desenvolvimento sustentável (TUNDISI, 2003).

Os comitês de bacias hidrográficas foram criados pela lei que instituiu a política estadual de recursos hídricos (Lei 7.663/91) para gerenciar a água de forma descentralizada, integrada e com a participação da sociedade. Os comitês de bacias Hidrográficas são colegiados instituídos por Lei, no âmbito do Sistema Nacional de Recursos Hídricos e dos Sistemas Estaduais. Considerados a base da gestão participativa e integrada da água, têm papel deliberativo e são compostos por representantes do Poder Público, da sociedade civil e de usuários de água e podem ser oficialmente instalados em águas de domínio da União e dos Estados. Existem comitês federais e comitês de bacias de rios estaduais, definidos por sistemas e leis específicas.

Os comitês são colegiados compostos por representantes de municípios (prefeitos), de órgãos estaduais e de entidades representativas da sociedade civil

Com a criação dos Comitês, Consórcios e Agências de Bacias Hidrográficas verificam-se umas quantidades consideráveis de eventos, palestras e mesas redondas sob os mais diferentes enfoques quanto ao tema água: a importância, projetos de leis, cobrança entre outros. Apesar desse cenário atual, observa-se que ainda, em algumas regiões, são raras as informações sobre os recursos hídricos, ocorrendo decisões que nem sempre são viáveis para uma melhor gestão.

O comitê da bacia do rio Piracicaba, Capivari e Jundiaí, instalado em 1993, tem estabelecido atualmente um plano de ações contendo as seguintes prioridades: Educação ambiental, monitoramento da quantidade e qualidade de água superficial e subterrânea, desenvolvimento da hidrovia Tietê-Paraná no trecho do rio Piracicaba, saneamento urbano e rural, controle de poços, de perdas no sistema de abastecimento público, de inundações, de erosão e recomposição florestal. (<http://www.rekursoshidricos.sp.gov.br/CReg6.htm#Plano%20de%20Bacia> consultado em 21/07/06 às 11h24min).

Segundo Tundisi (2003) um dos grandes desafios para o Brasil neste século XXI é garantir o suprimento de água para as regiões metropolitanas e urbanas, uma vez que 20% da população brasileira não recebem água tratada. Cidades de porte pequeno e médio, o suprimento de água é adequado, mas o aumento no custo de tratamento de água e esgotos exige grandes investimentos.

O estudo da gestão dos recursos hídricos sempre teve uma abordagem de forma compartimentada e não integrada. Após décadas, limnólogos e engenheiros iniciaram sua interação na gestão das águas. Os avanços no sistema de planejamento e gerenciamento das águas devem considerar a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento e a integração econômica e social, com o uso adequado de tecnologias de proteção, conservação, recuperação e tratamento e a integração institucional em uma unidade fisiográfica como sendo fundamental (TUNDISI, 2003).

Nos dias atuais, as comunidades de diferentes regiões do país vêm sentindo a importância sobre a conservação da qualidade da água e toda a problemática conseqüente de sua escassez. A proposta da continuidade de estudos de investigação da bacia do rio Corumbataí, visando oferecer dados e mecanismos para uma real Gestão Ambiental Integrada, é sem dúvida de grande importância, devido esta bacia estar

localizada numa região de alto desenvolvimento urbano e industrial. Além disso, os corpos de água superficiais desta são de grande importância para a sustentabilidade econômica e ambiental requerida e exigida pela Agenda 21.

1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivos estudar as questões de qualidade da água e modelos matemáticos, no trecho do rio Corumbataí que compreende a ETA 2, no município de Rio Claro até sua foz, quando desemboca no rio Piracicaba, no bairro Santa Terezinha do município de Piracicaba.

Objetivos específicos:

- Caracterizar a qualidade da água do rio Corumbataí, no trecho entre o ponto a montante da área urbana de Rio Claro (médio Corumbataí) até a foz no município de Piracicaba (baixo Corumbataí).
- Comparar as variações da qualidade da água no período chuvoso/quente e no período frio/seca, verificando as mudanças e a dinâmica deste sistema hídrico.
- Simular e propor modelos matemáticos para subsidiar decisões futuras quanto às diversas atividades antrópicas que deverão ser estabelecidas, preferencialmente através de um planejamento.
- Incrementar os bancos de dados já existentes sobre a bacia do Corumbataí.
- Avaliar o efeito das Estações de Tratamento de Esgoto do município de Rio Claro quanto à minimização do efeito poluidor do esgoto doméstico na cava principal do rio Corumbataí.

2 REVISÃO DA LITERATURA

“.....a água é para o mundo, o mesmo que o sangue é para o nosso corpo e, sem dúvida, mais; ela circula segundo regras fixas, tanto no interior quanto no exterior da Terra, ela cai em forma de chuva e neve, ela surge do solo, corre em rios, e depois retornam aos vastos reservatórios que são os oceanos e mares que nos cercam por todos os lados...”

LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519)

2.1 Qualidade da água

O conceito de que a água, entre todos os minerais que o homem aprendeu a utilizar nos seus três estados naturais, é o mais essencial, tem amparo na própria Bíblia. Os Livros Sagrados estão entremeados de asserções sobre a importância dela e de sua parte no gênero de vida estabelecida pelo Ser Supremo. Também nas civilizações pagãs que precederam a era cristã, a água era considerada muito valiosa. Ruínas escavadas na Índia, datando mais de 5.000 anos AC, revelaram a existência de sistemas de abastecimento e de drenagem tão completos que incluíam piscinas de natação e banhos. Nessa época, o Egito construiu a primeira represa para reserva de água potável e irrigação conhecida: uma estrutura de pedra com 12,2m de altura e 102,0m de comprimento (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001).

Os agricultores árabes aproveitavam as crateras de vulcões extintos para acumular água destinada à irrigação e para a água potável, cavavam poços profundos. O rei Salomão, famoso por suas decisões como magistrado, utilizou sua sabedoria também para a construção de aquedutos. Hipócrates, reconhecido através dos séculos como o pai da medicina, reconheceu o perigo da ingestão de uma água suspeita, prevenindo sobre a necessidade de filtração e fervura, afim de que a água pudesse ser considerada potável. Nas atuais civilizações, especialmente nos países mais evoluídos, os processos de captação, transporte, armazenamento, tratamento e distribuição da água, já atingiram o estado de excelência. Desse modo, onde se conseguiu atender à demanda de água potável, a nação progrediu e os padrões de vida melhoraram, mas onde isto não foi possível, o progresso foi retardado e os padrões de vida permaneceram baixos (BRANCO, 1991).

A partir da Revolução Industrial, no final do século XVIII, iniciou-se um processo acelerado de degradação ambiental, agravado pela explosão demográfica, devido ao excesso de lançamentos de cargas poluentes no meio ambiente, principalmente nos corpos de água superficiais, em níveis acima da capacidade de assimilação e depuração dos mesmos. A consequência desse fato tem sido a escassez desses recursos naturais, os quais atualmente possuem alto valor de uso “econômico”, uma vez que sua utilização implica em altos custos de capital. A água é um recurso imprescindível à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social. A cada dia, no entanto, este recurso torna-se mais escasso, devido a políticas mal definidas que têm prejudicado seus usos múltiplos, acarretando alto índice de degradação em decorrência da grande quantidade de cargas poluidoras de origem urbana, industrial e agrícola (BRANCO, 1986).

O funcionamento do ciclo hidrológico foi compreendido pelo homem, ao menos em parte, desde os primórdios dos tempos, em contraste com outros aspectos do meio físico, como é o caso da erosão e da ciclagem dos nutrientes. As águas ocupam 71% da superfície do planeta, além do potencial hídrico subterrâneo que é 100 vezes maior que o potencial das águas superficiais. Do total da água, apenas 0,63% é água doce, e grande parte dela é imprópria para consumo. A água subterrânea é a mais pura que existe e representa uma reserva permanente, à parte de água doce do planeta que é viável para aproveitamento pelo ser humano, é de 14 mil km³/ano. Caso se mantenha a taxa de crescimento da população mundial, em 1,6% ao ano, e o consumo per capita se

manter, o planeta terá 50 anos garantidos e a partir daí a procura será maior que a demanda (CARMOUZE, 1994).

Pode-se definir qualidade como “propriedade, atributo ou condição das coisas ou das pessoas que as distinguem das outras e lhes determina a natureza”, conclui-se, portanto, que qualidade é algo que dá identidade a um ser. O uso da palavra qualidade assume o papel de representante do grau de exigência que o consumidor faz para satisfazer suas necessidades. Para que o consumo ou utilização seja satisfatório, o produto consumido tem que apresentar certas características que, em conjunto representam a qualidade que lhe confere adequação ao uso (ESTEVES, 1988).

Para cada um desses “usos” da água, requerem-se características diferentes, isto é, as exigências quanto ao grau de pureza absoluta ou relativa variam de acordo com o emprego que será feito da mesma. Por exemplo, para os processos biológicos, como a sustentação da vida aquática, irrigação e alimentação do homem e animais, as exigências são intermediárias, pois a água com alto grau de pureza química, não se presta a este fim, uma vez que os seres vivos necessitam de vários tipos de sais e gases em solução que normalmente, são fornecidos pela própria água. Levando em conta todas essas propriedades, qualidade da água não se refere a um grau de pureza absoluto, mas sim a um padrão tão próximo quanto possível do natural, isto é, da água tal como é encontrada nos rios e nascentes, antes do contato com o homem (ESTEVES, 1988).

Qualquer que seja o uso que se faça deste líquido (com exceção do emprego em trabalhos de laboratório que requeiram altíssimo grau de pureza química), ele se constitui de uma solução diluída de inúmeros elementos e compostos, sólidos, líquidos ou gasosos, em proporções diversas. Esses elementos são provenientes do ar, já durante o processo de condensação e precipitação pluviométrica; dos solos e das rochas sobre as quais circula ou é armazenada e, do contato com as atividades humanas. Esse conjunto de elementos em solução e em suspensão é responsável pelas características físicas, químicas e organolépticas (BRANCO, 1991).

Os aspectos a serem considerados comumente são os estéticos como turbidez, cor, odor e sabor; os fisiológicos como a toxicidade, patogenicidade e salinidade e os ecológicos como o pH, oxigênio dissolvido, produtividade. Destes aspectos, o estético é o único que afeta exclusivamente o uso para os humanos, uma vez que para a sustentação da vida vegetal ou animal e na irrigação, não interfere, no entanto, estas características podem constituir-se em indicadores de qualidade fisiológica ou mesma ecológica, relacionando-se com presença de elementos que possam ser nocivos.

Além da qualidade da água poder ser considerada segundo estes aspectos, a sua definição tem que levar em conta o uso que se pretende fazer da mesma. Sendo assim, o termo qualidade não é mais empregado com o significado de característica ou de propriedade, mas sim com o sentido de mérito, grau ou valor, como por exemplo, uma água clorada usada para o abastecimento não serviria para a manutenção da vida aquática.

Disponibilidade e boa qualidade da água são condições fundamentais nos sistemas agroecológicos de produção. Além dos córregos e rios, deve-se recorrer a outras fontes como poços artesianos e poços do lençol freático. Esta disponibilidade pode ser o fator determinante para a viabilidade do sistema de produção. Em todo o sistema agroecológico, piscicultura, pecuária, avicultura, deve-se monitorar freqüentemente a qualidade da água através de exames laboratoriais, pois esta deve estar isenta de produtos químicos ou de agentes biológicos.

Monitoramento da qualidade da água

Atualmente existem várias leis que protegem o ambiente. Algumas destas leis proíbem o represamento de córregos e rios, desmatamentos de nascentes e outras que quando desobedecidas podem gerar multas. As leis específicas sobre a água estão sendo revistas e estudadas para sua total aplicação. Para o monitoramento da qualidade das águas superficiais, são determinados 33 parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e microbiológicos em laboratórios especializados para tal finalidade. Desses 33 parâmetros, nove compõe o Índice da qualidade das águas (IQA) e são eles:

- Oxigênio dissolvido (OD)
- Demanda bioquímica de oxigênio (DQO)
- Coliformes fecais (*Escherichia coli*)
- Temperatura da água
- pH da água
- Nitrogênio total
- Fósforo total
- Sólidos totais
- Turbidez

Na interpretação dos resultados das análises desses parâmetros, considera-se que a qualidade das águas sofre mudanças ao longo do ano; em função de fatores meteorológicos e da eventual sazonalidade, de lançamentos poluidores e das vazões e também à medida que o rio avança, a qualidade de suas águas pode melhorar devido à capacidade de autodepuração dos próprios rios e a diluição dos contaminantes pelo recebimento de melhor qualidade de seus afluentes. Esta recuperação, entretanto, atinge apenas os níveis de qualidade aceitável ou boa. É muito difícil que a recuperação dos corpos de água seja total. A descrição dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dados a seguir podem ser utilizados tanto para caracterizar águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores.

2.1.1 Parâmetros físicos

2.1.1.1 Temperatura

Temperatura pode ser definida como a condição de um corpo que determina a transferência de calor para, ou de outros corpos. É uma variável de grande importância no meio aquático, pois influencia no metabolismo das comunidades como produtividade primária, respiração dos organismos e decomposição da matéria orgânica. Com valores elevados de temperatura, ocorre intensa reprodução dos organismos fitoplanctônicos e, conseqüentemente, intensa absorção de nutrientes dissolvidos. Da mesma forma, altas temperaturas aceleram o processo de reciclagem de nutrientes (CARMOUZE, 1994).

Variações de temperatura são parte do regime climático normal, e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas. A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior,

temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (CETESB, 2006).

Certos tipos de microrganismos, especialmente entre as diatomáceas e cianobactérias, podem viver bem em temperaturas, às vezes, superiores a 40°C. Isto pode determinar uma seleção competitiva semelhante à produzida pela introdução de despejos químicos e domésticos, passando o ambiente a ser ocupado por apenas uma ou poucas espécies de organismos que se multiplicam com grande intensidade. Uma das fontes que acarreta alterações de temperaturas das águas é a descarga de águas aquecidas dentro de um corpo receptor utilizadas para resfriamento e condensação nas indústrias de transformação e na produção de energia elétrica (CARMOUZE, 1994).

2.1.1.2 Condutividade

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir a corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são entre outros, cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonatos, sulfatos e cloretos. A presença de mata ciliar pode reduzir os valores de condutividade, em decorrência da absorção de íons dissolvidos pela própria vegetação (PORTO et al., 1991).

É uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 µS/cm indicam ambientes impactados. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2006).

2.1.1.3 Turbidez

A turbidez é a medida de partículas suspensas tais como silte, argila, matéria orgânica, plâncton e organismos microscópicos, os quais normalmente são mantidos em suspensão por fluxo turbulento, ou seja, a turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. A turbidez é medida por comparação das interferências ópticas suspensas para a transmissão de luz em água, num instrumento previamente padronizado com amostras de unidades padrão de turbidez. A quantidade de materiais sólidos em suspensão na água pode resultar de erosão natural, escoamento superficial e “blooms” de algas, embora o homem possa contribuir para a ocorrência desses materiais. A concentração e tamanho da partícula desses materiais suspensos podem causar variações significativas nos valores de turbidez (CARMOUZE, 1994).

Quando a turbidez tem origem natural não traz inconveniente sanitário direto, porém é esteticamente desagradável na água potável, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos (diminuindo a eficiência da desinfecção). Quando sua origem for antropogênica pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos.

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático. Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos domésticos, industriais e recreacional de uma água (CETESB, 2006).

2.1.2. Parâmetros químicos

2.1.2.1 Potencial Hidrogeniônico – pH

O potencial hidrogeniônico é à medida que fornece o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água e varia em escala da 0 a 14. O pH neutro

corresponde a 7, abaixo destes são considerados ácidos e acima básicos. As medidas de pH são de extrema utilidade, pois fornecem inúmeras informações a respeito da qualidade da água. As águas superficiais em geral possuem pH entre 4,0 a 9,0. Às vezes são ligeiramente alcalinas devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Naturalmente, nestes casos, o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. Em geral, o pH muito ácido ou muito alcalino está associado à presença de despejos industriais. Assim sendo, os valores de pH podem indicar algum tipo de poluição química da água (CARMOUZE, 1994).

Em relação ao pH, verifica-se estreita interdependência entre as comunidades vegetais e animais e o meio aquático. Esse fenômeno ocorre na medida em que as comunidades aquáticas interferem no pH, assim como este último interfere de diferentes formas no metabolismo dessas comunidades. As comunidades aquáticas podem interferir nos valores de pH do meio de diferentes modos; um exemplo é por meio da assimilação do CO_2 , pois durante o dia o processo fotossintético, a partir das macrófitas aquáticas e algas, pode elevar o pH do meio. Este fato é especialmente freqüente em águas com baixa capacidade de neutralização de ácidos (baixa alcalinidade). Os ambientes aquáticos com alcalinidade elevada, entretanto, apresentam pouca variação de pH (7-8), mesmo ocorrendo altas taxas fotossintéticas. Nesses ecossistemas, o consumo de CO_2 é imediatamente compensado pela dissociação do bicarbonato de cálcio (PORTO et al., 1991)

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é condição fundamental em estudos no campo de Saneamento Ambiental e em Limnologia. A medida de pH da água é, portanto, importante no tratamento de águas de abastecimento, na floculação e coagulação, no tratamento de águas de piscinas, no tratamento de reatores anaeróbios e na precipitação química de metais pesados que ocorre em pH elevado. O pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes, ao mesmo tempo em que é uma das mais difíceis de interpretar. A complexidade na interpretação dos valores de pH da água é influenciada pelas concentrações dos valores de pH e pelo grande número de fatores que podem influenciá-lo. Na maioria das águas naturais, o pH da água é influenciado pela concentração de íons H^+ originados da dissociação do ácido carbônico, que gera valores baixos de pH, e pelas reações de íons carbonatos e bicarbonatos com a molécula de água, que elevam os valores de pH. Dessa forma, o pH representa a atividade do hidrogênio na água, resultante inicialmente da dissociação da

própria molécula da água e posteriormente acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes, como efluentes industriais, e da dissociação de compostos orgânicos que resulta da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. O pH sofre influência dos efluentes industriais, despejos domésticos, dissolução das rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, da fotossíntese e chuva ácida (PORTO et al., 1991).

2.1.2.2 Oxigênio Dissolvido (OD) – $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$

A determinação do oxigênio é de fundamental importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica. É um dos parâmetros mais importantes para exame da qualidade da água, pois revela a possibilidade de manutenção de vida dos organismos aeróbios, como peixes, por exemplo. A escassez de OD pode levar ao desaparecimento dos peixes de um determinado corpo d'água, dado que esses organismos são extremamente sensíveis à diminuição do OD de seu meio. Pode também ocasionar mau cheiro. Geralmente o OD reduz ou desaparece, quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis encontradas, por exemplo, no esgoto doméstico, em certos resíduos industriais e outros despejos resultantes das diversas ações antrópicas (CARMOUZE, 1994).

Grande quantidade de sólidos em suspensão, especialmente nos períodos de cheia quando ocorre um aumento do aporte de matéria orgânica, além do revolvimento do sedimento, principalmente em ambientes lênticos (lagos, represas), são responsáveis pelo declínio das concentrações do OD na água. A quantidade de OD na água depende da temperatura e da altitude (pressão atmosférica do local), pois a solubilidade dos gases depende desses fatores. O decréscimo do OD na água pode ser ocasionado também, pelo aumento da temperatura, que aumenta a velocidade de reações bioquímicas que fazem parte do metabolismo celular dos organismos vivos, provocando maior consumo do oxigênio através do aumento da respiração (PORTO et al., 1991).

Existem efetivamente duas fontes de OD na água. Uma delas é a atmosfera (fonte exógena) que favorece a dissolução do gás na água quanto maior for a velocidade e turbulência das águas (cachoeira, cascalhamento). A outra é a fotossíntese (fonte endógena) realizada pelos seres produtores como algas, macrófitas aquáticas e outros organismos. Através das medidas do OD na água, portanto, é possível interpretar

inúmeros fenômenos que estão ocorrendo tanto do ponto de vista físico-químico como, principalmente biológico, através das interações ecológicas como balanço entre produção (fotossíntese) e consumo de oxigênio (respiração) pela comunidade. O OD na água é uma variável muito importante na caracterização ambiental, e seus valores podem ser usados como indicadores da qualidade da água. Assim baixas concentrações de oxigênio na água podem indicar poluição ou degradação da matéria orgânica. (CARMOUZE, 1994).

2.1.2.3 Matéria orgânica

A matéria orgânica presente nos corpos de água e nos esgotos é uma característica primordial, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Para quantificação da matéria orgânica ou do seu potencial poluidor, utilizam-se métodos indiretos que são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (PORTO et al., 1991).

➤ Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): mg L^{-1}

É o parâmetro mais comumente utilizado para a medida do consumo de oxigênio na água. Representa a quantidade de oxigênio do meio que é consumido por peixes e outros organismos aeróbios e que gasta de oxidação de matéria orgânica presente na água. Em termos numéricos, interpreta-se a DBO, como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar ou estabilizar determinada quantidade de matéria orgânica em determinado tempo. Normalmente é fixado um período de cinco dias.

As reações oxidativas envolvidas durante o teste de DBO são resultantes da atividade biológica, ou seja, do consumo ou demanda do oxigênio dissolvido proporcionado pelos microrganismos presentes na amostra. Estas reações dependem também da temperatura e das condições nutricionais do meio. Padronizou-se para a realização do teste, uma temperatura de 20°C, por se tratar de um valor médio encontrado na água dos rios da Europa, região em que foi idealizado o teste da DBO. Teoricamente, um tempo infinito é exigido para a completa oxidação biológica da matéria orgânica, mas, em termos práticos a reação pode ser considerada completa em 20 dias.

De acordo com as experiências acumuladas, entretanto, verificou-se que a maior parte da DBO ocorre em 5 dias. Além disto constatou-se que microrganismos nitrificantes causam certas interferências nas medidas de DBO após o sétimo e oitavo dias. Assim sendo, de acordo com estas observações, adotou-se um período padrão de 5 dias de incubação das amostras para um teste regular de DBO. No caso do esgoto doméstico, um período de 5 dias (DBO_5) equivale a 70% da DBO total e normalmente este valor situa-se em uma faixa que varia de 100 a 300mg L⁻¹. Em águas naturais limpas (represas, rios), entretanto, a DBO não pode ultrapassar valores 5mg L⁻¹ de O₂ segundo a Resolução 357 (CONAMA, 2005).

A quantidade de matéria orgânica indicada pela determinação da DBO é importante para o monitoramento da qualidade da água, para se conhecer o grau de poluição de uma determinada água residuária, para o dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgotos ou de Resíduos Industriais e para se avaliar a eficiência de alguns processos de tratamento biológico de resíduos orgânicos. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microbiota presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizadas nas estações de tratamento de água. Pelo fato da DBO somente medir a quantidade de oxigênio consumido num teste padronizado, não indica a presença de matéria não biodegradável, não considera o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana (CARMOUZE, 1994).

➤ Demanda Química de Oxigênio (DQO): mg L⁻¹

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. A DQO é amplamente utilizada como um meio para se medir a poluição causada por resíduos domésticos e industriais. É também muito utilizada como parâmetro para se avaliar a eficiência das Estações de Tratamento de Resíduos. O teste da DQO é de extrema importância para a determinação da quantidade de matéria orgânica existente em certos despejos, caracterizados por baixa degradabilidade (celulose, pesticidas e outros) que lançados em cursos d'água, não provocam grande consumo (demanda) de OD, mas podem causar também a morte dos peixes e outros malefícios.

Uma das principais limitações do teste de DQO é sua incapacidade de diferenciar entre matéria orgânica biologicamente degradável (oxidável) e a biologicamente inerte. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO,

sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, servindo os resultados de orientação para o teste da DBO. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial. A maior vantagem do teste da DQO, é o curto período de tempo exigido para a sua avaliação. A determinação analítica pode ser concluída em menos de 4 horas enquanto os resultados dos ensaios da DBO, levam 5 dias (CARMOUZE, 1994).

2.1.2.4 Fósforo Total – mg L⁻¹

Fósforo, um elemento não metálico, pode ocorrer em várias formas orgânicas ou inorgânicas, e pode estar presente na água como espécie dissolvida ou particulada. Uma vez que o fósforo é um nutriente essencial para as plantas, pode ser um fator limitante para o seu desenvolvimento. Na água, a forma combinada do elemento varia continuamente devido aos processos de decomposição e síntese entre formas associadas organicamente e formas inorgânicas oxidadas. O fósforo é raramente encontrado em concentrações significativas em águas superficiais, já que é ativamente absorvido pelas plantas. Águas subterrâneas podem conter concentrações de fósforo um pouco mais elevadas. A concentração total do fósforo em lagos não contaminados é da ordem de 0,01mg L⁻¹ (CARMOUZE, 1994).

Esgoto doméstico contendo excremento humano e fosfatos de detergentes, efluentes industriais, e drenagem agrícola de terras fertilizadas, contribuem com fósforo para as águas. Fosfatos podem ser adicionados às águas para prevenir formação de incrustações, inibir corrosão e, além disso, melhorar a eficiência da ação de lavagem e limpeza. O fósforo está sujeito a transporte atmosférico e deposição. Normalmente não é tóxico ao homem, animais ou peixes e é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas. Somente a forma extremamente rara de fósforo elementar é tóxica.

São inúmeros os minerais que contem fósforo nas águas. O nitrogênio e fósforo, dependendo de quantidade, são importantes porque participam da alimentação de algas, vegetais superiores e outros organismos aquáticos. Em dosagens elevadas podem provocar sérios problemas, como proliferação excessiva de algas, causando o fenômeno conhecido como eutrofização (boa nutrição) de lagos e represas. Nesses casos a água tem mau cheiro, gosto desagradável e ocorre morte generalizada de peixes (CARMOUZE, 1994)

2.1.2.5 Ferro

O ferro em quantidade adequada é essencial ao sistema bioquímico das águas, podendo em grandes quantidades ser nocivo, dando sabor e cor desagradáveis e dureza às águas, tornando-as inadequadas quanto ao uso doméstico e industrial. Concentrações de ferro em águas superficiais aeradas são normalmente inferiores a $0,5\text{mg L}^{-1}$, mas podem ser substancialmente maiores em águas subterrâneas e em fontes térmicas, onde as concentrações podem variar de 10 a 100mg L^{-1} . A concentração de ferro em água do mar é normalmente $0,01\text{mg L}^{-1}$.

Poucos efeitos adversos são atribuíveis à presença do ferro em águas, podendo descolorir roupas, desalinhar encanamentos e causar resíduos, os quais entopem tubos. Concentrações excessivas podem promover atividade bacteriana em tubulações e linhas de serviço. Para minimizar esses efeitos adversos, um nível aceitável de $0,3\text{mg L}^{-1}$ é proposto. O ferro é bastante indesejável em água para consumo humano devido a seu sabor adstringente agridoce. Concentrações em água potável inferiores a $0,05\text{mg L}^{-1}$ são mais agradáveis ao paladar (CARMOUZE, 1994).

O ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de $0,3\text{ mg/L}$ na Portaria 1469 do Ministério da Saúde. É também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais. No Estado de São Paulo estabelece-se o limite de 15 mg/L para concentração de ferro solúvel em efluentes descarregados na rede coletora de esgotos seguidas de tratamento (Decreto nº 8468) (SÃO PAULO, 2003).

2.1.3 **Parâmetros biológicos**

A quantidade de matéria orgânica presente nos corpos de água depende de uma série de fatores incluindo todos os organismos que aí vivem, os resíduos de plantas e animais carregados para as águas e também lixo e esgotos. Se a quantidade de matéria orgânica for muito grande, a poluição das águas será alta e uma série de processos será alterada. Haverá muito alimento à disposição e conseqüentemente proliferação dos seres

vivos, implicando maior consumo de oxigênio, o que ocasionará decréscimo de oxigênio dissolvido, provocando a mortalidade de peixes. É difícil de se restabelecer o equilíbrio se os processos poluidores não forem controlados (CARMOUZE, 1994).

Os principais componentes de matéria orgânica encontrada nas águas são proteínas, aminoácidos, carboidratos, gorduras, além de uréia, surfactantes e fenóis. Nos corpos de água também se estabelece a cadeia de decompositores, onde atuam os microrganismos que desempenham diferentes funções, de fundamental importância, responsáveis também pela qualidade das águas. Eles participam das diversas transformações dentro dos ciclos biogeoquímicos como, N, C, P, S e outros.

Outro aspecto de grande relevância em termos de qualidade biológica da água é a presença de agentes patogênicos e a transmissão de doenças. A detecção dos agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra de água é extremamente difícil, em razão de suas baixas quantidades. A determinação da potencialidade de um corpo de água em ser portador de agentes causadores de doenças pode ser feita de forma indireta, através dos organismos indicadores de contaminação fecal, como o fazem os coliformes. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratífóide, desenteria bacilar e cólera.

Os coliformes estão presentes em grandes quantidades nas fezes do ser humano e de animais de sangue quente. A presença de coliformes na água não representa, por si só, um perigo à saúde, mas indica a possível presença de outros organismos causadores de problemas à saúde. Os principais indicadores de contaminação fecal são as quantidades de coliformes totais e coliformes fecais, expressas em número de organismos por 100 mL de água. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwinia* e outras enterobactérias. O uso de *Escherichia coli* para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo do que a determinação de coliformes total, porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. De modo geral, nas águas para abastecimento, o limite de *Escherichia coli* legalmente tolerável não deve ultrapassar 4.000, número mais provável (NMP) em 100 mL de água, em 80% das amostras coletadas em qualquer período do ano (CARMOUZE, 1994).

2.2 Legislação ambiental relacionada à qualidade das águas superficiais.

Legislação Federal (BRASIL, 2006)

- Lei nº 5.357, de 07/12/67: Estabelece penalidade para embarcações marítimas ou fluviais que lançam detritos ou óleo em águas brasileiras.
- Lei nº 4.771, de 15/09/65: Código Florestal.
- Lei nº 5.318, de 26 de setembro de 1967: Institui a Política Nacional de Saneamento e cria o Conselho Nacional de Saneamento.
- Lei nº 6.938, de 31/08/81: Dispõe a Política Nacional do Meio Ambiente.
- Lei nº 7.661, de 16/05/88: Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.
- Lei nº 9.433, de 08/01/97: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.

Decretos Federais

- Decreto nº 50.877, de 29 de junho de 1961: Dispõe sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do país e dá outras providências.
- Decreto nº 78171, de 2 de agosto de 1976: Dispõe sobre o controle e fiscalização sanitária das águas destinadas ao consumo humano.
- Decreto nº 89.336, de 31/01/84: Dispõe sobre as reservas Ecológicas e Áreas de Relevante Interesse Ecológico;
- Decreto nº 99.274, de 06/06/90: Regulamenta a Lei nº 6938 sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

Resolução do CONAMA:

- Resolução nº 04, de 18/09/85: Define Reservas Ecológicas.
- Resolução nº 357, de 07/03/05 Classifica as águas segundo seus usos preponderantes.

Legislação Estadual (BRASIL, 2006)

- Lei nº 898, de 18/12/75: Disciplina o uso e ocupação do solo para a proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da região metropolitana da grande São Paulo.
- Lei nº 997, de 31/05/76: Dispõe sobre controle da poluição do meio ambiente.

- Lei nº 1172, de 17/11/76: Delimita as áreas de proteção relativas aos mananciais, cursos e reservatórios de água.
- Lei nº 9714, de 19/04/77: Aprova o Regulamento das Leis 895/75 e 1172/76.
- Lei nº 6134, de 02/06/88: Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas no Estado de São Paulo.
- Lei nº 7663, de 30/12/91: Estabelece a Política de Recursos Hídricos.
- Lei nº 7750, de 31/03/92: Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente.
- Lei nº 9866, de 28/11/97: Diretrizes e normas para a proteção e recuperação das Bacias hidrográficas dos mananciais de interesse Regional do Estado de São Paulo.
- Lei nº 8421, de 23/11/93: Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola do Estado de São Paulo.

Decretos Estaduais – São Paulo

- Decreto 8468/76: Aprova o regulamento da lei 997, de 31/05/76, que dispõe sobre a prevenção e o controle de poluição do meio ambiente.
- Decreto nº 10755, de 22/11/77: Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto 8468/76.

O gerenciamento de recursos hídricos exige grandes esforços para que a água seja usada de modo mais eficiente e sua qualidade protegida. Os padrões de qualidade da água mais severos e o aumento da demanda pela submissão a tais padrões acarretam um aumento de custos. Apesar das dificuldades os governos devem proteger a qualidade da água e, além disso, devem investir em medidas de garantia de execução. Entretanto, os poluidores deveriam contribuir com a maior parcela de recursos necessários para prover água potável e proteger a saúde. Investimentos no futuro devem ser feitos hoje, antes que os custos à sociedade se tornem incontáveis, e a contaminação de nossos suprimentos de água gere uma crise, o que hoje, já é uma realidade.

Quanto às águas doces dos rios, e subsuperficiais, são essas que devem constituir-se na prioridade imediata no que se refere à sua preservação de qualidade, por que são elas disponíveis e que dia após dia, todos fazem uso, quer direta, quer indiretamente, como indivíduos ou coletivamente, através das atividades industriais, agrícolas, de uso doméstico. Em todos os casos, quer se refiram às águas salgadas, quer

às doces, os cuidados na preservação implicam uma dívida que temos com as gerações que virão, pois estamos fazendo uso de patrimônio que também lhes pertence.

2.3 Bacia do rio Corumbataí

Dentre todas as bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, a do rio Piracicaba, com uma área de 12.400km², é uma das mais importantes, pois se encontra em uma área altamente ocupada pelo homem, com atividades industriais e agrícolas intensas. Além disso, constitui-se em uma sub-bacia do rio Tietê. Do total da área de drenagem, 90% localizam-se no Estado de São Paulo e o restante no Estado de Minas Gerais, situando-se aproximadamente entre os paralelos 22° 00' S e 23° 30' S e os meridianos 45° 45' W e 48° 30' W (FERRAZ, 2002). A Figura 2 mostra a localização da bacia hidrográfica do rio Piracicaba no Estado de São Paulo.

Por sua vez, fazendo parte da bacia do rio Piracicaba, encontra-se a bacia do rio Corumbataí, que abrange sete municípios, dentre os quais três ocupam sua maior área, ou seja, Analândia, Corumbataí e Rio Claro. Atualmente, o município de Piracicaba está captando 100% da água do rio Corumbataí. A rejeição do rio Piracicaba a partir do ano 2000 como principal manancial do município de Piracicaba deu-se em decorrência da sua perda de qualidade e de problemas de manutenção de vazão regular que possibilitasse a captação de águas para o abastecimento público (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001)

Os problemas de qualidade e de quantidade da água existentes na bacia hidrográfica do rio Piracicaba são reflexos da ocupação antrópica da bacia, marcada pela conturbação de áreas, presença de extensa malha viária, desenvolvimento econômico acelerado, tudo isso associado a baixos índices de tratamento de esgoto doméstico, ausência de boas práticas de conservação do solo e de planejamento adequado e omissão dos órgãos públicos responsáveis pelos variados aspectos, principalmente ligados aos recursos naturais (REIS, 2004).

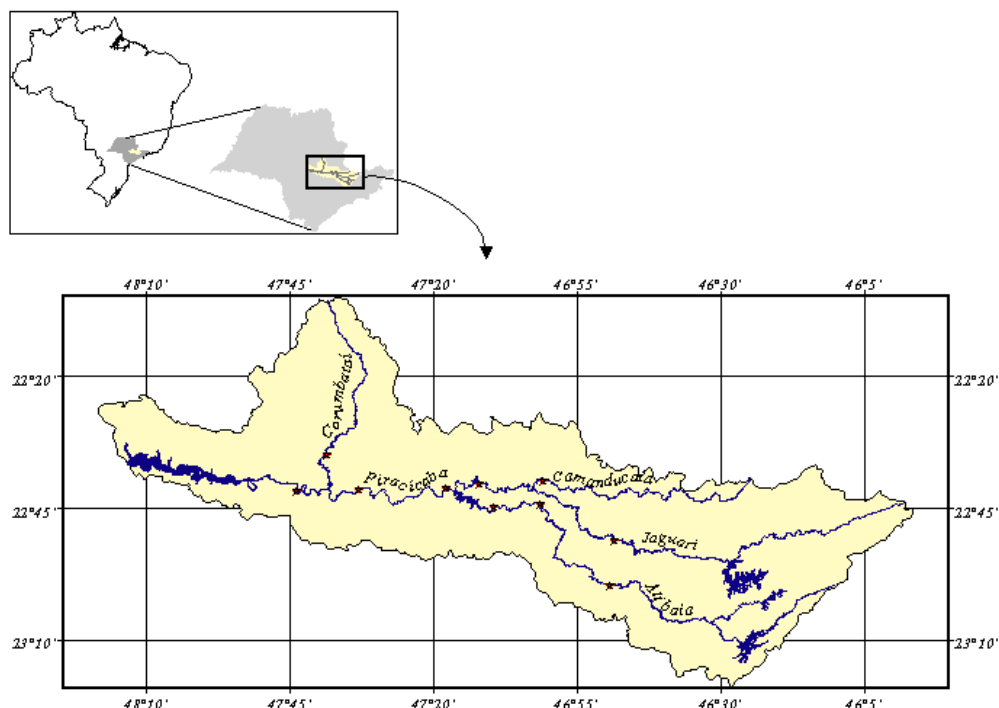


Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Piracicaba no Estado de São Paulo. Fonte: Projeto PIRACENA (2006).

A bacia hidrográfica do rio Corumbataí possui 1.710 km² de área de drenagem e está localizada entre os paralelos 22° 04'46" e 22° 41'28" e os meridianos 47° 26'23" e 47° 56'15", na região Centro Oeste de São Paulo. É uma sub-bacia do rio Piracicaba. O rio Corumbataí é um dos principais afluentes do rio Piracicaba, assumindo importância pela sua capacidade de abastecimento em quantidade e qualidade de água para os oito municípios da bacia. A Figura 3 mostra o diagrama unifilar da bacia do rio Corumbataí. Os municípios que compõem a bacia são: Piracicaba, Rio Claro, Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Santa Gertrudes, Charqueada e Itirapina (IPEF, 2001). Os municípios que compõem a bacia do rio Corumbataí e pertencem a UGRHI PCJ são aqueles mencionados, à exceção de Itirapina (Figura 4).

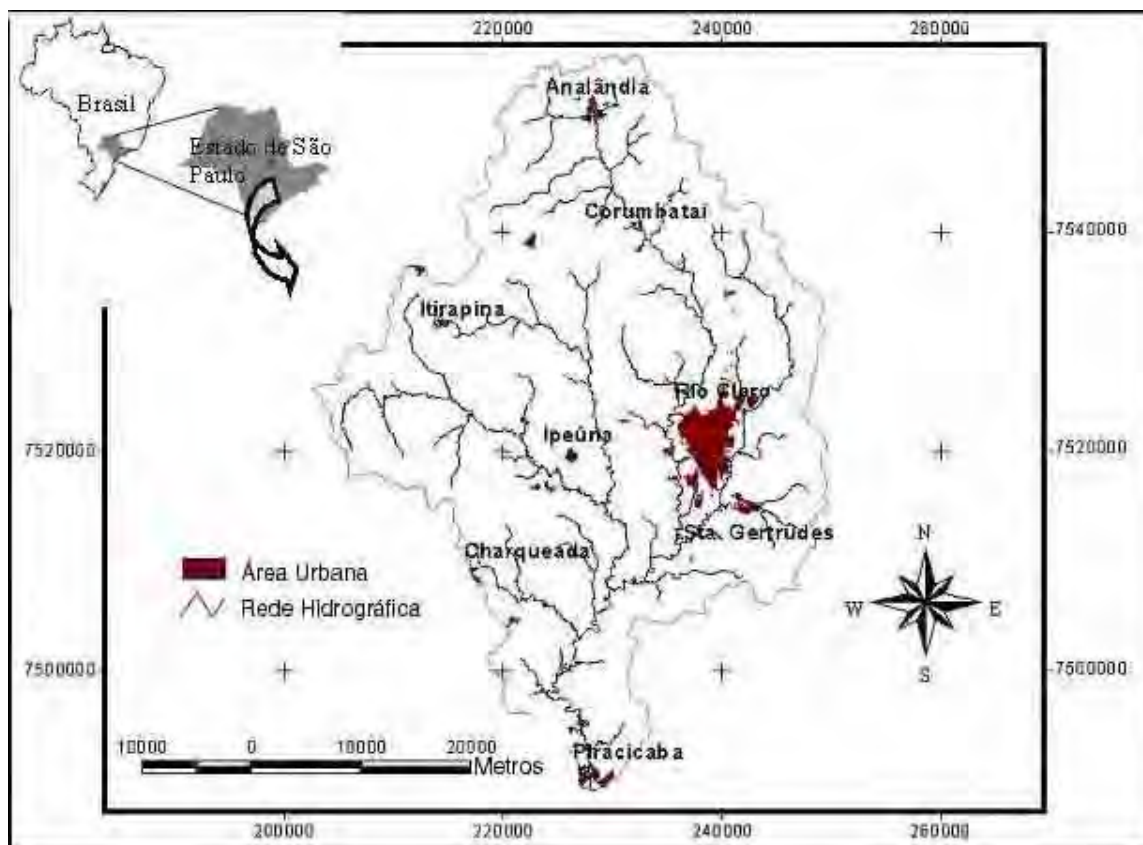


Figura 4. Localização da bacia hidrográfica do rio Corumbataí e sedes dos municípios. Fonte: IPEF e SEMAE (2001).

A bacia do rio Corumbataí, SP contém ainda água de boa qualidade, portanto, representam alternativa de abastecimento para vários municípios, dentre eles, Rio Claro e Piracicaba. O rio Corumbataí já fornecia água para o município de Piracicaba desde 1982, mas a partir do ano 2000 passou a ser o único manancial de abastecimento público do município. Todavia, a bacia hidrográfica do rio Corumbataí vem sendo ocupada também de forma desordenada, com reflexos já sentidos na qualidade das águas deste novo manancial.

Devido à localização, tamanho e importância esta unidade ambiental foi escolhida para o estudo de diferentes aspectos ambientais e contribuir para que no futuro possa ser estabelecida uma Ecotecnologia efetiva para a mesma. A bacia do rio Corumbataí, SP, vem sendo estudada por vários segmentos da sociedade, como universidades, divisões que cuidam das estações de tratamento de águas, CETESB e outros (NEGRI, 1992; VIADANA, 1992; KOFFLER, 1994; ZAINE e PERINOTTO, 1996; PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Adiciona-se a estes, os estudos

que vêm sendo realizados no Centro de Estudos Ambientais, desde 1991, que já produziram relatórios de Bolsas de Aperfeiçoamento/ CNPq (1992/1994), trabalhos publicados em Anais, resumos apresentados em diferentes eventos e trabalho enviado para publicação em revista especializada. Alguns deles foram financiados pela FAPESP, através de Bolsa de Mestrado (*Processo 96/08214-2*), Reserva Técnica (*Processo 97/7872-9*) e INFRA e INFRA II (*Processos 94/4888-3 e 95/06331-9*, respectivamente). Mais recentemente, os projetos desenvolvidos sobre as qualidades das águas de pesque-pague localizados na bacia do rio Corumbataí, Processos 03/08627-0; 04/06586-8 e 04/06585-1.

Resultados anteriores foram obtidos quanto à qualidade da água da cava principal deste rio, porém outros dados tornam-se necessários para melhor definição de uma gestão integrada da bacia em estudo. Esses estudos demonstraram que as áreas urbanas dos municípios de Analândia, Corumbataí e Rio Claro têm uma alta contribuição na poluição na calha principal do rio. Especificamente, observou-se que o município de Analândia contribui com maior aumento da poluição inorgânica e quanto à poluição orgânica, indiscutivelmente, o maior contribuidor é a área urbana do município de Rio Claro. Este rio apresenta uma alta taxa de autodepuração, sendo que, no inverno, este valor se aproxima de 70% (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Mais recentemente, o município de Corumbataí com 100% de tratamento de seu esgoto produzido, minimizou o impacto ambiental negativo na cava principal do rio Corumbataí.

Inicialmente, destaca-se a importância de uma gestão mais racional do espaço, a fim de manter uma razoável qualidade das águas, e a necessidade de realizar um planejamento global do uso do solo a fim de evitar o agravamento dos problemas causados pela poluição nas bacias hidrográficas. Há aproximadamente três décadas que se verifica a destruição da vegetação ciliar do rio Corumbataí, principalmente nos cursos alto e médio, para ser substituída por culturas ou vegetal alóctone aos sistemas, contribuindo para uma descaracterização da paisagem anterior e pela má conservação da qualidade das águas deste rio (CAMARGO et al., 1971).

Karr e Schlosser (1978) citaram que a água superficial de boa qualidade é um produto que surge a partir de um delicado equilíbrio na natureza, o qual é controlado por complexas interações entre fenômenos biológicos, geológicos, químicos e físicos em ambientes terrestres e aquáticos. Em uma bacia hidrográfica natural não perturbada, prevalecem as condições de equilíbrio nestes ambientes. Analisando a afirmação destes

autores conclui-se que, a cada momento, o homem promove perturbações quase irreversíveis aos ecossistemas aquáticos, tratando-se apenas neste tipo de ecossistema.

Feltran Filho (1982) estudou de forma sistêmica o comportamento dos fluxos das águas da bacia do rio Piracicaba, analisando seus fluxos diários e previsões dos principais rios que a formam. Concluiu que a qualidade e a quantidade de água dos fluxos desses rios dependem basicamente das precipitações e das atividades antrópicas desenvolvidas na área, ocasionando sérios problemas à qualidade das águas e restringindo o uso social dos rios da bacia do rio Piracicaba.

A bacia do rio Piracicaba foi caracterizada face à qualidade de suas águas pela análise de informações de ordem hidrometereológicas, comparadas com a situação geral de urbanização e industrialização, verificando-se que o rio Corumbataí, um de seus componentes, é aquele que sofre maior quantidade de impactos ambientais negativos devido às indústrias sucro-alcooleiras (PROCHNOW, 1982).

Viadana (1985) utilizou microrganismos e peixes como bioindicadores no alto e médio rio Corumbataí, para delinear diferentes zonas e graus de poluição. A aplicação desta técnica permitiu avaliar as condições nesses locais do rio, revelando a existência de diferentes zonas de poluição ao longo dos cursos de água, mais alta quanto mais próximas às sedes municipais.

Pinto e Mauro (1985) destacaram alguns cuidados que deveriam ser adotados quanto a microbacia do Ribeirão Claro quanto ao abastecimento de água da cidade de Rio Claro - SP, propondo a necessidade de amplo reflorestamento, que facilitaria em muito a manutenção dos solos, dificultando o carregamento dos minerais mais grosseiros para o leito. Com isso, seria minimizado o assoreamento do talvegue, bem como do sistema de represas. A implantação de matas ciliares foi abordada por Kageyama (1986), para a microbacia do Passa Cinco, visando à utilização para abastecimento público, verificou a existência de algumas áreas com problemas sérios de erosão em consequência do uso inadequado do solo. Além da recuperação das matas ciliares, a utilização da bacia como manancial deveria, também, prever o estabelecimento de um programa mínimo de conservação do solo nas atividades normais ao longo das propriedades.

Na região da bacia do rio Piracicaba a exploração intensa e desordenada dos recursos hídricos, especialmente pelas atividades industriais e agrícolas, tem comprometido o abastecimento e a qualidade das águas das cidades. Devido às características ambientais da região e à dimensão metropolitana dos conflitos presentes;

as questões como localização das atividades econômicas, o abastecimento, o tratamento sanitário e a preservação dos mananciais, entre outras, deviam ser abordadas em escala regional (GANZELLI, 1991).

Do ponto de vista dos fatores naturais indutores da degradação ambiental, a bacia do rio Corumbataí apresenta-se bastante frágil, uma vez que predominam na área solos basicamente areníticos, permeáveis e friáveis e, portanto, com grande tendência à formação de ravinas e voçorocas. Nas áreas mais declivosas, obviamente, os processos erosivos são mais intensos, mas, até mesmo onde as amplitudes são modestas, os ravinamentos são bastante comuns em função da fragilidade do solo (PROCHNOW, 1992).

No alto curso, o Rio Corumbataí apresenta forte declive e escoamento rápido intercalado por cachoeiras e corredeiras. É o caso da Cachoeira de Analândia. Apesar do pequeno volume de água e correndo sobre fundo rochoso, há forte processo erosivo que se expressa por vales bem encaixados, no alto curso, que abrange o trecho entre a nascente e o distrito de Ferraz do município de Rio Claro, num total de 35 km². Neste trecho a declividade é de 0,7%. No médio curso, o declive e a velocidade são menores em relação ao alto curso, descrevendo curvas quando se verifica a deposição dos sedimentos trazidos do alto curso. No talvegue encontram-se folhelhos e calcários do Grupo Passa Dois. Esse trecho, entre distrito de Ferraz e a Hidroelétrica da CESP (Usina Corumbataí – Museu) tem 40 km e declividade de 0,25%. No baixo curso, entre a Hidroelétrica da CESP e a confluência com o Rio Piracicaba, o rio Corumbataí tem 45 km e declividade de 0,01%. Nesse trecho o rio é volumoso, para a escala do Rio Corumbataí, descrevendo curvas e principalmente meandros sobre um substrato de arenito e siltites do Grupo Tubarão (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001).

O rio Corumbataí nasce no município de Analândia a aproximadamente 1040 metros de altitude e, após percorrer aproximadamente 110 km, desemboca no rio Piracicaba, no município de Piracicaba a 460 m de altitude. Seus principais afluentes são os rios Passa Cinco, Cabeça e Ribeirão Claro. A malha viária da bacia é de aproximadamente 1.130 km de extensão. O IPEF e SEMAE (2001) definiram cinco sub-bacias dentro da bacia hidrográfica do rio Corumbataí (Figura 5). A bacia do rio Corumbataí é estadual e seus municípios estão inseridos no Comitê das Bacias dos Rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí, da UGRHI 05 do Estado de São Paulo.



Figura 5. Divisão de sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Corumbataí. Fonte: IPEF e SEMAE (2001).

Segundo Troppmair (1992), Rio Claro retirava dos rios Ribeirão Claro e Corumbataí, 1200L s^{-1} para uso urbano e devolvia 50% sob forma de esgoto não tratado. São 18 pontos de lançamento que, em 1992, perfaziam uma DBO de 9.500mg L^{-1} devendo passar, segundo projeções, para 14.000mg L^{-1} no ano 2000. Foi considerada responsável pela poluição das águas do rio Corumbataí o lançamento de esgotos "in natura" por quase todas as cidades da bacia, o parque industrial de Rio Claro, a atividade agrícola que nos últimos anos recebeu acentuado incremento pela cultura da cana-de-açúcar que utiliza grandes quantidades de agrotóxicos, o desaparecimento da mata galeria que exerce papel filtrante entre o corpo de água e as atividades agrícolas praticadas nas margens e vertentes e, por último, as atividades de mineração, sejam em portos de areia, sejam em áreas próximas às margens para exploração de argila por numerosas olarias. Esta última situação, cada vez mais crítica, devido à criação e

incentivos do Pólo Minerador desta região, principalmente para cerâmicas vermelhas de revestimento.

De acordo com Reis (2004) as cargas orgânicas potenciais e remanescentes advindas de esgotos urbanos das bacias dos rios Piracicaba e Corumbataí estão expostas na Tabela 1 e as orgânicas industriais, potenciais e remanescentes estão expostas na Tabela 2.

Tabela 1. Cargas orgânicas poluidoras provenientes de esgotos domésticos gerados nas bacias dos rios Corumbataí e Piracicaba. Fonte: Adaptado de REIS, 2004.

Sub-Bacia	População Urbana (hab)	% Atendimento		Carga poluidora (t DBO/dia)		
		Coleta	Tratamento	Potencial	Remanescente	% Removida
Rio Corumbataí	205.310	98	5	11.087	10.180	8,2
Rio Piracicaba	1.251.700	88	26	67.592	50.268	25,6

Tabela 2. Cargas poluidoras provenientes de esgotos industriais geradas nas bacias dos rios Corumbataí e Piracicaba. Fonte: Adaptado de REIS, 2004.

Sub-Bacia	Carga Orgânica*		Sucro-Alcooleira*		Carga Inorgânica*	
	Potencial	Remanescente	Potencial	Remanescente	Potencial	Remanescente
Corumbataí	27,3	4,3	-	-		-
Piracicaba	414,9	33,8	625,9	0,08	0,02	-

*Cargas em t DBO/dia

Segundo Nolasco (1997), a queda da qualidade da água do rio Corumbataí, é uma consequência da expansão do desenvolvimento e do aumento da demanda, e possui como principais fatores de poluição, a carga orgânica gerada do esgoto doméstico e industrial, principalmente a jusante do município de Rio Claro, o assoreamento e a carga de agro químico resultante das atividades agrícolas. As fontes difusas de poluição urbanas e rurais constituem-se em significativa e importante contribuição para a degradação dos recursos hídricos, mas não existem informações que permitam analisar a situação atual na UGRHI 05 PCJ. O Plano de bacias 2000-2003 da UGRHI 05 PCJ considera a gravidade do problema relacionado à carga difusa gerada a partir da extensa aplicação de agrotóxicos na UGRHI (IRRIGART, 2005).

Os índices de ecologia da paisagem (calculados pelo software FRAGSTATS) foram determinados por sub-bacias (Passa-Cinco, Alto Corumbataí, Médio Corumbataí,

Ribeirão Claro e Baixo Corumbataí) (Figura 5), sendo utilizados os que fazem a caracterização em nível de fragmentos e em nível de classes de uso e cobertura do solo. Os índices referentes às classes forneceram as caracterizações das classes floresta nativa (Floresta Estacional Semidecidual) e cerrado; e os referentes a fragmentos a caracterização, dos seus respectivos remanescentes. Com base nesses índices, pode-se dizer que a estrutura florestal das sub-bacias do rio Passa-Cinco e Alto Corumbataí apresentaram algumas diferenciações em relação às sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro, e do Baixo Corumbataí.

Nas sub-bacias do Médio Corumbataí, do Ribeirão Claro, e Baixo Corumbataí, existe a predominância de fragmentos de floresta nativa menores que 15 ha e seus fragmentos, independentemente do tamanho, estão mais distantes uns dos outros e, portanto, mais sujeitos às ações antrópicas, do que os remanescentes das sub-bacias do Alto Corumbataí e do rio Passa-Cinco. Nas sub-bacias do rio Passa-Cinco, do Alto Corumbataí e do Ribeirão Claro, a estrutura florestal tem como outro componente a vegetação de cerrado. No Alto Corumbataí, essa vegetação representa 78,24% do total de cerrado da Bacia do Rio Corumbataí. Neste contexto, através dos índices de ecologia da paisagem, quando analisados em conjunto, pode-se caracterizar estrutura florestal das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí e a avaliação dessas áreas, sob o ponto de vista da preservação e da conservação florestal. Tendo por base estes dois tipos de intenções florestais, pode-se concluir que as sub-bacias do Passa-Cinco e Alto Corumbataí têm um padrão de estrutura florestal com predominância de fragmentos aptos à preservação. Essa condição é consequência do fato de possuírem fragmentos com área nuclear suficiente para manter sua estrutura interna e a estabilidade da estrutura florestal da paisagem em que estão inseridos.

As sub-bacias do Ribeirão Claro, Baixo Corumbataí e, principalmente, do Médio Corumbataí, apresentam estrutura florestal com a maioria de fragmentos devendo ser conservados. Os fragmentos que possuem a área mínima necessária à auto-sustentabilidade não são suficientes, em número, para manter a estabilidade dessas paisagens da bacia do rio Corumbataí, como um todo (VALENTI, 2001).

Palma-Silva e Tauk-Tornisielo (2001) analisando e comparando atributos que definem a qualidade da água estudada em sete pontos de coleta ao longo do rio Corumbataí, concluiu que esta tem alta taxa de autodepuração, chegando a 70% no inverno. Esta capacidade de depuração do rio é devido a sua declividade, aos meandros e ao encaichoeiramento, característica que possibilitam uma melhora na qualidade da

água na captação em Piracicaba. Os principais impactos recebidos pelo rio Corumbataí são: a) no alto curso, percorrendo um trecho de 35km, a mineração, a disposição desordenada de rejeitos e a degradação da paisagem; b) no médio curso, em um trecho de 41km, a carga orgânica recebida principalmente do município de Rio Claro; e c) no baixo curso, próximo à foz, abrangendo um trecho de 45km, a monocultura da cana-de-açúcar e as agroindústrias.

Em uma visão global, o Corumbataí é um rio cuja água, quanto à qualidade, pode ser classificada como sendo classe 2, ou seja, para fins domésticos após tratamento convencional. Em escala local, podemos afirmar que o alto curso é de classe 1, enquanto alguns pontos, após lançamento de esgotos domésticos e industriais, principalmente nas proximidades de Rio Claro e próximo da desembocadura no rio Piracicaba é de classe 3 e até mesmo de Classe 4, em alguns meses (PALMA-SILVA, TAUKE-TORNISIELO, 2001).

O clima da região é do tipo AW (classificação de Köppen), ou seja, clima tropical chuvoso, com chuvas no verão e inverno seco (Inácio, Santos, 1988). A geologia da região é exclusivamente formada por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, representada pelo subgrupo Itararé, Formação Tatuí, Formação Irati, Formação Corumbataí, Formação Pirambóia, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Formação Rio Claro (ZAINE e PERINOTTO, 1996).

A vazão média mensal nos últimos 25 anos é de $26\text{m}^3/\text{s}$ com a vazão média mensal máxima de $168\text{m}^3/\text{s}$ registrada no mês de Fevereiro/1995 e vazão mínima de $6\text{m}^3/\text{s}$ registrada no mês de Setembro/1994. Segundo informações da literatura (CBPH-PCJ, 1999), o balanço hídrico da bacia do rio Corumbataí tem uma demanda urbana de $0,658\text{m}^3/\text{s}$, industrial de $0,956\text{m}^3/\text{s}$ e na irrigação de $0,658\text{m}^3/\text{s}$, perfazendo um total de $1,995\text{m}^3/\text{s}$, com uma perda de $0,546\text{m}^3/\text{s}$. A disponibilidade hídrica superficial tem uma vazão natural Q95% igual a $8,062\text{m}^3/\text{s}$ e Q7,10 de $4,960\text{m}^3/\text{s}$, sendo o saldo hídrico de Q95% igual a 7,104 e Q7,10 igual a $4,002\text{m}^3/\text{s}$. Atualmente, a demanda de recursos hídricos para abastecimento urbano da área em estudo, alcança a vazão média de $1,60\text{m}^3/\text{s}$, sendo de água superficial $1,57\text{m}^3/\text{s}$ e de poços $0,03\text{m}^3/\text{s}$. Para o uso industrial, alcança a vazão média de $0,83\text{m}^3/\text{s}$, sendo totalmente de água superficial. Suas cargas orgânicas (tDBO/dia) em 1996 foram de: potencial urbano - 11,1; remanescente urbana - 10,4; potencial industrial - 206,6; remanescente industrial - 1,2; potencial total - 217,7; remanescente total - 11,6 (CBH-PCJ, 1999).

A bacia do rio Corumbataí constitui-se na principal abastecedora de todos os municípios a ela pertencentes, principalmente Rio Claro, além de fornecer parte da água utilizada no abastecimento urbano, justificando um estudo da disponibilidade da água da bacia. Devido ao crescimento dos municípios, a falta de planejamento adequado e de tratamento dos efluentes, a ameaça de falta de água futuramente não pode ser descartada (BACCI, 1994). O aumento populacional da bacia do rio Piracicaba é um efeito da transferência do desenvolvimento da região metropolitana para o interior, e os municípios da bacia do rio Corumbataí não está imune às influências desse processo, recebendo os impactos da pressão populacional na qualidade de vida (CARON,1997).

Segundo São Paulo (2000), na UGRHI 05, onde se inclui a bacia do rio Piracicaba, como maior segmento da unidade de gerenciamento, atualmente 97% da demanda de água para abastecimento urbano, provém de mananciais superficiais e apenas 3 % de mananciais subterrâneos; no uso industrial, estes números são 93,5 % e 3,5 % respectivamente. As demandas totais de consumo atuais e projetadas observadas estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3. Relações entre Demanda e Disponibilidade dos recursos hídricos nas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Fonte: Adaptado de São Paulo (2000)

Sub-bacias	Demanda/Disponibilidade Hídrica (%)							
	2000		2005		2010		2020	
	Q 7,10	Q 95%	Q 7,10	Q 95%	Q 7,10	Q 95%	Q 7,10	Q 95%
Camanducaia	24,5	16,5	26,9	18,1	29,1	19,5	30,4	20,4
Jaguari	91,8	58,6	99,2	63,4	109,1	69,6	124,3	79,4
Atibaia	139,5	106,0	148,3	112,7	156,1	118,7	172,5	131,1
Corumbataí	76,7	45,6	82,0	48,8	87,2	51,9	92,7	55,2
Bacia do Piracicaba	112,5	75,2	120,2	80,3	128,2	85,7	142,0	94,9

A Tabela 4 traz a demanda de água para diferentes usos no rio Corumbataí. Pode-se observar que a maior demanda é para o uso doméstico (60,2% da demanda), seguindo a irrigação (19,9%), indústria (16,4%), aquicultura (1,86%), mineração (1,32%) e pecuária (0,27).

Tabela 4. Demanda de água na bacia do rio Corumbataí distribuída entre os diferentes usos. Fonte: Adaptado de REIS (2004).

Usos	Demanda. (m ³ /s)	%
Doméstico	2,424	60.19
Industrial	0,662	16.44
Irrigação	0,802	19.92
Aqüicultura	0,075	1.86
Pecuária	0,011	0.27
Mineração	0,053	1.32
TOTAL	4,0270	100.00

Segundo Reis (2004) a demanda conhecida é de 4,027 m³/s e a “vazão mínima”, representada pelo Q_{7,10} estimada é de 4,55 m³/s, observa-se que a relação entre ambas é de 88 % , ou seja, a demanda hoje conhecida para a captação no Rio Corumbataí equivale a 88 % da vazão mínima estabelecida. Segundo Belondi (2003) a população urbana atendida com abastecimento de água pelo rio Corumbataí é de 307.646 habitantes, sendo que a projeção é de crescimento populacional (Tabela 5).

Tabela 5. Projeção populacional para a bacia do Rio Corumbataí. Fonte: BELONDI, (2003).

Tipo de Demanda	População Urbana (habitantes)		
	2005	2010	2020
Analândia	3.636	4.550	5.350
Corumbataí	2.109	2.511	2.878
Charqueada	12.284	14.582	14.991
Ipeúna	4.552	5.746	6.901
Rio Claro	177.416	193.423	220.860
Santa Terezinha ⁽¹⁾	33.010	35.148	38.986
Santa Gertrudes	19.846	24.290	26.476
Total	252.853	280.250	316.442

Nota: (1) Distrito de Piracicaba

Os altos índices de urbanização acarretam uma grande produção de resíduos domiciliares, devido principalmente, aos hábitos de consumo atuais e à falta de consciência e educação ambiental. Em toda a região, o manejo de resíduos sólidos

domiciliares é realizado, quase que exclusivamente, através de aterros, lixões ou valas sépticas. São praticamente inexistentes planos integrados de manejo de resíduos associando-se várias técnicas de tratamento e disposição final.

A bacia do rio Corumbataí, com suas nascentes na região de Analândia, e toda a região entre Ipeúna e Rio Claro, são áreas com forte assoreamento e erosão acelerada. A atividade mineradora nessa região é responsável por grande produção de sedimentos que são carregados para os canais de drenagem, provocando assoreamento e o transporte de sólidos em suspensão. Dados de 2004 levantados no DNPM (IRRIGART, 2005) somam 170 processos na área da bacia do Piracicaba, sendo que destes, 73 estão distribuídos na bacia do rio Corumbataí (Tabela 6).

Tabela 6. Distribuição do número de processos de cada atividade mineraria por sub-bacia. Fonte: Adaptado de IRRIGART (2005)

Sub-bacia/ Atividade	Água Mineral	Areia	Argila	Areia e Argila	Calcário	Total
Rio Piracicaba	7	68	19	1	2	97
Rio Corumbataí	5	21	34	0	13	73
Total	12	89	53	1	15	170

Palma-Silva e Tauk-Tornisielo (2001) verificaram que os principais impactos ambientais negativos na bacia do rio Corumbataí foram: lançamento de esgoto residenciais e efluentes industriais, ocasionando poluição nos corpos de água superficiais e subterrâneos, disposição inadequada dos resíduos sólidos; crescimento desordenado das áreas urbanas, erosão e assoreamento devido à retirada das matas ciliares, das atividades mineradoras e do manejo inadequado das áreas agrícolas, predominância de monoculturas na região, especialmente cana-de-açúcar, e entre outros, a utilização inadequada dos agrotóxicos.

Hoje, evidentemente, nas regiões com considerável densidade demográfica, não se concebe a produção de água em bacias hidrográficas sem a adoção de programas de manejo que visem melhorar e manter os recursos hídricos como bem de consumo disponível continuamente, aliado a uma agricultura altamente produtiva, sob as melhores práticas de manejo do solo, que mantenha o equilíbrio nos ecossistemas. Como subsídio para o planejamento e manejo da bacia hidrográfica é importante se estabelecer modelagem de qualidade das águas superficiais

2.4 Modelos estatísticos e a poluição ambiental

Durante a década de 1960 os professores George E. P. Box e Gwilym M. Jenkins escreveram diversos trabalhos sobre a teoria de controle e análise de séries temporais. Em 1970 publicaram o livro *Time Series Analysis, forecasting and control* apresentando uma metodologia para a análise de séries temporais e em 1976 foi lançada a versão revisada desse livro e que normalmente é a mais mencionada. O grande mérito desta publicação foi reunir as técnicas existentes em uma metodologia para construir modelos que descrevessem, com precisão e de forma parcimoniosa, o processo gerador da série temporal, proporcionando dessa forma previsões acuradas de valores futuros. A metodologia de Box-Jenkins estima então modelos de séries temporais (OLIVEIRA e FAVERO, 2002).

2.4.1 Modelos estatísticos

Modelos estatísticos vêm sendo cada vez mais utilizados na Gestão Ambiental podendo ser de extrema relevância quando a proposição é antever os impactos ambientais ou de definir manejos para a conservação de ecossistemas. Mais especificamente têm sido usados nas análises sobre ocorrência de poluição, quaisquer que seja seu tipo e origem (SMITH, 2002).

A maioria dos estudos, todavia, esta focada em estatística descritiva ou em simples testes de significância. Barnett e Turkman (1995) realizaram intensa pesquisa bibliográfica e citaram que 65% dos testes realizados em dados ambientais são simples testes de significância, 25% do tratamento de dados são realizado com Análise Multivariada de Dados e apenas 10% do tratamento de dados são realizados com outras ferramentas matemáticas, como testes de tendências temporais.

Estimar a tendência temporal de um determinado conjunto de dados ambientais é muito importante tanto para a comunidade científica como para as autoridades e órgãos de fiscalização que atuam em gestão ambiental, pois assim é possível tomar providências quanto à emissão de poluentes antes que as concentrações limites sejam atingidas ou mesmo para criar redes de monitoramento (STOCK e WATSON, 1988).

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma variável dispostas sequencialmente no tempo. A série temporal pode ser classificada como determinística ou estocástica, quando os valores da série podem ser escritos

através de uma função matemática $y = f(\text{tempo})$. Diz-se que a série é estacionária, quando envolve, além de uma função matemática do tempo, também um termo aleatório $y = f(\text{tempo}, \varepsilon)$. Normalmente, as séries temporais são analisadas a partir de seus principais movimentos descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias (OLIVEIRA et al., 2002).

Muitos destes estudos (BLOOMFIELD et al., 1996; HOLLAND et al., 2004) mostram que estimar a tendência dos níveis de emissão de poluentes requer modelos estatísticos que descrevam a variabilidade das fontes que emitem esses poluentes.

2.4.2 As equações ARIMA

Os modelos ARIMA foram sistematizados por Box e Jenkins (1976). Esses modelos são robustos do ponto de vista conceitual e estatístico, proporcionam previsões probabilísticas e são de fácil implementação, desde que se tenham os recursos computacionais adequados. Estes modelos representam uma generalização dos diversos métodos de análise de séries temporais. De uma forma sumária, um modelo ARIMA (p,d,q) pode ser apresentada como segue:

$$w_t = \mu + \frac{\Theta(B)}{\Phi(B)} a_t$$

onde:

t , índice do tempo;

w_t , d'ésima diferença da variável de interesse z_t ;

μ , “ponto de referência” do nível do processo;

$\Theta(B)$, operador de médias móveis: $\Theta(B) = (1 - \Theta_1 B^1 - \Theta_2 B^2 - \dots - \Theta_q B^q)$;

$\Phi(B)$, operador auto regressivo: $\Phi(B) = (1 - \Phi_1 B^1 - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p)$;

B^p , operador de retrocesso: $B^p z_t = z_{t-p}$;

a_t , “ruído branco” ou erro aleatório;

Para uma maior clareza, o modelo ARIMA (p,d,q) acima estabelecido de forma sintética pode ser expandido, como segue:

$$w_t = \theta_0 + \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

onde:

$$\theta_0 = \mu (1 - \phi_1 - \dots - \phi_p)$$

Os modelos ARIMA (p,d,q) ou modelos auto regressivos de médias móveis integrados de ordem (p, d, q), postulam que as séries temporais (z_t) podem ser representadas por uma sequência de “choques” aleatórios (a_t) submetidos a três operações de filtragem, médias móveis, auto-regressivo e integração (Figura 6).

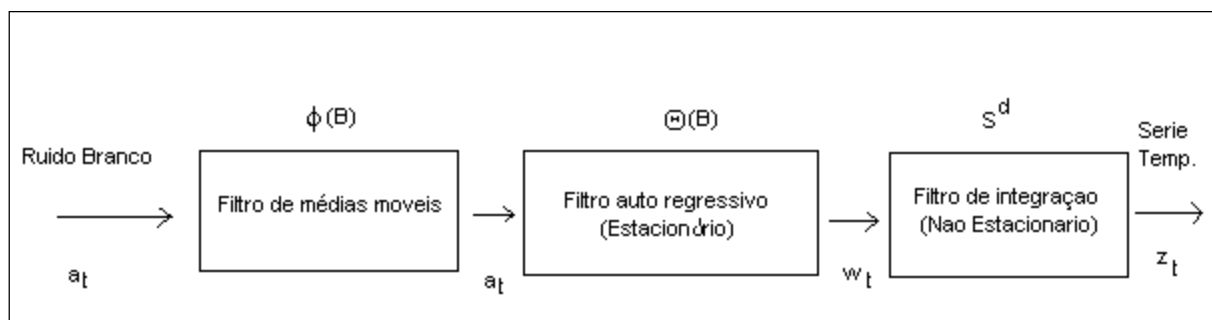


Figura 6. Diagrama de blocos do modelo ARIMA

Intuitivamente, pode-se afirmar que os modelos ARIMA representam as séries temporais como uma ponderação dos próprios valores e/ou erros passados da série. Um modelo ARIMA possui $p+q+2$ parâmetros desconhecidos, que devem ser estimados a partir dos dados, a saber:

- μ , o “ponto de referência” do nível processo;
- p , parâmetros auto regressivos $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p$;
- q , parâmetros médias móveis $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_q$;
- σ^2 , a variância do ruído branco a_t ,

Para a construção dos modelos ARIMA utilizados para os valores de diferentes parâmetros estudados em um determinado trecho de rio, pode ser seguida a abordagem de Box-Jenkins (1976), através das etapas interativas (Figura 7).

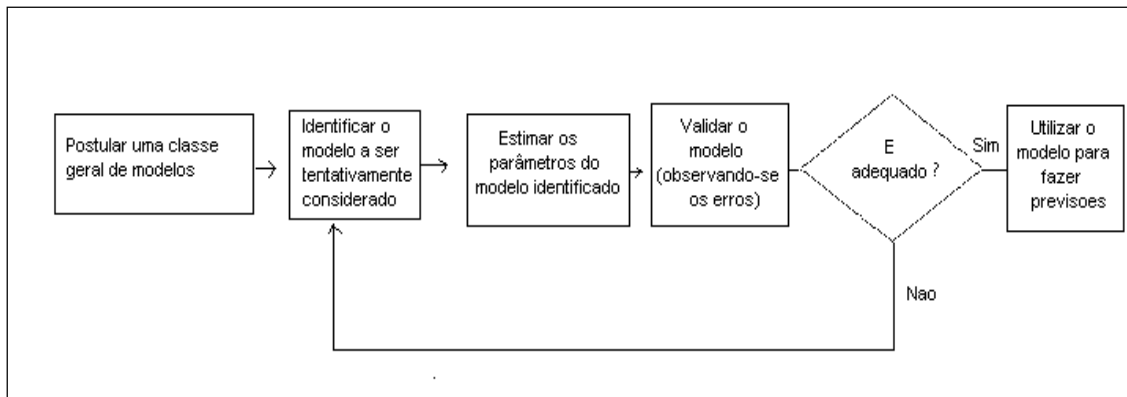


Figura 7. Etapas interativas da construção de modelos de previsão (abordagem de Box–Jenkins)

A identificação de um modelo ARIMA corresponde à determinação do nível de diferenciação (d), a partir do qual a série se torna estacionária; da ordem (máxima) dos termos autoregressivos (p) e da ordem (máxima) dos termos médias móveis. Uma vez determinada a ordem (p, d, q) do modelo são estimados os seguintes parâmetros:

- Parâmetros auto regressivos $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p$;
- Parâmetros médias móveis $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_q$;
- Seus respectivos erros.

A verificação de validação e adequação do modelo é efetuada em duas dimensões inter relacionadas: o exame do grau de ajustamento (ou aderência) do modelo, realizado comparando-se os dados experimentais com aqueles obtidos através do modelo e a verificação dos erros dos parâmetros identificados com o mesmo. Este sendo validado pode-se então estimar a tendência dos dados experimentais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Limites físicos e temporais (pontos de coletas e coletas das amostras)

Os pontos de coletas das amostras de água (Figura 8) foram determinados em função de caracteres do curso de água, antes e depois do lançamento de esgotos, outras cargas e recebimento de efluentes, uma vez que, as coletas têm sido feitas no rio Corumbataí, no ponto antes da área urbana do município de Rio Claro e após esta até a foz, na cidade de Piracicaba. Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados sobre a localização geográfica dos pontos de amostragens, utilizando-se do GPS - Sistema de Posicionamento Global e foram escolhidos os seguintes pontos:

Ponto 1 – ETA 2, montante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 236443 e Y 7528966; altitude 415m);

Ponto 2 – Usina da CESP, jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 233366 e Y 7511786; altitude 380m);

Ponto 3 – Assistência, jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 230064 e Y 7507759; altitude 340m);

Ponto 4 – Captação de água do SEMAE, município de Piracicaba (coordenadas UTM X 224804 e Y 7494646; altitude 320m);

Ponto 5 – Município de Piracicaba, 1km da foz do rio Corumbataí no rio Piracicaba (coordenadas UTM X 224987 e Y 7488846; altitude 310m).

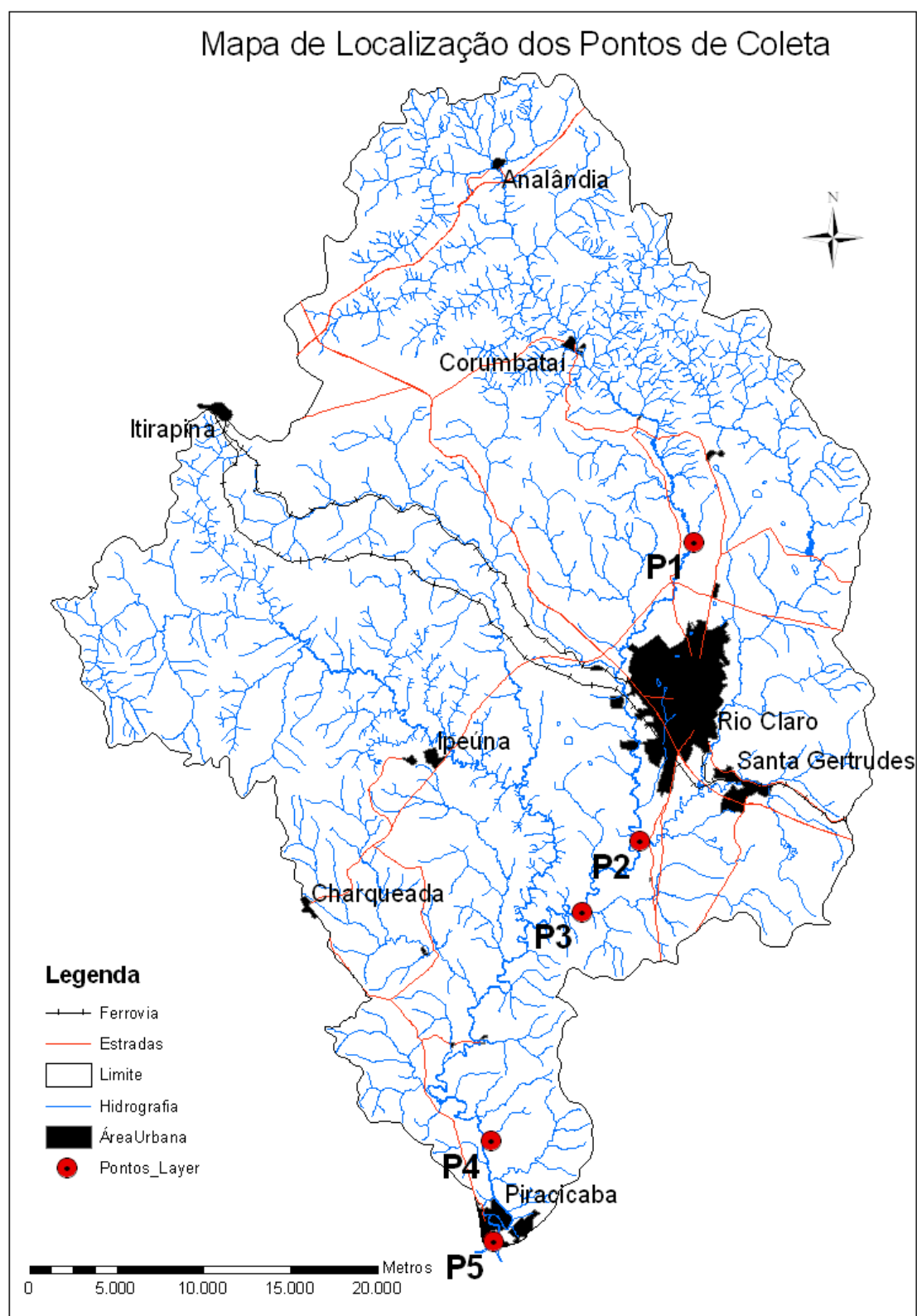


Figura 8. Mapa da localização dos pontos de coletas no rio Corumbataí, SP.
 Fonte: Adaptado por Antonello, S.L.

As variações dos parâmetros estudados foram determinadas em relação a dois fatores, pontos de coletas e períodos (seco e chuvoso), utilizando-se modelo do tipo fatorial:

- períodos (1 = Seco e 2 = chuvoso);
- pontos de coletas (1, a jusante da ETA 2 no município de Rio Claro; 2, a montante da área urbana do município de Rio Claro; 3, após a desembocadura do Ribeirão Claro; 4, no SEMAE do município de Piracicaba; 5, na foz do rio Corumbataí, no bairro Santa Terezinha do município de Piracicaba, SP); e
- interação entre períodos e pontos

As coletas mensais foram realizadas no período de outubro/2000 a novembro/2003, nos cinco pontos e em triplicata, considerando a metade do corte transversal do rio, à aproximadamente 10 - 20cm da superfície (dependendo da profundidade do rio), utilizando-se de coletores construídos segundo recomendações da CETESB (1987). As amostras para análises laboratoriais foram acondicionadas em frascos polietileno de 1L, e em uma caixa de isopor, sendo as análises realizadas nos laboratórios do Centro de Estudos Ambientais/UNESP, Campus de Rio Claro. Para a análise de coliformes totais e *Escherichia coli*, os frascos foram esterilizados, devidamente fechados, sendo a tampa envolta com papel protetor e para o oxigênio dissolvido, as amostras foram coletadas em frascos especiais e devidamente fixadas segundo o método de Winkler (APHA, 1998).

3.2 Parâmetros físico-químicos, físicos, químicos e biológicos.

Estes parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram selecionados para caracterizar a qualidade da água e também para poder gerar informações sobre os compartimentos espaciais do rio e seu comportamento temporal, que podem ser inferidos a partir dos valores obtidos para cada coleta de campo. Tais parâmetros foram definidos a partir de resultados obtidos anteriormente (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001) para atingir os objetivos propostos neste estudo.

Considerando estudos anteriores realizados na cava principal do Rio Corumbataí desde sua nascente até sua foz (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001), considerando as instalações de duas estações de tratamento de esgoto no município de Rio Claro e no intuito de melhor estabelecer um modelo adequado para previsão do estado da qualidade da água, nos próximos anos, os parâmetros a seguir foram selecionados para este presente estudo.

3.2.1 Temperatura da água (°C) e temperatura do ar (°C)

Leitura direta na água com aparelho de campo, marca Mettler Toledo, modelo MP 120, com precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e a temperatura ambiente com termômetro de mercúrio em vidro, marca I.M. Total, método 2550 (APHA, 1998).

3.2.2 pH

A medida foi realizada em cada estação de coleta e a cada mês com aparelho de campo, marca Mettler Toledo, modelo MP 120, precisão $\pm 0,02$.

3.2.3 Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) e salinidade (‰)

As medidas destes parâmetros foram realizadas em cada estação de coleta e a cada mês, com aparelho de campo, marca Hach, modelo CO 150. A precisão do aparelho para a condutividade é de $\pm 0,5\%$ e para STD é de $\pm 0,1$, métodos 2510, 2540 e 2520 (APHA, 1998).

3.2.4 Cor aparente (PtCo/L)

As determinações deste parâmetro foram realizadas em aparelho automático, marca Hach, modelo DR/2000, método 2120 (APHA, 1998).

3.2.5 Alcalinidade (mg L⁻¹)

Os valores da alcalinidade foram determinados através do método da titulação potenciométrica, método 2320 (APHA, 1998). Determinou-se o pH em 100mL da amostra e com o eletrodo do pHmetro imergido na amostra, acrescentou-se à mesma solução, ácido sulfúrico 0,01N para corrigir o pH em 4,35. A alcalinidade total foi calculada utilizando-se o volume de ácido sulfúrico gasto para a correção do pH da amostra, normalidade do ácido e o volume da amostra, com os valores expressos na equação:

$$ALC_t = \frac{V_t \cdot N_{H_2SO_4} \cdot 50000}{V_{am}}$$

Onde:

ALC_T: alcalinidade total

V_T: volume total gasto de ácido sulfúrico, desde o início da titulação até o pH 4,35, em mL.

N_{H2SO4}: normalidade do ácido sulfúrico padronizado.

V_{am}: volume utilizado de amostra, em mL.

3.2.6 Turbidez (UNT)

As determinações foram realizadas a cada estação de coleta e a cada mês com aparelho de campo, marca Hach, modelo 2100P, com precisão de ± 0,01 UNT, conforme preconizado pelo método 2130 (APHA, 1998).

3.2.7 Oxigênio dissolvido (mgO₂ L⁻¹)

As concentrações de oxigênio foram determinadas através do método titulométrico de Winkler modificado com adição de azida sódica, método 4500-0 (APHA, 1998). Neste método, coletaram-se a amostra com coletores especiais, fixando-se o oxigênio, com soluções de sulfato manganoso e azida sódica alcalina e, realizando-

se a titulação com uma solução de tiosulfato de sódio 0,0125N. Os valores de oxigênio dissolvido foram obtidos através da equação:

$$OD = \frac{N \cdot V_1 \cdot 8000}{V_2 \cdot \left(V_f - \frac{4}{V_f} \right)}$$

Onde:

OD: oxigênio dissolvido

V_1 : volume do tiosulfato de sódio gasto na titulação

N: normalidade do tiosulfato de sódio

V_2 : volume da amostra titulada

V_f : volume do frasco

3.2.8 Demanda química de oxigênio – DQO (mg L^{-1})

O teste foi usado para medir a quantidade de oxigênio consumido por bactérias durante a oxidação da matéria orgânica presente na amostra. A metodologia utilizada correspondeu a digestão ácida com dicromato de potássio, utilizando-se um reator de digestão marca HACH, modelo COD REACTOR e espectrofotômetro marca Hach, modelo DR/2000, com precisão de $\pm 1 \text{ mg.L}^{-1}$, método 5210 (APHA, 1998).

3.2.9 Nitrato (mg L^{-1})

As concentrações de nitrato (N-NO_3^-) foram obtidas através do método 4500 (APHA, 1998), no qual o nitrato é reduzido a nitrito através do cádmio amalgamado, sob agitação mecânica, que reagindo com sulfanilamida e n (1-naftil) etilenodiamina forma um composto de coloração rósea. A absorbância da amostra foi lida a 543nm.

3.2.10 Nitrito (mg L^{-1})

A determinação das concentrações de nitrito (N-NO_2^-) foi obtida de acordo com o método 4500 (APHA, 1998), onde a amostra foi colocada para reagir com sulfanilamida e n (1-naftil) etilenodiamina e a leitura realizada em espectrofotômetro a 543nm.

3.2.11 Amônia (mg L^{-1})

As determinações deste parâmetro foram realizadas em aparelho automático, marca Hach, modelo DR/2000, método 4500 (APHA, 1998).

3.2.12 Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)

A metodologia utilizada foi descrita pelo método 4500-P (APHA, 1998). Realizou-se inicialmente a digestão de 10mL da amostra com solução saturada de persulfato de potássio, em autoclave, a uma temperatura de 120°C, por 30 min. Após a digestão e resfriamento da amostra, adicionou-se reagente misto (tartarato de antimônio e potássio, molibdato de amônia, ácido sulfúrico e ácido ascórbico) e procedeu-se à leitura em espectrofotômetro a 882nm de comprimento de onda. O padrão foi feito utilizando-se água destilada seguindo a mesma metodologia das amostras.

3.2.13 Cloreto (mg L^{-1})

As determinações deste parâmetro foram realizadas em aparelho automático, marca Hach, modelo DR/2000, método 2120 (APHA, 1998).

3.2.14 Fluoreto (mg L^{-1})

As determinações deste parâmetro foram realizadas em aparelho automático, marca Hach, modelo DR/2000, método 4500 – F^- (APHA, 1998).

3.2.15 Sulfato (mg L^{-1})

As determinações deste parâmetro foram realizadas em aparelho automático, marca Hach, modelo DR/2000, método 4500 – SO_4^{2-} (APHA, 1998).

3.2.16 Coliformes totais e *Escherichia coli* (NMP/100mL)

Na detecção de coliformes totais e *Escherichia coli* (NMP/100mL fecais a técnica utilizada foi a de substrato definido - Defined Substrate Technology $\Rightarrow$ DST), método 9223-A (APHA, 1998), que é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *Escherichia coli* em água continental natural ou tratada, bem como naquelas com alto conteúdo de sais como as águas marinhas. Os nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos), por serem específicos para coliformes, proporcionam o crescimento e a reprodução dos microrganismos de interesse (coliformes totais e *E. coli*), já que para estes, os nutrientes constituem fontes de carbono e de nitrogênio. Os nutrientes indicadores específicos, seletivos e especialmente formulados para o reagente Colilert, são os seguintes:

a) para coliformes totais utilizou-se o ONPG (o-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo), onde o açúcar é β -D-galactopiranosídeo e o radical cromogênico é o-nitrofenil; e

b) para *E. coli* o MUG (4-metil-umbeliferil- β -D-glucoronídeo), onde o açúcar é β -D-glucoronídeo e o radical cromogênico é 4-metil-umbeliferil.

As enzimas específicas e, portanto características dos coliformes totais (β -Galactosidase) e da *E. coli* (β -glucoronidase) ao metabolizarem os nutrientes, causam a liberação de um indicador (radical orgânico cromogênico), e como consequência a amostra passa a apresentar uma coloração específica amarela para coliformes totais (ONPG) e fluorescência (na presença de luz ultravioleta) para *E. coli* (MUG). Com o uso do Colilert, elimina-se a interferência de bactérias heterotróficas e crescimento confluyente.

Cada amostra de água foi colocada em cartela usada para detecção e quantificação de bactérias. As amostras a serem usadas podem ser com ou sem diluição

Quanti-Tray/2000TM. Posteriormente, esta cartela foi selada com seladora modelo Quanti-TrayTM Sealer, marca IDEXX) e incubadas a 35°C, por 24 horas.

3.2.17 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

O teste foi usado para medir a quantidade de oxigênio consumido por bactérias e como elas oxidam a matéria orgânica na amostra. O método utilizado foi o da incubação da amostra contendo os reagentes do kit da Hach, utilizando-se do aparelho marca Hach, modelo BOD TrakTM, método 5210 (APHA, 1998).

3.3 Análise estatística e interpretação dos dados obtidos

Foi realizada análise estatística através da técnica de análise de variância fatorial para descrever o comportamento das variáveis químicas, físicas, físico-químicas e biológicas e as comparações múltiplas através do teste de Tukey, com a utilização do procedimento GLM do SAS (Statistical Analysis System).

3.4 Modelos estatísticos e a poluição ambiental em um determinado trecho do rio Corumbataí.

PROGRAMA “R”

O R (IHAKA e GENTLEMAN, 1996) é uma linguagem em ambiente estatístico que traz muitas vantagens para o usuário, embora estas nem sempre são adequadas ao tipo de coletas e dados obtidos em um determinado estudo. A grande vantagem do mesmo é tratar-se de um software livre, distribuído sob Licença Pública Geral, podendo ser livremente copiado e amplamente divulgado entre usuários. O R é uma linguagem ambiente para computação estatística e gráfica, fornecendo uma grande variedade de técnicas estatísticas, modelagem linear e não linear, testes estatísticos de agrupamento, análises de séries temporais e outras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros físicos, químicos e físico-químicos

4.1.1 Temperatura do ar

Há uma tendência de aumento das médias da temperatura do ar de modo espacial, porém isto, provavelmente deve ter ocorrido devido às diferenças de horários das coletas, desde o ponto P1 até o P5. As médias da temperatura do ar nos anos anteriores (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001) foram menores em relação aos valores da Figura 9 e em relação aos dados individualizados de cada coleta realizada citados na Tabela 7. Considerando-se os mesmos pontos de coleta, verifica-se uma tendência de maiores temperaturas nos anos atuais, na área de estudo. Verifica-se que as temperaturas do ar ficaram dentro do intervalo de 8 – 38°C, sendo que os menores valores ocorreram entre julho a outubro, ou seja, nos período frio e seco (Tabela 7). Resultados obtidos em 1996 a 1998 demonstraram também menor temperatura de 9°C, no mês de julho-97, no município de Corumbataí à montante da área urbana.

Tabela 7. Variação espaço-temporal da temperatura do ar (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 –seca e 2 –chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	17,6	21,8	30,9	28,6	27,8
Nov/00	2	24,2	26,8	29,4	30,5	31,1
Dez/00	2	27,0	28,5	35,0	32,9	30,8
Jan/01	2	25,8	26,3	28,3	30,7	35,4
Fev/01	2	24,0	28,7	28,5	32,1	37,1
Mar/01	2	20,3	22,3	23,8	26,7	29,9
Abr/01	1	23,1	23,8	29,4	30,7	31,4
Mai/01	1	12,5	17,9	18,8	20,0	20,2
Jun/01	1	7,9	9,1	12,0	13,5	14,1
Jul/01	1	14,9	17,0	18,4	20,8	19,9
Ago/01	1	21,3	24,6	25,4	27,8	28,2
Set/01	1	25,3	27,3	28,5	32,0	31,6
Out/01	2	19,2	21,5	26,6	26,9	32,1
Nov/01	2	22,7	24,8	24,9	30,6	30,7
Dez/01	2	22,5	22,8	22,0	22,5	22,5
Jan/02	2	27,0	27,6	28,0	30,0	30,8
Fev/02	2	25,4	25,5	26,2	33,4	34,6
Mar/02	2	26,8	25,8	25,1	29,6	38,1
Abr/02	1	24,8	25,9	26,3	28,8	36,4
Mai/02	1	15,0	16,2	16,5	20,6	24,8
Jun/02	1	13,7	15,9	15,5	18,2	19,3
Jul/02	1	15,8	16,4	16,9	17,0	19,8
Ago/02	1	13,6	20,6	19,7	21,4	22,0
Set/02	1	16,7	17,8	21,7	24,2	26,3
Out/02	2	20,7	26,7	25,0	29,4	33,7
Nov/02	2	24,9	25,1	33,1	33,5	36,9
Dez/02	2	22,9	27,8	25,7	30,4	28,9
Jan/03	2	24,2	26,1	25,5	27,3	26,4
Fev/03	2	27,0	30,0	32,4	32,5	32,0
Mar/03	2	22,2	26,7	27,0	27,1	27,8
Abr/03	1	22,7	24,5	22,9	27,8	29,1
Mai/03	1	19,0	18,5	19,3	19,8	20,8
Jun/03	1	12,7	13,9	15,5	16,2	17,3
Jul/03	1	18,9	20,5	21,9	27,1	33,6
Ago/03	1	13,2	15,7	15,7	16,6	15,7
Set/03	1	16,9	25,8	28,6	30,0	31,6
Out/03	2	22,1	24,1	26,1	27,2	26,5
Nov/03	2	26,3	24,6	24,7	26,4	26,0

Os resultados das determinações dos valores da temperatura do ar no período seco e no chuvoso, nos respectivos pontos de coletas encontram-se na figura 9.

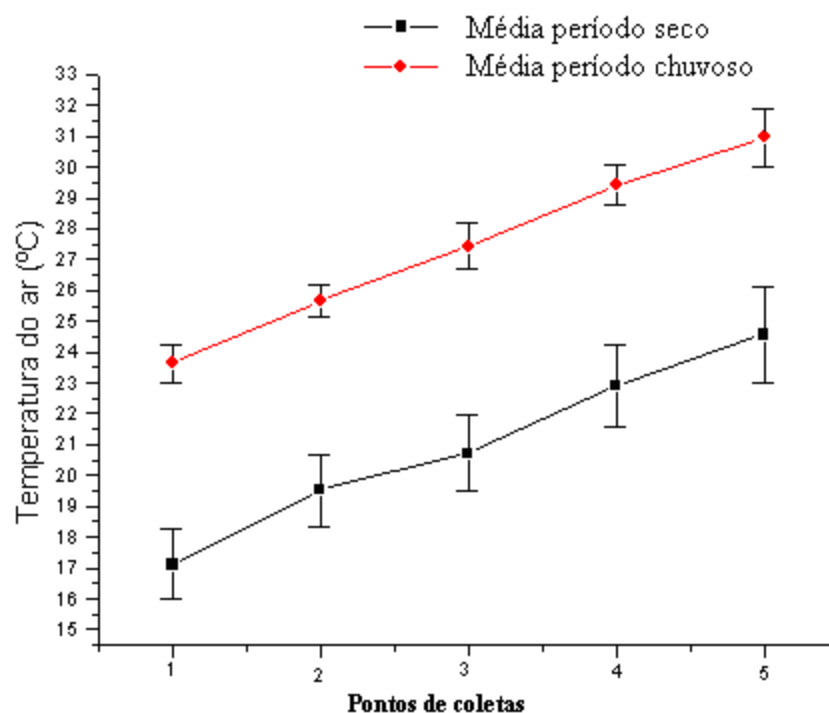


Figura 9. Variação espaço-temporal da temperatura do ar (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir dos resultados obtidos foi realizada análise da variância fatorial para a variável dependente temperatura do ar, cujos resultados se encontram na Tabela 9.

Tabela 8. Análise da variância para a temperatura do ar para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	1938,804	1938,804	96,96	0,0001
Pontos de coletas	4	1234,278	308,569	15,43	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	3,974	0,994	0,05	0,9953
Resíduo	180	3599,229	19,996		
Total	189	6776,285			

Da análise estatística destes resultados citados acima, em nível de 5%, através do teste de variância com dois fatores, demonstrou que os maiores valores de temperatura do ar ocorreram, como era já esperado, nos períodos chuvosos (Tabela 9). Para o fator pontos de coletas, houve diferenças estatisticamente significativas quanto aos valores de temperatura do ar, sendo que os maiores ocorreram nos Pontos 4 e 5 e os menores valores nos Pontos 1 e 2 (Tabela 10).

Tabela 9. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos, para a temperatura do ar.

Períodos	Média	Grupo de Tukey
2	27,4253	A
1	21,0308	B

Tabela 10. Resultados da aplicação para o fator pontos do Teste de Tukey para temperatura do ar.

Pontos	Média	Grupo de Tukey			
5	27,920	A			
4	26,337	A	B		
3	24,242		B	C	
2	22,761			C	D
1	20,547				D

4.1.2 Temperatura da água

A menor temperatura observada foi 13,7°C, no mês de junho/01, correspondendo ao período 1 ou seja, frio e seco. A temperatura mais alta registrada foi na foz do rio Corumbataí em abril de 2001, 30,7°C, no final do período 2, quente e chuvoso, como mostra a Tabela 11.

Este parâmetro é indispensável quanto à análise da qualidade da água, pois, desempenha um papel de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físicos, químicos e físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam a solubilidade com a elevação da temperatura. (CETESB, 2001).

Variações de temperatura ocorrem no regime climático normal e nos corpos de água naturais apresentam variações sazonais diurnas e noturnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é dependente de fatores como latitude, altitude, período do ano, taxa de fluxo e profundidade (CETESB, 2001). Os processos físicos, químicos e biológicos no ambiente aquático são afetados pela temperatura, pois seu acréscimo acarreta diminuição da solubilidade do oxigênio na água, enquanto que ocorre aumento da demanda de oxigênio através dos peixes. As temperaturas elevadas da água acarretam acréscimo da solubilidade de vários compostos químicos e podem incrementar o efeito deletério dos poluentes sobre a vida aquática (CETESB, 1995).

Nos anos de 1996 e 1997, as médias das temperaturas da água registradas no rio Corumbataí, foram muito próximas daquelas demonstradas na Figura 10 (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001).

Tabela 11. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	22,0	22,5	22,8	24,3	24,5
Nov/00	2	23,3	23,0	23,0	24,0	24,0
Dez/00	2	22,6	24,6	24,1	24,8	25,4
Jan/01	2	24,3	24,9	26,2	25,4	25,7
Fev/01	2	25,0	25,0	25,0	26,0	27,0
Mar/01	2	23,7	24,1	24,2	24,8	24,5
Abr/01	1	21,5	22,1	23,6	26,0	30,7
Mai/01	1	16,9	18,6	18,4	19,6	19,5
Jun/01	1	13,7	14,5	14,7	16,0	16,7
Jul/01	1	17,8	17,9	18,5	18,6	20,2
Ago/01	1	20,1	21,9	21,8	24,4	23,9
Set/01	1	21,9	22,5	22,6	25,2	24,6
Out/01	2	21,5	22,5	23,4	26,5	28,8
Nov/01	2	24,9	25,5	26,2	28,9	28,3
Dez/01	2	24,4	23,8	23,6	23,9	24,1
Jan/02	2	24,9	24,7	26,3	27,6	26,07
Fev/02	2	23,3	22,9	23,9	25,8	25,7
Mar/02	2	24,2	24,8	24,9	25,5	25,5
Abr/02	1	21,5	22,4	22,4	23,7	23,5
Mai/02	1	15,8	16,0	16,0	16,7	16,7
Jun/02	1	16,9	17,1	17,1	17,8	17,8
Jul/02	1	16,8	16,4	16,5	17,7	17,6
Ago/02	1	18,6	19,3	18,8	20,1	20,7
Set/02	1	18,5	18,0	18,7	19,0	19,1
Out/02	2	23,7	24,3	24,4	25,5	25,7
Nov/02	2	24,0	23,5	24,1	25,3	25,4
Dez/02	2	22,6	23,1	23,8	24,0	24,3
Jan/03	2	22,6	23,5	23,5	23,8	23,7
Fev/03	2	25,3	26,2	27,3	27,2	27,1
Mar/03	2	22,0	22,8	22,9	23,9	24,5
Abr/03	1	21,4	22,1	22,1	23,4	23,2
Mai/03	1	18,0	18,3	18,4	19,4	19,5
Jun/03	1	15,0	14,8	15,2	15,7	16,4
Jul/03	1	17,8	17,7	18,2	19,4	20,2
Ago/03	1	16,3	15,6	16	16,7	16,7
Set/03	1	20,2	20,9	21,5	23,8	23,6
Out/03	2	22,4	22,4	22,9	23,6	23,5
Nov/03	2	23,1	23,7	23,6	25,1	25,3

Os resultados das determinações dos valores da temperatura da água nos períodos seco e no chuvoso, nos respectivos pontos de coletas encontram-se na Figura 10. De modo geral, as temperaturas das águas variaram de forma semelhante, sendo que aquelas mais elevadas foram registradas nos meses mais quente e chuvoso.

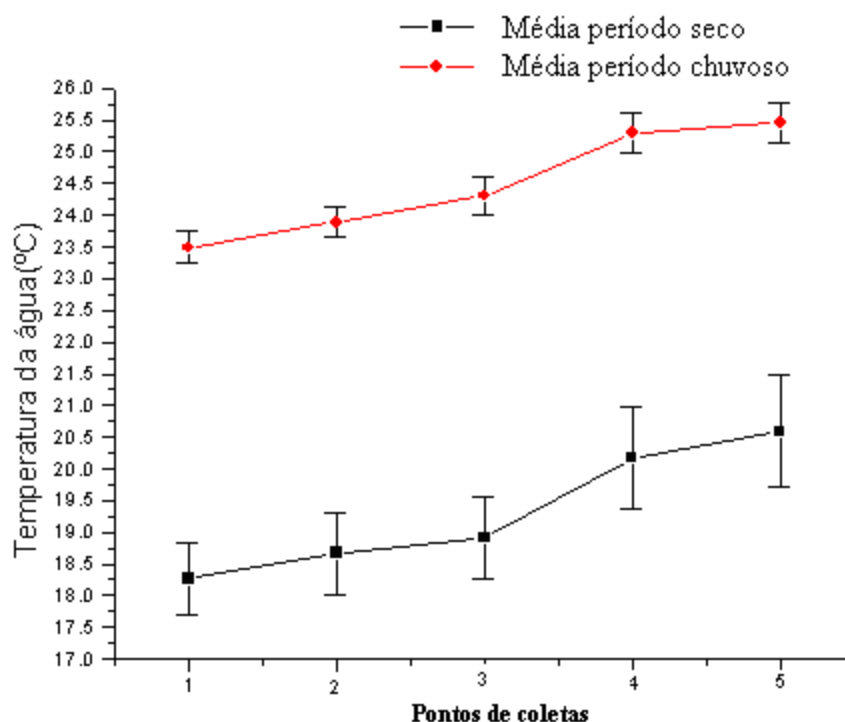


Figura 10. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os resultados obtidos quanto à temperatura das águas nos diferentes pontos de coleta foram analisados estatisticamente através da análise da variância fatorial para a variável dependente temperatura da água (Tabela 12).

Tabela 12. Análise da variância para a temperatura da água para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr = probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	1239,568	1239,568	228,46	0,0001
Pontos de coleta	4	121,008	30,252	5,58	0,0003
Períodos* Pontos de coleta	4	1,902	0,4756	0,09	0,9862
Resíduo	180	976,621	5,4257		
Total	189	2339,090			

Para o fator períodos, nível de 5% de significância houve diferença. Aplicando-se o teste de Tukey nos resultados obtidos (Tabela 13), verificou-se que o maior valor encontrado ocorreu no período 2, chuvoso e quente.

Tabela 13. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos para a temperatura da água.

Períodos	Média	Grupo de Tukey
2	24,480	A
1	19,377	B

Para o fator pontos de coletas, nível de 5% de significância, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 14), observa-se que nos pontos 3, 4 e 5 ocorreu uma maior temperatura e com menores temperaturas nos outros pontos.

Tabela 14. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator pontos para temperatura da água.

Pontos	Média	Grupo de Tukey		
5	23,150	A		
4	22,871	A	B	
3	21,753	A	B	C
2	21,418		B	C
1	21,013			C

4.1.3 pH

Os valores de pH das águas do rio Corumbataí nos pontos de coletas são inseridos pela Tabela 15. Pode-se observar que esses valores oscilaram entre 6,0 e 9,5. Quando estes resultados são comparados com outros anteriores (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001), verifica-se que vem sofrendo acréscimo acelerado a cada ano, nos diferentes pontos de coletas. O pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, ao mesmo tempo em que é uma das mais difíceis de interpretação, devido à complexidade resultante dos inúmeros fatores que podem influenciá-lo (ESTEVEZ, 1988). Os valores de pH encontrados nos pontos de coletas se situaram ainda dentro do intervalo para rios de Classe 2, isto é, 6,0 a 9,0, conforme a Resolução 357 (CONAMA, 2005), excetuando no ponto 1 ou seja a montante da área urbana de Rio Claro.

Este parâmetro, por definir o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução, deve ser considerado muito importante, pois os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade. Em consequência alterações bruscas de pH na água podem acarretar o desaparecimento de seres vivos, principalmente àqueles com baixa resistência às alterações bruscas e grandes. Valores fora das faixas recomendadas pela Resolução 357/05 do CONAMA (pH 6,0 a 9,0) podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição da mesma, ocorrendo com isto, uma possível extração do ferro, cobre, zinco e cádmio, e dificultar a descontaminação das águas (CETESB, 2001). Outro fato interessante é que o pH acima de 9,0 foi observado no ponto a montante da área urbana da cidade de Rio Claro, portanto, atividades antrópicas dos municípios de Analândia, Corumbataí, Ipeúna e Itirapina estão contribuindo para acréscimo da alcalinidade das águas do rio em estudo.

Tabela 15. Variação espaço-temporal do pH, de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	7,1	6,8	7,1	7,2	7,1
Nov/00	2	7,1	6,7	7,1	6,8	7,0
Dez/00	2	7,4	7,1	7,3	7,2	7,4
Jan/01	2	6,6	6,5	6,7	6,5	6,7
Fev/01	2	6,0	6,5	6,9	6,9	7,1
Mar/01	2	6,9	6,7	7,1	7,0	7,1
Abr/01	1	7,3	6,9	7,1	7,3	7,2
Mai/01	1	7,3	6,8	7,0	6,9	7,1
Jun/01	1	7,4	6,9	6,7	6,9	7,0
Jul/01	1	7,0	6,7	7,1	6,8	6,9
Ago/01	1	7,1	6,7	7,0	6,9	6,9
Set/01	1	7,3	7,1	7,4	7,3	7,5
Out/01	2	7,2	7,0	7,3	7,3	7,3
Nov/01	2	8,5	8,1	7,6	7,8	7,6
Dez/01	2	8,7	7,6	7,6	7,4	7,4
Jan/02	2	7,9	7,0	7,5	7,2	7,5
Fev/02	2	7,6	7,5	7,8	7,7	7,7
Mar/02	2	7,3	7,6	7,5	7,6	7,6
Abr/02	1	8,4	7,3	7,6	7,7	7,6
Mai/02	1	9,0	7,5	7,4	7,7	7,5
Jun/02	1	8,7	7,4	7,6	7,9	7,7
Jul/02	1	8,1	7,0	7,1	7,3	7,4
Ago/02	1	8,5	7,4	7,5	7,6	7,5
Set/02	1	9,5	8,5	8,4	8,1	7,9
Out/02	2	9,3	7,8	7,5	7,3	7,2
Nov/02	2	7,9	7,4	7,5	7,4	7,2
Dez/02	2	8,6	7,6	8,0	7,7	8,1
Jan/03	2	7,3	6,6	6,8	7,0	7,2
Fev/03	2	8,1	7,6	7,8	7,3	7,1
Mar/03	2	7,8	7,2	7,3	7,4	7,4
Abr/03	1	8,0	7,3	7,2	7,3	7
Mai/03	1	7,8	6,6	6,9	7,0	7,1
Jun/03	1	8,1	7,2	7,4	7,4	7,4
Jul/03	1	7,7	6,7	6,9	6,8	6,7
Ago/03	1	6,5	6,3	6,7	6,5	6,7
Set/03	1	6,4	6,2	6,6	6,6	6,6
Out/03	2	7,5	6,8	7,0	6,7	6,7
Nov/03	2	6,6	6,8	7,0	7,0	7,0

Os resultados das determinações dos valores da variável pH da água no período seco e no chuvoso, nos respectivos pontos de coletas encontram-se na Figura 11.

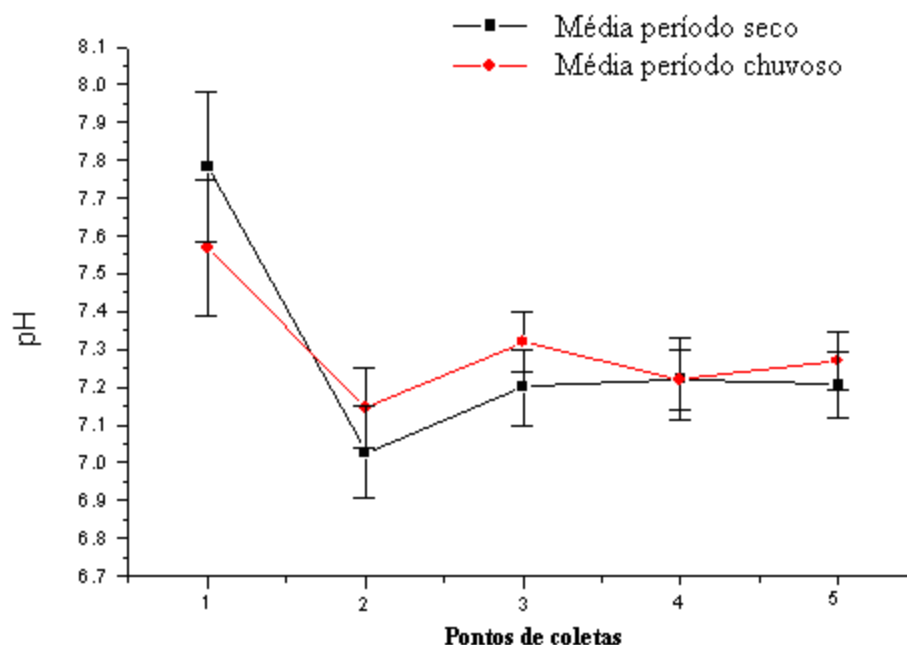


Figura 11. Variação espaço-temporal do pH nos diferentes pontos de coletas, no rio Corumbataí, de outubro 2000 a novembro 2003: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A análise da variância fatorial para a variável dependente pH (Tabela 16) demonstrou que para o fator períodos, nível de 5% de significância, não houve diferenças significativas ao contrário do encontrado para o fator pontos de coletas, portanto, o Teste de Tukey (Tabela 17) demonstrou maior valor para o P1 e com menores valores para os demais pontos.

Tabela 16. Análise da variância do pH para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	0,017	0,017	0,06	0,7999
Pontos de coletas	4	7,275	1,819	6,67	0,0001
Períodos* Pontos de coletas	4	0,570	0,143	0,52	0,7187
Resíduo	180	49,055	0,273		
Total	189	56,918			

Tabela 17. Análise dos resultados através do Teste de Tukey nos pontos de coleta para pH.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
1	7,671	A
3	7,261	B
5	7,239	B
4	7,216	B
2	7,097	B

4.1.4 Condutividade elétrica

As maiores médias de condutividade elétrica foram observadas nos pontos de coletas localizados logo após a área urbana do município de Rio Claro, (P3, P4, P5), como expressa a Tabela 18. Comparando-se com os resultados encontrados em outros pontos, principalmente aquele situado a montante desta área urbana, os valores chegam a índice 5 vezes maior em alguns meses do ano.

Tabela 18. Variação espaço-temporal de condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	37,5	119,6	175,9	152,8	142,4
Nov/00	2	48,3	96,5	93,8	94,6	96,1
Dez/00	2	56,7	95,3	123,3	108,0	113,0
Jan/01	2	42,9	67,2	93,6	66,9	69,1
Fev/01	2	46,9	93,7	166,9	130,6	145,5
Mar/01	2	42,1	99,2	189,7	136,3	149,4
Abr/01	1	38,4	114,9	188,7	167,1	173,3
Mai/01	1	37,4	109,8	209,7	143,2	162,1
Jun/01	1	38,3	136,9	181,1	103,8	126,4
Jul/01	1	33,6	126,5	208,7	118,5	155,8
Ago/01	1	38,1	94,2	160,8	192,1	161,6
Set/01	1	36,0	142,6	189,8	167,3	171,8
Out/01	2	42,5	140,9	265,3	153,6	169,4
Nov/01	2	38,0	140,0	183,9	106,1	137,2
Dez/01	2	50,0	151,1	175,4	117,6	138,2
Jan/02	2	56,0	103,0	105,9	101,3	109,8
Fev/02	2	63,6	93,1	116,0	111,2	111,9
Mar/02	2	49,2	77,5	115,7	91,0	97,2
Abr/02	1	44,8	91,0	108,4	141,8	137,0
Mai/02	1	42,8	106,2	161,5	118,5	155,3
Jun/02	1	38,5	124,7	216,2	139,9	129,0
Jul/02	1	37,8	128,4	170,6	114,8	118,6
Ago/02	1	42,7	136,2	180,9	171,4	156,6
Set/02	1	42,7	117,4	166,3	120,8	125,9
Out/02	2	41,3	123,4	196,3	136,7	156,1
Nov/02	2	64,3	92,2	133,6	127,0	142,8
Dez/02	2	49,4	127,4	188,5	144,4	141,9
Jan/03	2	122,0	55,0	72,2	80,0	85,4
Fev/03	2	52,6	100,8	159,6	136,5	147,9
Mar/03	2	43,9	109,4	162,2	131,2	139,0
Abr/03	1	46,5	108,1	145,7	110,5	134,2
Mai/03	1	35,7	113,8	169,4	115,6	117,9
Jun/03	1	33,1	135,4	189,8	130,3	136,7
Jul/03	1	37,2	132,0	248,0	108,3	130,2
Ago/03	1	34,1	117,9	212,3	130,4	148,3
Set/03	1	33,6	131,2	210,3	140,6	146,0
Out/03	2	40,6	143,5	235,7	129,7	133,0
Nov/03	2	33,0	128,0	206,3	201,3	207,7

Estes valores expressos em médias para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 12. Considerando que a condutividade elétrica é um parâmetro que expressa diretamente a intensidade de íons dissolvidos nas águas, verifica-se maior concentração de íons dissolvidos na água após a área urbana de Rio Claro. Os resultados aqui encontrados indicam que as águas do rio Corumbataí a jusante da área urbana de Rio Claro, estão mais poluídas até mesmo nos pontos mais distantes, localizados já no município de Piracicaba. Um agravante, é que o P4, como já citado anteriormente, localiza-se na ETA do SEMAE, no Capim Fino, nesse mesmo município. Esta constatação provavelmente decorre de esgotos clandestinos, aumento populacional, despejos agroindustriais “in natura” nas águas do rio Corumbataí ou mesmo em seus afluentes.

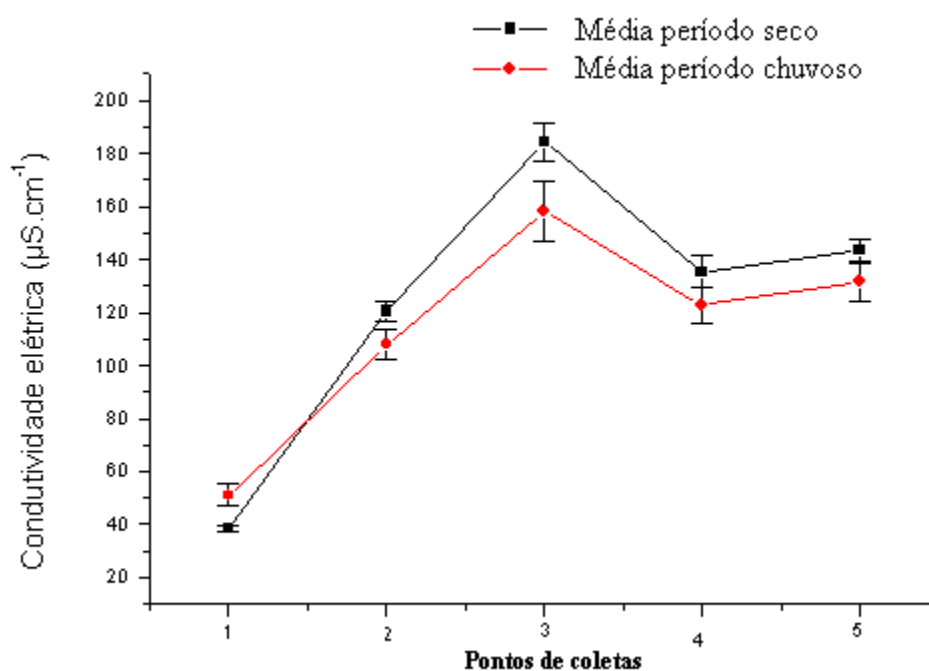


Figura 12. Variação espaço-temporal de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os valores de condutividade têm um significativo acréscimo em todos os pontos de coletas em todos os meses estudados, decaindo no ponto P4 provavelmente devido aos meandros e declividade do rio, aumentando novamente no P5, pois novamente recebe esgotos e é uma área de agricultura intensiva. Os maiores valores deste parâmetro foram constatados no período frio e seco, quando a vazão do rio esta menor e conseqüentemente ocorrendo concentração de materiais dissolvidos na água.

Em águas superficiais naturais varia de 50 a $1.500 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo que nos dejetos industriais podem elevar este valor para $10.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (CETESB, 1995). A condutividade elétrica fornece boa indicação das variações na composição da água, especialmente em sua concentração mineral. Nos estudos na nascente do rio Corumbataí, no período de 1996 a 1998 (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001) foi observada valores médios de 5,1 e $7,4 \mu\text{S cm}^{-1}$ e os maiores valores nos pontos correspondentes ao P3 e P5 deste estudo. Comparando os resultados anteriores com aqueles aqui obtidos, Tabela 18, verifica-se que o rio Corumbataí vem recebendo uma crescente carga de íons, que representam a poluição mineral, provavelmente, devido a intensa atividade agrícola ao longo da cava principal, aonde vem predominando a monocultura de cana-de-açúcar.

A análise de variância fatorial da variável dependente condutividade elétrica das águas nos diferentes pontos de coletas demonstrou que não houve diferenças estatisticamente significativas, nível de 5%, quanto aos períodos seco e chuvoso. O mesmo não foi encontrado quanto aos pontos de coletas, pois o maior valor deste mesmo parâmetro ocorreu no ponto 3, tabelas 19 e 20.

Tabela 19. Análise da variância para a condutividade elétrica para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	4,207	4,207	0,39	0,5309
Pontos de coletas	4	812,821	203,205	19,04	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	38,069	9,5171	0,89	0,4701
Resíduo	180	1921,153	10,673		
Total	189	2776,248			

Tabela 20. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos pontos de coleta para a condutividade elétrica.

Pontos	Média	Grupo de Tukey	
3	170,470	A	
5	137,361	B	
4	128,728	B	C
2	113,785	C	
1	45,056	D	

4.1.5 Cor Aparente

Na Tabela 21, que insere os resultados obtidos na avaliação da cor aparente nos pontos de coleta, verifica-se que os maiores de valores da desse parâmetro ocorreram em janeiro de 2001 e 2003, meses estes tipicamente quentes e chuvosos. Considerando que este mês usualmente apresenta um dos maiores índices de pluviosidade (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2002), pode-se citar que provavelmente o aumento da cor das águas deste rio nos diferentes pontos de coleta seja decorrente da lixiviação vertical que provoca o carreamento do solo para dentro do rio. Maior intensidade das cores das águas do rio Corumbataí foi observada nos pontos de coletas localizados após a foz do Ribeirão Claro, no ano de 2003. Segundo a Resolução 357 (CONAMA, 2005) o limite máximo permitido para rios das Classes 2 e 3 são de 75mg PI/L, sendo que os resultados em quase todo o período de estudo ultrapassaram estes valores (Figura 13 e Tabela 21).

A ocorrência do aumento da cor e turbidez das águas é indesejável do ponto de vista estético e no tratamento exige maiores quantidades de produtos químicos, além de interferir na fotossíntese das algas e outros organismos aquáticos fotossintetizantes. Na água, a cor pode ser de origem mineral ou vegetal, causada por substâncias metálicas como o ferro ou manganês, matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas, protozoários, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústrias, tais como: mineração, refinarias, explosivos, polpa e papel, químicas e outras (BATTALHA e PARLATORE, 1977).

Tabela 21. Variação espaço-temporal da cor aparente (PtCo/L) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	184,0	132,0	121,0	107,3	149,3
Nov/00	2	397,7	464,3	856,7	946	937,3
Dez/00	2	457,7	910	910,0	702,0	638,0
Jan/01	2	1.010,0	1.193,3	1.750,0	2.700,0	2.950,0
Fev/01	2	316,7	203,7	250	275,3	433,7
Mar/01	2	278,3	252,3	328,3	881,3	1296,7
Abr/01	1	157,7	127,0	104,0	99,7	102,3
Mai/01	1	172,0	205,0	221,0	101,0	113,0
Jun/01	1	320,0	214,7	324,3	103,0	124,7
Jul/01	1	60,3	60,0	83,0	65,3	70,7
Ago/01	1	290,3	314,7	188,3	216,3	257
Set/01	1	163,0	137,7	99,7	74,7	124,3
Out/01	2	227,5	214,0	177,0	82,0	63,0
Nov/01	2	225,5	170,5	181,0	285,5	232,0
Dez/01	2	229,0	255,0	403,0	620,0	556,0
Jan/02	2	351,0	858,0	786,0	1.290,0	1.248,0
Fev/02	2	410,3	320,7	337,3	351,0	299,3
Mar/02	2	387,7	451,3	955,3	956,7	1603,3
Abr/02	1	224,3	132,0	83,67	86,0	100,7
Mai/02	1	136,3	108,3	116,7	126,7	142,7
Jun/02	1	133,0	83,3	73,0	46,7	58,7
Jul/02	1	106,3	82,0	99,7	39,3	48,3
Ago/02	1	343,7	82,7	89,3	83,7	81,0
Set/02	1	197,7	103,7	86,3	57,3	74,0
Out/02	2	173,7	246,3	143,0	182,3	146,3
Nov/02	2	658,0	1740,0	1626,7	456,3	386,7
Dez/02	2	282,3	284,0	387,3	428,0	429,3
Jan/03	2	2180,0	5050,0	3340,0	1940,0	2280,0
Fev/03	2	260,3	166,7	173,3	183,3	149,0
Mar/03	2	161,3	91,0	46,7	60,3	38,3
Abr/03	1	170	137,7	118,7	134,7	117,7
Mai/03	1	439	406,3	430,7	426,3	451
Jun/03	1	84,7	80,3	91,3	36,7	76
Jul/03	1	102,3	92,7	93,3	59,3	73,0
Ago/03	1	116,0	96,0	118,7	88,3	61,7
Set/03	1	108,0	101,3	100,7	78,7	109,7
Out/03	2	189,3	123,7	131,3	64,3	76,3
Nov/03	2	172,3	632,0	1076,0	230,0	192,0

Estes valores da cor aparente expressos em médias para os períodos seco e chuvoso se encontram na figura 13.

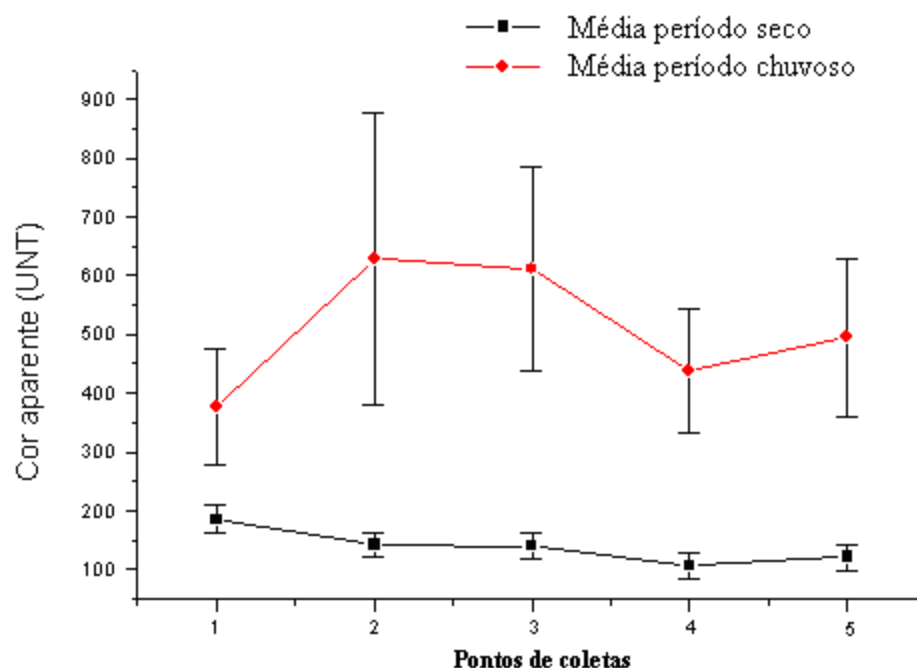


Figura 13. Variação espaço-temporal da cor aparente (PtCo/L), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Da análise estatística dos resultados obtidos, conclui-se que para o fator pontos de coletas, ao nível significância de 5%, os valores encontrados não foram diferentes estatisticamente ao contrário do observado para o fator período. Os maiores valores de cor das águas do rio Corumbataí ocorreram no período chuvoso, como já era esperado e discutido anteriormente, Tabelas 22 e 23.

Tabela 22. Análise da variância da cor aparente para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos.	1	11475987,947	11475987,947	33,68	0,0001
Pontos	4	327617,834	81904,458	0,24	0,9152
Períodos *	4	793503,006	198375,752	0,58	0,6759
Pontos de coletas					
Resíduo	180	61329826,543	340721,258		
Total	189	73926935,331			

Tabela 23. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos, para a cor aparente.

Período	Média	Grupo de Tukey
2	633,84	A
1	141,87	B

4.1.6 Alcalinidade

Os valores de alcalinidade encontrados durante o período de estudo ficaram entre 8,6 e 52,2 mg L⁻¹ (Tabela 24). No ponto P2, ocasionalmente, no mês de setembro/02, foi observado o maior valor de alcalinidade das águas do rio Corumbataí. Para os rios de Classe 2, os valores recomendados de alcalinidade situam-se entre 40,0 e 200,0 mg L⁻¹, segundo a Resolução 357 (CONAMA, 2005). Portanto, em nenhum dos pontos de coletas foram verificados valores de alcalinidade acima do limite máximo para este parâmetro, definido por essa Resolução.

Em anos anteriores, 1996 a 1998, esta variação ficou entre 0,0 e 40,5 mg L⁻¹, sendo que na nascente do rio o valor médio observado foi 2,4 e 2,8 mg L⁻¹, respectivamente nos anos de 1996 e 1997 (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Naquela época verificou-se um aumento gradativo da alcalinidade da nascente até a foz do rio, entretanto, os resultados obtidos neste estudo, 2000 a 2003, demonstram maiores valores no ponto P3 e decaindo até a foz, como demonstrado em detalhes expressos na Tabela 24.

Tabela 24. Variação espaço-temporal da alcalinidade (mg L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	15,8	34,0	44,3	28,8	23,4
Nov/00	2	18,	26,6	20,1	18,4	19,3
Dez/00	2	24,0	28,9	26,3	23,7	25,4
Jan/01	2	14,5	17,3	20,7	15,7	16,5
Fev/01	2	19,2	33,3	36,9	34,4	39,6
Mar/01	2	14,2	26,3	30,4	28,8	35,2
Abr/01	1	12,8	28,0	31,8	27,8	31,3
Mai/01	1	10,3	27,6	32,2	25,1	29,6
Jun/01	1	12,1	35,8	36,2	29,9	29,0
Jul/01	1	8,5	29,7	35,8	22,1	25,9
Ago/01	1	11,3	24,4	33,0	34,4	30,2
Set/01	1	11,2	36,3	44,0	25,6	35,7
Out/01	2	12,9	38,7	46,4	30,4	34,0
Nov/01	2	23,2	40,2	43,8	25,8	30,4
Dez/01	2	17,5	41,2	33,5	25,8	27,8
Jan/02	2	20,6	32,5	33,0	28,9	28,3
Fev/02	2	28,1	35,6	35,6	35,3	35,8
Mar/02	2	27,7	31,6	31,9	23,5	25,4
Abr/02	1	14,6	27,4	29,8	34,0	34,5
Mai/02	1	23,1	42,4	45,9	41,4	43,9
jun/02	1	28,4	43,0	50,0	42,3	44,1
Jul/02	1	20,8	40,0	40,0	39,2	37,1
Ago/02	1	18,0	44,7	52,2	39,5	46,4
Set/02	1	34,3	73,0	52,2	26,4	31,2
Out/02	2	32,0	41,2	51,0	37,6	38,3
Nov/02	2	19,8	37,3	27,7	22,2	29,3
Dez/02	2	18,6	40,4	40,7	31,4	33,0
Jan/03	2	39,6	12,9	15,3	16,8	19,8
Fev/03	2	14,8	34,6	37,1	33,7	32,2
Mar/03	2	27,3	32,2	34,6	32,7	37,1
Abr/03	1	12,9	28,7	34,.6	29,7	26,7
Mai/03	1	12,4	27,2	27,7	24,8	21,8
Jun/03	1	10,9	27,7	37,2	25,8	31,2
Jul/03	1	10,9	32,2	43,6	26,2	28,2
Ago/03	1	10,3	29,4	43,6	31,0	34,3
Set/03	1	14,7	35,3	29,4	14,2	16,2
Out/03	2	12,3	34,8	50,0	28,4	25,5
Nov/03	2	12,2	26,9	24,5	29,4	23,5

Os resultados das determinações dos valores médios dos períodos secos e chuvosos de alcalinidade se encontram na Figura 14. As maiores médias anuais foram obtidas no ponto P3, isto é, no bairro da Assistência e os menores valores destas foram determinados no ponto P1, correspondente a jusante da ETA 2 do cidade de Rio Claro.

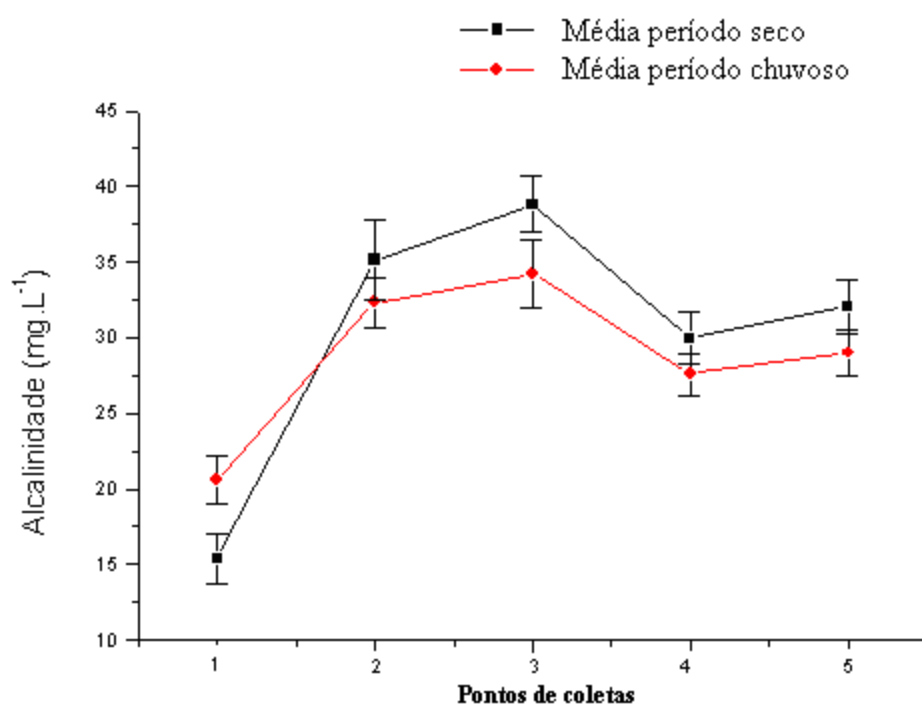


Figura 14. Variação espaço-temporal da alcalinidade (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os resultados encontrados para alcalinidade foram analisados estatisticamente através da análise de variância fatorial, para a variável dependente em questão (Tabela 25).

Tabela 25. Análise da variância para a alcalinidade para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos.	1	108,278	108,278	1,67	0,1974
Pontos de coletas	4	7463,863	1865,966	28,85	0,0001
Períodos *	4	445,432	111,358	1,72	0,1471
Pontos de coletas					
Resíduo	180	11642,687	64,682		
Total	189	19660,261			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não teve diferenças e ao contrário para o fator pontos de coletas, aplicando assim o teste de Tukey (Tabela 26). Observa-se maior concentração das médias nos P2 e P3, e menor no P1, sendo que nos demais pontos esta é intermediária.

Tabela 26. Resultados da aplicação do teste de Tukey nos pontos de coleta para alcalinidade.

Pontos	Média	Grupo de Tukey	
3	36,412	A	
2	33,667	A	B
5	30,454		B
4	28,713		B
1	18,152		C

4.1.7 Turbidez

Estudos anteriores (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001) demonstraram que na nascente do rio Corumbataí a média dos valores da turbidez foi de 0,8UNT e nos pontos P1, P3 e P5, esses valores foram 57,0, 68,4 e 43,7UNT, respectivamente. Comparando-se esses resultados com os da Tabela 27, verificaram-se os valores de turbidez das águas coletadas no ponto P1 vêm se mantendo dentro de um

mesmo intervalo, entretanto, para os demais pontos está ocorrendo um acréscimo destes valores, devido provavelmente ao aumento das atividades antrópicas no entorno da calha principal do rio Corumbataí.

A Resolução 357 (CONAMA, 2005) estabeleceu para as águas de Classe 2 o limite máximo de turbidez de até 100UNT. Verifica-se que principalmente no período quente e chuvoso que compreende os meses de outubro a março, os valores ultrapassaram o limite máximo fixado pela citada legislação, Tabela 27, principalmente no mês de janeiro onde ocorre, normalmente, o maior índice mensal de chuva.

Tabela 27. Variação espaço-temporal de turbidez (UNT), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	37,6	21,0	21,4	22,1	33,6
Nov/00	2	59,4	64,5	122,3	148,0	133,3
Dez/00	2	61,5	80,7	90,9	107,1	83,9
Jan/01	2	149,3	173,3	265,3	431,7	491,0
Fev/01	2	45,5	29,7	40,6	48,9	72,1
Mar/01	2	31,0	30,9	31,6	81,3	168,7
Abr/01	1	22,0	16,0	15,8	19,9	21,4
Mai/01	1	20,3	15,3	13,7	15,7	31,7
Jun/01	1	35,3	24,6	33,8	9,8	10,7
Jul/01	1	21,0	11,7	11,7	10,4	11,5
Ago/01	1	33,1	49,0	23,4	31,2	36,6
Set/01	1	25,6	17,3	16,9	13,5	12,2
Out/01	2	26,5	25,5	27,7	23,5	29,4
Nov/01	2	35,7	48,4	38,2	49,6	53,6
Dez/01	2	29,5	34,4	73,0	117,0	91,3
Jan/02	2	55,9	48,1	134,7	655,0	935,3
Fev/02	2	58,9	48,0	49,4	61,2	49,5
Mar/02	2	69,8	97,2	252,0	341,7	506,3
Abr/02	1	39,3	22,6	22,0	26,8	31,1
Mai/02	1	35,3	27,2	31,8	23,6	33,9
Jun/02	1	28,7	17,0	15,7	15,2	17,4
Jul/02	1	19,6	14,0	13,4	11,1	10,0
Ago/02	1	59,8	20,0	18,2	16,3	16,8
Set/02	1	39,1	20,5	19,9	18,6	21,6
Out/02	2	33,2	40,2	20,6	29,3	30,3
Nov/02	2	145,3	346,3	382,0	145,3	142,3
Dez/02	2	45,7	44,1	59,2	75,8	70,4
Jan/03	2	272,3	819,3	529,7	280,3	293,3
Fev/03	2	51,3	32,9	32,3	44,3	40,2
Mar/03	2	38,7	29,8	22,6	30,3	31,3
Abr/03	1	33,8	26,0	23,9	30,6	28,4
Mai/03	1	19,4	18,8	15,0	20,2	15,4
Jun/03	1	18,4	17,6	16,8	11,0	15,7
Jul/03	1	17,10	14,13	12,73	10,20	11,40
Ago/03	1	22,50	14,90	14,13	10,83	11,50
Set/03	1	19,90	15,63	10,07	9,49	13,30
Out/03	2	29,43	17,73	18,47	11,70	11,97
Nov/03	2	30,2	108,7	220,3	39,5	34,1

Os resultados das determinações dos valores da turbidez da água no período seco e no chuvoso, nos respectivos pontos de coletas se encontram na Figura 15.

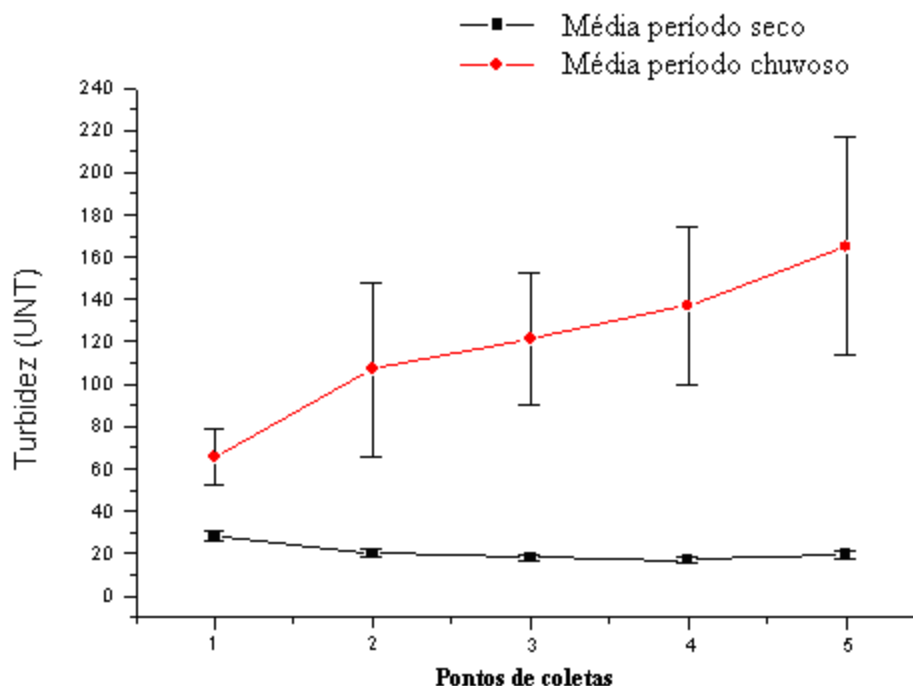


Figura 15. Variação espaço-temporal da turbidez (UNT) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os resultados foram analisados estatisticamente com a variância fatorial para a variável dependente turbidez (Tabela 28).

Da análise da variância, observa-se que para o fator pontos de coletas, ao nível de 5% de significância, não houve diferença e para o fator períodos, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey nos resultados obtidos (Tabela 29) verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas e que o maior valor encontrado ocorreu no período chuvoso.

Tabela 28. Análise da variância para a turbidez para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 =seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	460883,078	460883,078	31,46	0,0001
Pontos de coletas	4	43645,854	10911,463	0,74	0,5626
Períodos * Pontos de coletas	4	65841,702	16460,426	1,12	0,3468
Res	180	2636678,551	14648,214		
Total	189	3207049,185			

Tabela 29. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos seco e chuvoso, para a turbidez.

Período	Média	Grupo de Tukey
2	119,76	A
1	21,17	B

4.1.8 Sólidos totais dissolvidos

Em estudos anteriores na nascente do rio Corumbataí o teor de sólidos totais dissolvido variou de 1,0 a 6,0mg L⁻¹, tendo médias anuais de 2,0 e 2,8mg L⁻¹, respectivamente, para os anos de 1996 e 1997 (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Esses resultados demonstraram um acréscimo considerável de sólidos totais dissolvidos desde a nascente do rio até sua foz e quando comparados com aqueles da Tabela 30 e Figura 16 observa-se que mesmo após o início de funcionamento da primeira ETE de Rio Claro, em 1999 e posteriormente, a segunda em 2001, os valores deste parâmetro vem aumentando consideravelmente a jusante da área urbana deste município, principalmente após o Ribeirão Claro desembocar no rio Corumbataí.

Tabela 30. Variação espaço-temporal de sólidos totais dissolvidos (mg L⁻¹) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	17,7	56,7	83,7	66,0	67,7
Nov/00	2	23,0	45,7	44,3	44,7	44,7
Dez/00	2	27,0	44,0	58,0	49,3	50,7
Jan/01	2	20,0	32,0	44,0	30,7	32,3
Fev/01	2	23,4	46,8	83,5	65,4	72,7
Mar/01	2	20,0	47,0	90,0	64,0	64,7
Abr/01	1	18,0	47,7	89,0	78,3	81,3
Mai/01	1	17,7	55,7	99,7	68,0	76,7
Jun/01	1	18,0	64,7	85,7	59,7	59,7
Jul/01	1	16,0	60,3	99,0	56,3	74,0
Ago/01	1	18,0	44,0	76,3	91,3	76,0
Set/01	1	17,7	67,7	90,3	78,3	81,3
Out/01	2	20,0	67,0	126,3	73,3	79,0
Nov/01	2	18,3	66,0	87,3	49,0	64,7
Dez/01	2	23,3	69,3	84,0	58,3	62,3
Jan/02	2	26,3	49,3	50,3	46,7	50,3
Fev/02	2	30,0	44,0	55,0	51,7	52,7
Mar/02	2	23,3	36,0	54,3	43,0	45,0
Abr/02	1	23,3	42,7	51,3	67,0	66,0
Mai/02	1	22,0	50,3	76,3	56,3	73,7
Jun/02	1	20,7	54,7	103,3	66,7	61,0
Jul/02	1	24,7	61,0	81,0	55,0	56,0
Ago/02	1	18,0	65,7	86,0	81,0	74,3
Set/02	1	20,0	55,7	78,7	57,3	59,7
Out/02	2	18,7	57,7	93,0	64,7	74,0
Nov/02	2	30,3	43,3	62,7	60,0	67,3
Dez/02	2	23,3	60,0	89,7	68,3	66,3
Jan/03	2	58,0	26,0	34,0	37,3	40,0
Fev/03	2	25,0	47,3	79,7	65,3	70,3
Mar/03	2	20,7	52,3	76,7	62,0	65,7
Abr/03	1	22,0	51,3	69,3	52,3	63,3
Mai/03	1	17,3	54,7	82,3	54,7	56,0
Jun/03	1	15,7	62,7	94,3	61,7	64,7
Jul/03	1	17,7	62,7	118,0	51,3	62,0
Ago/03	1	15,7	56,0	101,0	62,0	70,3
Set/03	1	15,7	62,3	100,0	66,7	69,0
Out/03	2	19,3	68,7	111,3	61,0	62,7
Nov/03	2	21,7	83,3	134,0	131,3	135,0

Os resultados das determinações das médias dos valores da variável sólido totais dissolvidos se encontram na Figura 16.

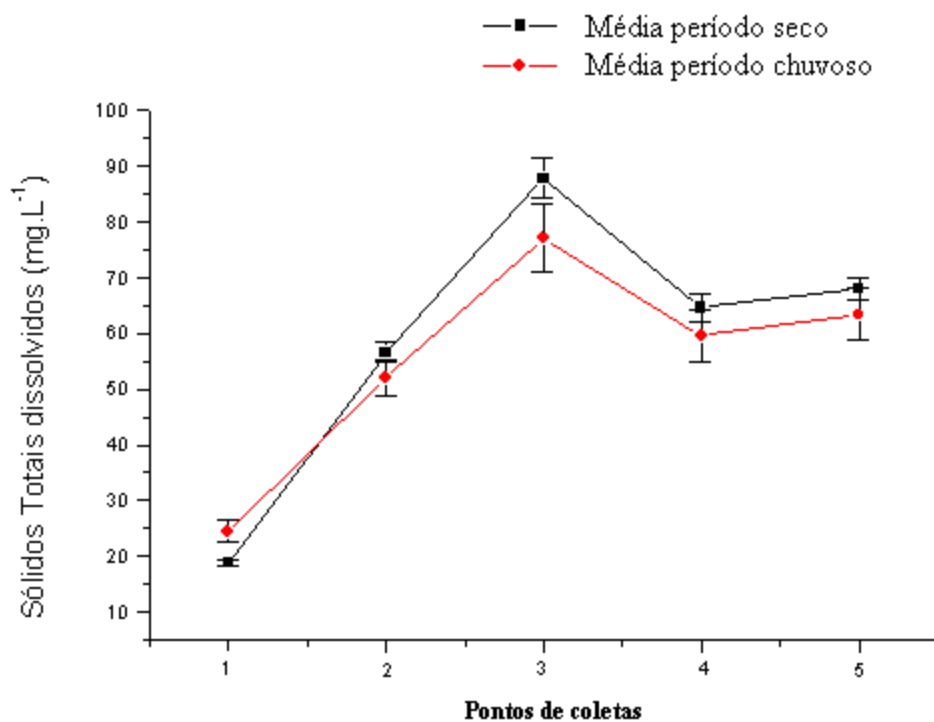


Figura 16. Variação espaço-temporal de sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A presença de resíduos sólidos nas águas, principalmente aqueles provenientes do esgoto sanitário, causa aumento da turbidez dessa água influenciando na entrada de luz e diminuição do valor de saturação do oxigênio dissolvido (NUVOLARI et al. 2003). Recomendações sobre a concentração de sólidos totais dissolvidos são estabelecidas, principalmente, em relação ao sabor e palatibilidade, dando-se menor ênfase aos efeitos deletérios à saúde humana e a biota aquática (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Segundo a Resolução 357 (CONAMA, 2005), para rios de Classe 2, o valor recomendado para STD é de 500 mg L^{-1} , mas se a concentração ultrapassar 2.000 mg L^{-1} , serão observados efeitos laxativos no homem (CETESB, 1995).

Os resultados foram analisados estatisticamente com variância fatorial para a variável dependente sólidos totais dissolvidos (Tabela 31).

Tabela 31. Análise da variância para sólidos totais dissolvidos para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	470,899	470,900	1,95	0,1648
Pontos de coletas	4	75555,325	18888,831	78,03	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	1308,696	327,174	1,35	0,2527
Resíduos	180	43574,686	242,0816		
Total	189	120909,607			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças e para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 32), com maior concentração das médias no P3 e com menor no P1 e demais pontos em níveis intermediários. De acordo com os resultados obtidos de sólidos totais dissolvidos, concluiu-se que provavelmente estes estão relacionados diretamente com os efeitos das atividades antrópicas da região.

Tabela 32. Resultados da Aplicação do Teste de Tukey nos pontos de coleta para sólidos totais dissolvidos.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
3	82,192	A
5	65,608	B
4	61,997	B C
2	54,271	C
1	21,776	D

4.1.9 Oxigênio dissolvido

Os resultados deste estudo demonstram que menores valores de oxigênio dissolvido foram encontrados no ponto P2, sendo que em determinados meses ficaram inferiores a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 33). As médias anuais durante o período deste estudo variaram entre 1,9 e $7,9 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente para os pontos P2 e P1. Estudos anteriores no mesmo rio (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001) verificaram que na nascente do rio, a quantidade de OD foi menor (5,7 e 6,0) em relação às aquelas observadas em outros pontos a montante da área urbana do município de Rio Claro.

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais, além da manutenção da vida aquática. Além disso, através de medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo de água natural manter a vida aquática (CETESB, 1997).

Apesar dos maiores valores serem encontrados no ponto P1 neste estudo (Tabela 33), no ponto P2 após a área urbana de Rio Claro, foram observados os menores valores de OD, principalmente em 2001, ocorrendo uma melhoria em 2002, correspondendo à instalação da segunda ETE, neste mesmo município. Entre os pontos P2 e P5 observa-se um pequeno acréscimo dos valores de OD, decorrente da própria autodepuração do rio. Para os rios de Classe 2, o valor recomendado de oxigênio dissolvido é de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, segundo a Resolução 357 (CONAMA, 2005). Logo após a área urbana de Rio Claro, portanto, as águas do rio Corumbataí, na maioria dos meses quanto ao oxigênio dissolvido, não se enquadram na Classe 2, mas com característica de Classe 4.

Tabela 33. Variação espaço-temporal de oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	8,8	7,9	5,4	7,0	7,1
Nov/00	2	6,7	6,0	6,8	5,8	6,4
Dez/00	2	4,9	4,7	4,6	4,3	4,3
Jan/01	2	6,5	6,0	6,5	6,4	6,8
Fev/01	2	6,4	5,2	5,6	6,3	6,2
Mar/01	2	6,6	2,8	5,3	4,8	5,4
Abr/01	1	9,7	1,1	7,9	9,2	8,0
Mai/01	1	8,0	1,5	5,7	5,9	6,6
Jun/01	1	9,5	1,1	0,8	5,1	6,7
Jul/01	1	8,4	0,8	5,1	5,7	6,2
Ago/01	1	8,6	2,2	5,3	3,9	4,8
Set/01	1	7,9	0,5	4,8	4,4	4,5
Out/01	2	8,1	1,4	5,4	6,1	5,9
Nov/01	2	8,2	0,2	4,1	5,0	4,6
Dez/01	2	7,4	0,2	5,1	6,0	5,7
Jan/02	2	7,8	5,6	7,2	7,3	5,7
Fev/02	2	7,0	6,0	7,1	7,1	7,1
Mar/02	2	7,0	4,6	6,5	6,2	7,0
Abr/02	1	8,2	3,0	6,4	6,8	7,1
Mai/02	1	4,8	9,2	7,9	7,8	8,4
Jun/02	1	7,8	2,2	5,9	7,8	7,8
Jul/02	1	9,0	1,3	2,6	8,2	8,3
Ago/02	1	8,8	1,3	5,8	6,8	6,6
Set/02	1	8,8	2,7	6,4	6,7	7,0
Out/02	2	8,2	0,9	4,7	4,8	5,4
Nov/02	2	8,1	4,3	9,2	6,3	6,2
Dez/02	2	7,5	4,0	7,5	7,0	6,8
Jan/03	2	3,3	6,2	8,1	6,6	6,7
Fev/03	2	6,4	5,0	6,2	6,4	6,3
Mar/03	2	8,0	5,7	6,2	6,0	4,4
Abr/03	1	7,73	2,06	6,5	6,18	6,4
Mai/03	1	8,5	1,85	6,5	6,7	6,5
Jun/03	1	8,7	2,47	3,9	7,37	7,00
Jul/03	1	6,95	1,13	5,3	5,41	6,23
Ago/03	1	8,73	1,27	4,76	6,08	5,71
Set/03	1	7,98	0,67	2,68	4,33	1,85
Out/03	2	7,7	1,22	3,23	4,45	3,6
Nov/03	2	7,17	4,12	5,34	5,36	5,34

Os resultados das determinações das médias dos valores do oxigênio dissolvido nos períodos seco e chuvoso encontram-se na Figura 17.

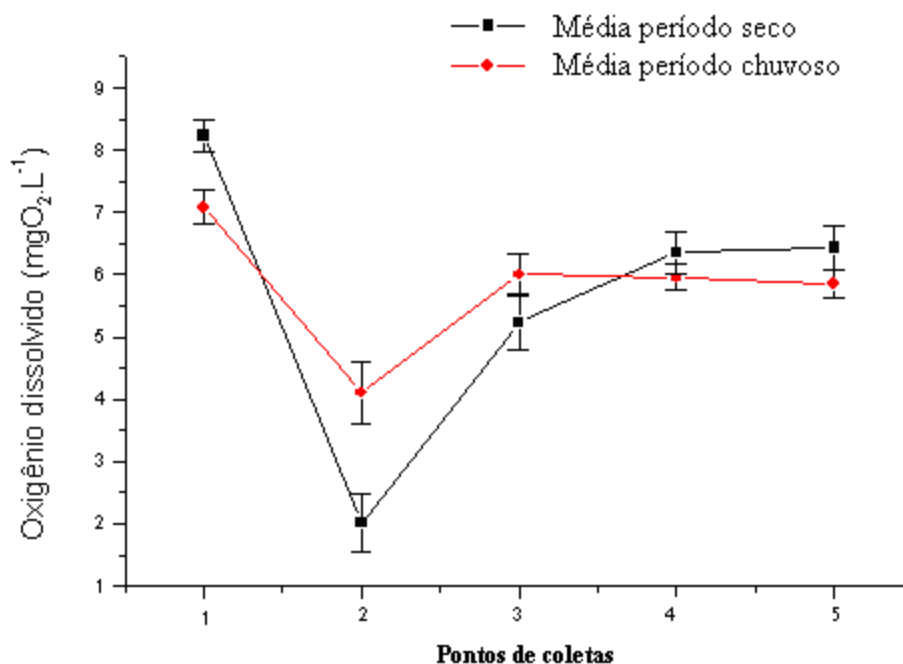


Figura 17. Variação espaço-temporal de oxigênio dissolvido (mgO₂ L⁻¹) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Apesar dos esforços da Prefeitura Municipal de Rio Claro juntamente com o DAAE de instalarem duas ETEs no município, ainda estas não foram suficientes para contribuir com a melhoria da qualidade das águas do rio Corumbataí, referente ao oxigênio dissolvido. Pode-se extrapolar, a situação da mesma caso estas providências não tivessem sido tomadas em 2000 e 2002.

Salienta-se que na maioria dos pontos de coleta, no mês de janeiro os valores de oxigênio dissolvido sempre sofreram acréscimos provavelmente devido ao aumento da vazão do rio, de sua declividade até a foz e por ser seu leito pedregoso. No ponto P1 localizado a montante da área urbana de Rio Claro, na ETA 2, apesar de sempre suas águas terem valores de oxigênio dissolvido acima do mínimo permitido para rio da Classe 2, neste mês os valores de oxigênio sempre decresceram. Atualmente as ETAs

terão que buscar tratamento dos sedimentos de seus tanques, provavelmente com maior tendência após um tratamento de ser utilizado em culturas

A análise da variância fatorial, para a variável dependente oxigênio dissolvido, possibilitou a obtenção dos resultados que se encontram na Tabela 34.

Tabela 34. Análise da variância para o oxigênio dissolvido para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	0,557	0,557	0,24	0,6233
Pontos de coletas	4	406,987	101,747	44,22	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	60,232	15,058	6,54	0,0001
Resíduo	180	414,200	2,301		
Total	189	881,976			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças e para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 35), observa-se maior valor no P1 e menor valor no P2 e demais pontos em níveis intermediários.

Tabela 35. Resultados da Aplicação do Teste de Tukey nos pontos de coletas para oxigênio dissolvido.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
1	7,632	A
4	6,153	B
5	6,129	B
3	5,653	B
2	3,134	C

4.1.10 Demanda química de oxigênio (DQO)

Como pode ser observado na Tabela 36 os menores valores de DQO foram observados no P1 e os maiores nos P3, P4 e P5. Em março/2001, entretanto, foi observado no P1 alto valor deste parâmetro, ao contrário do verificado para os demais pontos de coletas. Provavelmente, alguma atividade antrópica deve ter contribuído para que ocorresse este fato, quer seja na área agrícola, ou industrial ou ainda, devido à limpeza da ETA 2 do cidade de Rio Claro. Essa limpeza que ocorre usualmente nos primeiros meses do ano, sendo que as águas de lavagem dos decantadores são lançados sem tratamento no corpo hídrico. Esse procedimento é totalmente incorreto e atualmente vem sendo alvo de atuações com a exigência de tratar o lodo dos reservatórios, já que esse acarreta acentuado impacto ambiental nas águas a jusante. Observações semelhante a essa foi constatada em estudos anteriores, 1996 a 1998, (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Nesses mesmos estudos foi verificada a média de DQO de 12,5 mg L⁻¹ na nascente do rio Corumbataí e as médias anuais em 1997, nos P1, P3 e P5 de 26,7, 38,5 e 46,4 mg L⁻¹, respectivamente.

Embora a DQO e a DBO indiquem a demanda potencial de oxigênio dissolvido em água, não há, necessariamente, uma correlação entre estes dois parâmetros. Além disso, como a DQO também está relacionada com a quantidade de matéria orgânica e vem aumentando anualmente em todos os pontos de coletas de coleta estudados do rio Corumbataí, há um forte indicador de que está ocorrendo uma acelerada velocidade de poluição nas águas deste rio, mesmo com a instalação das duas ETEs em Rio Claro. Não se descarta também a existência de despejos de esgotos clandestinos ao longo da calha principal do rio.

Tabela 36. Variação espaço-temporal da demanda química de oxigênio ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	4,7	34,0	38,7	49,3	37,0
Nov/00	2	4,0	10,7	24,3	30,0	27,3
Dez/00	2	22,0	21,3	33,3	23,0	26,0
Jan/01	2	16,0	10,0	19,7	21,7	19,3
Fev/01	2	15,7	17,0	23,7	15,3	16,7
Mar/01	2	4,7	76,0	9,0	9,5	11,3
Abr/01	1	13,5	26,0	25,7	7,3	12,0
Mai/01	1	4,0	11,0	5,7	3,0	1,5
Jun/01	1	22,0	56,7	78,7	47,0	37,3
Jul/01	1	14,0	22,7	35,0	35,7	22,3
Ago/01	1	14,0	16,0	18,3	16,7	16,7
Set/01	1	8,7	24,5	18,3	10,7	19,3
Out/01	2	5,0	13,7	22,3	15,7	19,3
Nov/01	2	26,0	39,0	34,0	21,0	33,0
Dez/01	2	17,0	33,0	44,5	37,5	40,5
Jan/02	2	13,0	21,5	17,5	26,0	41,5
Fev/02	2	23,7	37,0	35,7	33,7	40,0
Mar/02	2	14,3	11,7	17,3	14,0	20,3
Abr/02	1	27,0	35,0	48,0	55,7	52,3
Mai/02	1	64,0	74,5	73,5	70,0	69,5
Jun/02	1	9,3	34,5	30,7	27,3	34,7
Jul/02	1	9,0	14,3	31,3	37,7	20,7
Ago/02	1	37,3	64,0	39,3	49,0	44,3
Set/02	1	8,0	26,0	42,3	36,0	44,3
Out/02	2	nd	11,0	12,3	10,0	13,7
Nov/02	2	42,7	80,3	97,3	96,7	99,0
Dez/02	2	16,7	19,0	18,3	24,0	34,0
Jan/03	2	66,0	65,0	66,0	82,0	101,3
Fev/03	2	23,0	35,7	28,3	30,3	35,7
Mar/03	2	31,0	36,3	44,7	40,0	50,0
Abr/03	1	18,0	24,0	30,7	29,3	34,0
Mai/03	1	12,0	9,0	13,0	nd	3,0
Jun/03	1	11,7	24,7	33,7	16,7	13,3
Jul/03	1	23,5	32,0	33	19,5	13,5
Ago/03	1	20	26	22,7	17,0	42,7
Set/03	1	8,5	25,5	31	23,5	32
Out/03	2	7,0	47	29,0	35,7	10
Nov/03	2	16,0	24,7	39	26,7	28,7

Os resultados das determinações das médias dos valores da demanda química de oxigênio (DQO) para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 18.

Em relação aos resultados da Figura 18 as maiores médias foram encontradas nos P1 e P5, ficando similar ao P3. Verifica-se que a demanda química de oxigênio vem sofrendo muitas variações em relação aos pontos de coletas e aos meses do ano, sendo que os maiores valores ocorreram entre os meses de janeiro a abril, dentro do período chuvoso (Tabela 36). Neste período, na monocultura dominante ao longo do rio encontra-se o solo exposto por longo tempo para sua preparação e também para o replantio da cultura.

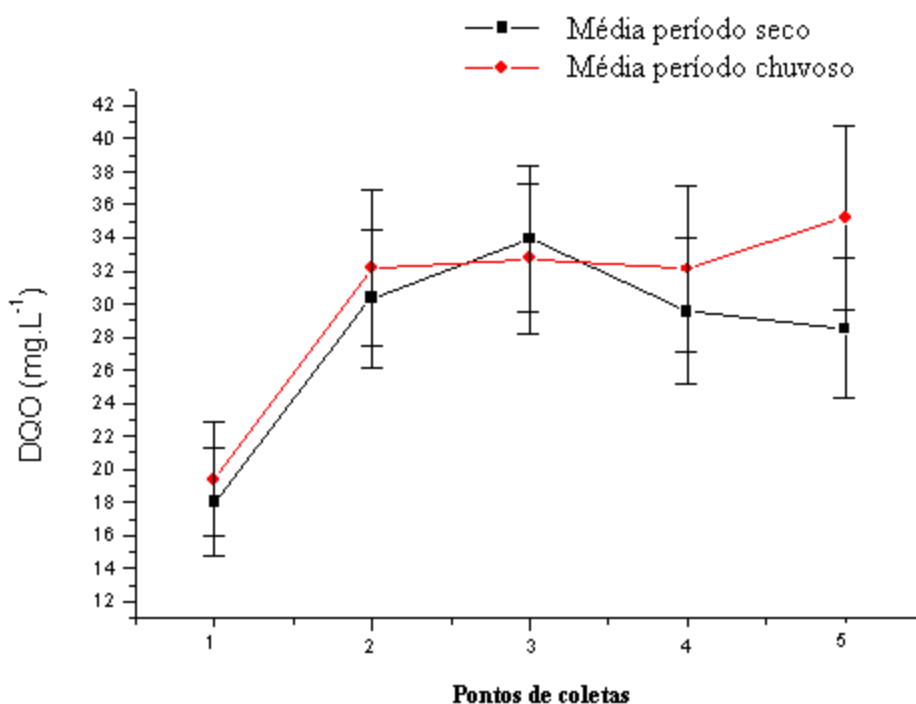


Figura 18. Variação espaço-temporal da demanda química de oxigênio (mg L⁻¹), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A análise da variância fatorial, para a variável dependente demanda química de oxigênio (DQO), se encontra na Tabela 37.

Tabela 37. Análise da variância para a demanda química de oxigênio (DQO) para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	342,648	342,648	0,91	0,341
Pontos de coletas	4	5203,571	1300,893	3,46	0,009
Períodos * Pontos de coletas	4	304,147	76,037	0,20	0,937
Resíduo	178	66835,160	375,478		
Total	187	72685,525			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças e para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 38), observa-se que o P1 com valores inferiores àqueles verificados nos demais pontos.

Tabela 38. Resultados da Aplicação do Teste de Tukey nos Pontos de coletas para DQO.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
3	33,31	A
5	32,05	A
2	31,32	A
4	30,92	A
1	20,94	B

4.1.11 Nitrito

Os resultados das determinações dos valores de nitrito se encontram na Tabela 39. Os menores valores encontrados foram antes da área urbana de Rio Claro, P1, e os maiores valores no P3, no bairro da Assistência, quando o rio já recebeu as águas do Ribeirão Claro.

Tabela 39. Variação espaço-temporal da concentração de nitrito (mg L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	0,021	0,026	0,094	0,210	0,136
Nov/00	2	0,043	0,057	0,091	0,108	0,098
Dez/00	2	0,042	0,067	0,108	0,094	0,074
Jan/01	2	0,069	0,100	0,145	0,184	0,219
Fev/01	2	0,027	0,040	0,075	0,056	0,058
Mar/01	2	0,025	0,059	0,154	0,150	0,198
Abr/01	1	0,013	0,029	0,332	0,092	0,126
Mai/01	1	0,010	0,186	0,330	0,033	0,027
Jun/01	1	0,026	0,020	0,062	0,101	0,098
Jul/01	1	0,010	0,012	0,071	0,183	0,211
Ago/01	1	0,030	0,050	0,058	0,197	0,205
Set/01	1	0,018	0,027	0,103	0,215	0,168
Out/01	2	0,015	0,006	0,224	0,164	0,124
Nov/01	2	0,023	0,051	0,278	0,253	0,220
Dez/01	2	0,012	0,036	0,158	0,149	0,135
Jan/02	2	0,028	0,047	0,085	0,181	0,219
Fev/02	2	0,069	0,073	0,068	0,070	0,062
Mar/02	2	0,031	0,077	0,153	0,103	0,146
Abr/02	1	0,015	0,084	0,220	0,107	0,096
Mai/02	1	0,016	0,047	0,101	0,068	0,090
Jun/02	1	0,018	0,034	0,119	0,098	0,091
Jul/02	1	0,009	0,046	0,074	0,132	0,131
Ago/02	1	0,031	0,052	0,183	0,185	0,203
Set/02	1	0,016	0,188	0,131	0,118	0,122
Out/02	2	0,008	0,097	0,095	0,211	0,253
Nov/02	2	0,070	0,181	0,230	0,172	0,198
Dez/02	2	0,021	0,065	0,129	0,115	0,102
Jan/03	2	0,158	0,418	0,293	0,183	0,200
Fev/03	2	0,026	0,067	0,131	0,089	0,093
Mar/03	2	0,021	0,159	0,212	0,100	0,148
Abr/03	1	0,014	0,056	0,170	0,098	0,139
Mai/03	1	0,015	1,114	0,168	0,182	0,166
Jun/03	1	0,008	0,05	0,089	0,110	0,101
Jul/03	1	0,009	0,067	0,377	0,180	0,229
Ago/03	1	0,014	0,045	0,077	0,187	0,227
Set/03	1	0,012	0,027	0,029	0,272	0,270
Out/03	2	0,016	0,026	0,062	0,271	0,243
Nov/03	2	0,014	0,092	0,188	0,192	0,177

A Resolução 357 (CONAMA, 2005) estabeleceu limite deste parâmetro para rios da Classe 2 em $1,0\text{mg L}^{-1}$, sendo que para o período de estudo não se observaram valores acima deste. Comparando-se os resultados encontrados por Salati (1996) que foram inferiores aos citados por Palma-Silva e Tauk-Tornisielo (2001) e estes demonstrados na Figura 19 e Tabela 39, conclui-se que os valores de nitrito vêm aumentando nos pontos de coletas estudados.

Na nascente do rio Corumbataí as médias anuais ficaram entre $0,003$ e $0,002\text{mg L}^{-1}$, respectivamente, para os anos de 1996 e 1997 e nos pontos de coletas P1, P3 e P5 estes valores foram de $0,004$ e $0,023$; $0,083$ e $0,113$ e de $0,061$ e $0,074\text{mg L}^{-1}$ (PALMA-SILVA e TAUK-TORNISIELO, 2001).

Os resultados das determinações das médias dos valores do nitrito para os períodos seco e chuvoso se encontram na figura 19.

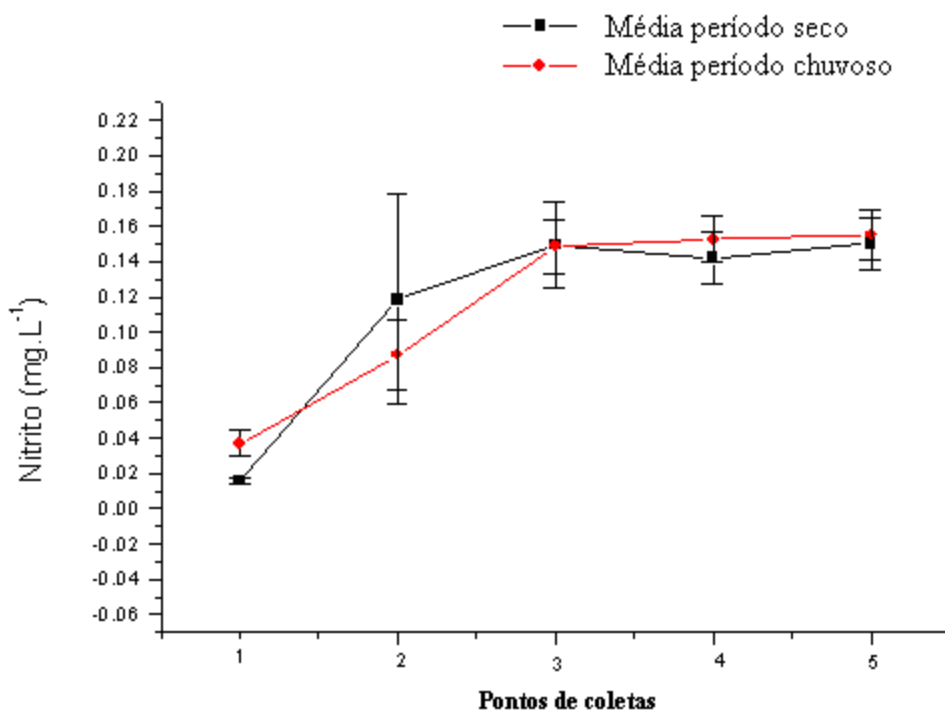


Figura 19. Variação espaço-temporal da concentração de nitrito (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

O nitrito pode ter origem da decomposição da matéria orgânica, que leva a formação de amônia, esta, por sua vez, é oxidada a nitrito, através da ação de bactérias como *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus* e *Nitrosolobus*. Esse composto pode, também, ser acrescido nas águas por lançamentos de efluentes industriais e domésticos, por exemplo, sais de nitrito são usados na indústria como inibidores de corrosão. O aumento da concentração de nitrito nas águas torna-se preocupante, pois é mais tóxico para os seres humanos e animais do que o nitrato (ESTEVES, 1988). Tanto os valores de fósforo total e de nitrito sofreram um incremento atípico no ponto P2 em janeiro de 2003. Embora isto tenha sido observado para outros pontos de coletas, neste o acréscimo foi maior, o mesmo não ocorrendo para o nitrato. Em maio até julho de 2003, os valores de nitrito no ponto P2, logo após a área urbana de Rio Claro, ultrapassaram o valor máximo estabelecido pela Resolução 357 (CONAMA, 2005), para rios de Classe 2, provavelmente devido à seca e, o fato do rio estar com o nível de suas águas abaixo do normal, o que leva a seus contaminantes serem encontrados mais concentrados.

A partir destes resultados foi realizada a análise da variância fatorial, realizado no programa estatístico SAS, cujos resultados se encontram na tabela 40.

Tabela 40. Análise da variância para nitrito para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 =seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	0,000	0,000	0,03	0,8528
Pontos de coletas	4	0,440	0,110	10,96	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	0,015	0,004	0,37	0,8328
Resíduo	180	1,806	0,010		
Total	189	2,261			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças, e para o fator pontos de coletas, houve diferença, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 41), observa-se o P1 com valor inferior em relação aos demais pontos.

Tabela 41. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator Pontos de coletas de coletas para nitrito.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
5	0,153	A
3	0,149	A
4	0,148	A
2	0,102	A
1	0,027	B

4.1.12 Nitrato

A Tabela 42 apresenta os valores de nitrato nas águas do rio Corumbataí, sendo que esses variaram de 0,4 a 3,4mg L⁻¹, e as menores médias foram observadas nos P1 e P2, 0,95 e 0,82mg L⁻¹ e as maiores no P5. Nos anos de 1996 e 1997, na nascente deste rio estes valores foram de 0,07 e 0,03mg L⁻¹, respectivamente, e nos P1, P3 e P5 foram sucessivamente de 0,62 e 0,50mg L⁻¹; 1,02 e 0,99mg L⁻¹; e 1,08 e 0,84mg L⁻¹ (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Esses resultados anteriores quando comparados com aqueles apresentados na figura 18 demonstram que semelhantemente ao nitrito, o nitrato vêm sofrendo aumento gradativo ao longo do rio Corumbataí.

Este efeito mais acentuado nos P4 (SEMAE) e P5 fornece subsídios para se propor à ocorrência de efeito cumulativo de nitrato em decorrência dos insumos agrícolas usados comumente nas culturas de cana-de-açúcar presentes ao longo de todo o percurso do rio Corumbataí, principalmente devido a sua lixiviação vertical para dentro da cava principal deste rio. Este fato é preocupante para a saúde do homem da região, principalmente para os recém-nascidos, pois o excesso de nitrato nas águas reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue, sendo um problema para a saúde pública, porque para as crianças, pode acarretar metahemoglobinemia, muitas vezes letal. (NOVALARI et al., 2003). O excesso de nitrato e nitrito também pode produzir sérios problemas nos processos industriais, como nas têxteis durante o tingimento de lãs e sedas e nas cervejarias durante o processo de fermentação (CETESB, 1995).

Tabela 42. Variação espaço-temporal das concentrações de nitrato (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	1,2	0,8	1,1	1,6	2,0
Nov/00	2	1,3	1,4	1,9	2,3	2,3
Dez/00	2	1,3	1,3	1,9	1,5	1,4
Jan/01	2	1,8	2,1	2,6	3,0	3,4
Fev/01	2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,3
Mar/01	2	1,0	1,0	1,2	1,8	2,3
Abr/01	1	0,8	0,4	1,4	1,0	1,1
Mai/01	1	0,8	0,6	1,6	1,2	1,8
Jun/01	1	1,1	0,6	0,9	1,0	1,2
Jul/01	1	0,8	0,4	0,6	1,3	1,5
Ago/01	1	0,9	0,8	0,5	1,0	1,4
Set/01	1	1,2	1,1	1,4	1,7	1,7
Out/01	2	0,8	0,5	0,9	1,3	1,4
Nov/01	2	1,0	0,6	1,1	1,7	1,7
Dez/01	2	0,7	0,7	1,4	1,9	1,9
Jan/02	2	1,1	1,1	1,6	2,6	3,3
Fev/02	2	1,1	1,0	1,0	1,1	0,9
Mar/02	2	1,0	1,4	1,9	1,8	2,4
Abr/02	1	1,0	0,7	0,9	1,0	1,1
Mai/02	1	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9
jun/02	1	1,0	0,9	1,0	1,2	1,2
Jul/02	1	0,7	0,5	0,6	0,9	1,0
Ago/02	1	1,3	0,6	0,7	1,0	1,1
Set/02	1	0,8	0,7	0,6	0,7	0,9
Out/02	2	0,6	0,6	0,4	0,7	0,9
Nov/02	2	1,4	2,0	2,7	1,5	1,5
Dez/02	2	0,8	0,9	1,2	1,1	1,1
Jan/03	2	2,0	2,2	2,2	2,2	1,8
Fev/03	2	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9
Mar/03	2	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8
Abr/03	1	1,0	0,8	1,2	1,2	1,4
Mai/03	1	1,0	0,8	1,1	1,5	1,6
Jun/03	1	0,8	0,6	0,8	1,2	1,4
Jul/03	1	0,8	0,6	0,8	1,4	1,8
Ago/03	1	1,3	0,8	0,7	1,7	2,1
Set/03	1	1,0	0,4	0,4	1,7	2,0
Out/03	2	0,9	0,5	0,7	1,7	2,0
Nov/03	2	0,8	1,6	2,5	1,4	1,5

O íon nitrato é altamente solúvel e a forma mais estável do nitrogênio combinado em águas superficiais. A Resolução 357 (CONAMA 2005) estabeleceu para os rios de Classe 2 o limite de $10,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$. Mesmo na ETA 2, P1, ao contrário dos demais parâmetros estudados, em alguns meses do ano foram encontrados valores excedentes àquele definido pela Resolução. Considerando que o P1 localiza-se a montante da área urbana de Rio Claro, atribui-se ao mesmo às considerações acima citadas para os pontos P4 e P5 (Tabela 42). Além disso, os efluentes industriais e esgotos domésticos, especialmente o esgoto, também contêm nitratos e podem estar contribuindo para acréscimo desse poluente nos corpos de água localizados na bacia do rio Corumbataí.

Os resultados das determinações dos valores médios de nitrato para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 20.

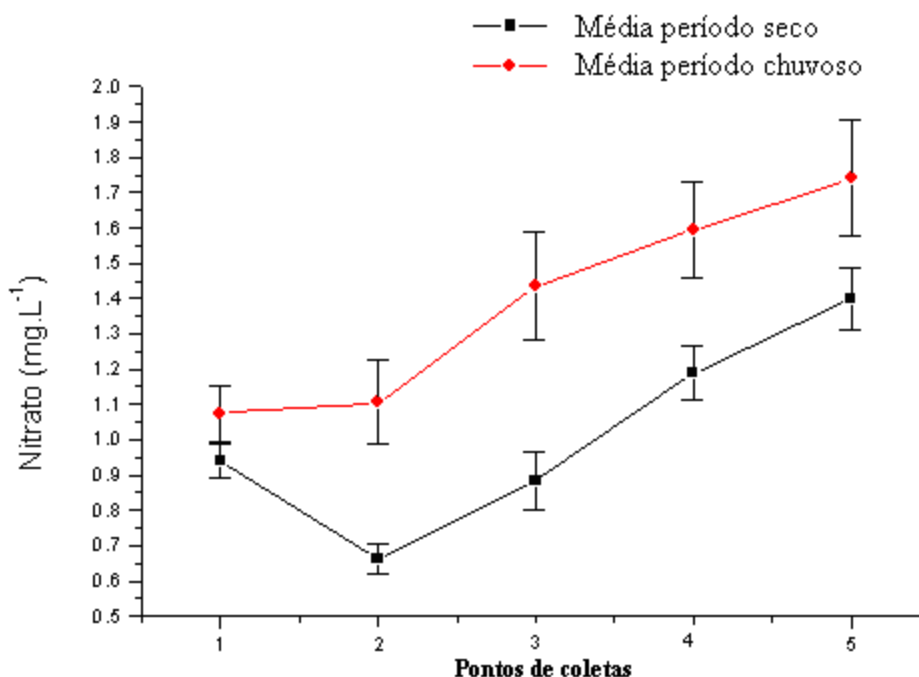


Figura 20. Variação espaço-temporal das concentrações de nitrato (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir destes valores foi realizada a análise da variância fatorial para o nitrato realizado no programa estatístico SAS, cujos resultados se encontram na Tabela 43.

Tabela 43. Análise da variância dos valores de nitrato para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	6,834	6,834	29,72	0,0001
Pontos de coletas	4	11,772	2,943	12,80	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	0,900	0,225	0,98	0,4206
Resíduo	180	41,396	0,230		
Total	189	60,902			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey, os resultados obtidos (Tabela 44), observa-se maior concentração no período chuvoso. Para o fator pontos de coleta, ao nível de 5% de significância, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 45), observa-se maior concentração nos P4 e P5, e com menor concentração nos demais pontos

Tabela 44. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator períodos para nitrato.

Período	Média	Grupo de Tukey
2	1,394	A
1	1,014	B

Tabela 45. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator pontos para nitrato.

Pontos	Média	Grupo de Tukey		
5	1,579	A		
4	1,403	A	B	
3	1,174		B	C
1	1,010			C
2	0,895			C

4.1.13 Amônia

Comparando-se os resultados da Tabela 46, que apresenta os valores de amônia, nos anos de 2000 a 2003, com aqueles que obtiveram Palma-Silva e Tauk-Tornisielo, (2001) verifica-se que na nascente do rio Corumbataí as médias de valores de amônia foram 0,00 e 0,03 mg L⁻¹ e nos P1, P3 e P5 foram 0,00 e 0,40 mg L⁻¹; 0,06 e 1,41 mg L⁻¹; e 0,03 e 0,63 mg L⁻¹, respectivamente, em 1996 e 1997, portanto valores menores daqueles aqui encontrados, outra vez indicando acréscimo da poluição do rio Corumbataí. Verifica-se pela Tabela 46 que no ponto P1, a montante da área urbana de Rio Claro, houve decréscimo dos valores de amônia de 2000 para 2001, entretanto, sofrendo novamente acréscimo em 2002. Nos demais pontos de coleta, ao contrário do P1, em 2001 ocorreram as maiores médias dos valores encontrados para o íon amônio.

As águas naturais normalmente contêm concentrações inferiores a 1,0 mg L⁻¹ e valores superiores a este podem ser indicativos de ações antropogênicas (CETESB, 1995).

Os valores da amônia encontrados no P1 foram inferiores àquele máximo permitido pela Resolução 357 (CONAMA, 2005), porém nos demais pontos de coletas, os valores observados foram duas vezes maiores ao limite definido para águas de classe 2, estando relacionados com poluição recente. O pequeno decréscimo verificado de 2000 a 2001, pode estar diretamente relacionado com as instalações de duas ETES do município de Rio Claro. Todavia, após este período houve novamente acréscimo deste parâmetro. Altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas, como por exemplo, a influência na dinâmica do oxigênio dissolvido nas águas, uma vez que para oxidar 1,0 mg deste íon são necessários cerca de 4,3 mg de

oxigênio, influenciando a comunidade de peixes, pois em pH básico (este observado nas águas do rio Corumbataí), o íon amônio se transforma em amônia, que dependendo de sua concentração pode ser tóxica para estes organismos (ESTEVES, 1988).

Nas águas cujos valores de pH esteja na faixa de 8,0, como verificado em alguns pontos de coletas aqui estudados, a amônia total torna-se preocupante a partir da concentração de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$. Segundo Nuvolari et al. (2003), o limite fixado de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ para amônia total em águas de Classe 3, na Resolução 357 (CONAMA, 2005) não foi adequado, uma vez que esta permite uma faixa de valores de pH de 6 a 9. Para as águas cujos valores de pH esteja na faixa de 9,0, a amônia total torna-se preocupante a partir de uma concentração menor do que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$.

Tabela 46. Valores do íon amônio (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	0,35	2,40	2,65	1,08	0,69
Nov/00	2	0,77	1,33	1,70	1,62	1,56
Dez/00	2	0,79	1,38	1,87	1,37	1,34
Jan/01	2	1,23	1,79	2,33	2,30	3,20
Fev/01	2	0,43	0,71	0,78	0,47	0,76
Mar/01	2	0,44	1,15	1,43	1,33	2,19
Abr/01	1	0,38	1,85	1,07	0,32	0,64
Mai/01	1	0,12	1,78	0,04	0,02	0,23
Jun/01	1	0,62	2,66	1,73	1,20	0,99
Jul/01	1	0,19	2,75	2,75	1,11	1,24
Ago/01	1	0,51	2,13	2,36	2,00	1,22
Set/01	1	0,40	3,20	4,20	1,17	0,89
Out/01	2	0,47	2,69	6,40	0,56	0,59
Nov/01	2	0,32	4,40	2,90	0,98	1,19
Dez/01	2	0,61	2,46	2,74	1,57	1,67
Jan/02	2	0,80	1,19	1,56	1,05	1,12
Fev/02	2	0,80	0,94	0,79	0,79	0,77
Mar/02	2	0,64	1,23	2,28	1,57	2,25
Abr/02	1	0,34	1,47	1,34	0,43	0,51
Mai/02	1	0,32	1,50	1,60	0,63	1,03
jun/02	1	0,22	1,73	1,69	0,63	0,62
Jul/02	1	0,12	1,92	1,89	0,79	0,71
Ago/02	1	0,50	2,26	2,90	0,78	0,79
Set/02	1	0,34	1,85	2,25	0,56	0,77
Out/02	2	0,21	2,55	3,38	1,06	1,39
Nov/02	2	1,10	2,46	3,12	1,22	1,29
Dez/02	2	1,06	1,15	1,17	0,74	0,90
Jan/03	2	2,19	4,90	3,92	2,61	1,98
Fev/03	2	0,52	0,89	1,12	0,54	0,60
Mar/03	2	0,34	0,91	0,99	0,34	0,58
Abr/03	1	0,29	1,39	1,09	0,38	0,59
Mai/03	1	0,38	2,02	1,95	1,12	0,88
Jun/03	1	0,20	2,03	2,17	0,52	0,77
Jul/03	1	0,20	2,49	3,2	0,88	1,13
Ago/03	1	0,20	2,25	3,68	1,25	0,89
Set/03	1	0,16	0,17	0,11	0,08	0,12
Out/03	2	0,33	2,76	4,22	1,69	1,02
Nov/03	2	0,29	1,93	2,80	0,77	0,68

Os resultados dos valores médios da variável amônia para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 21.

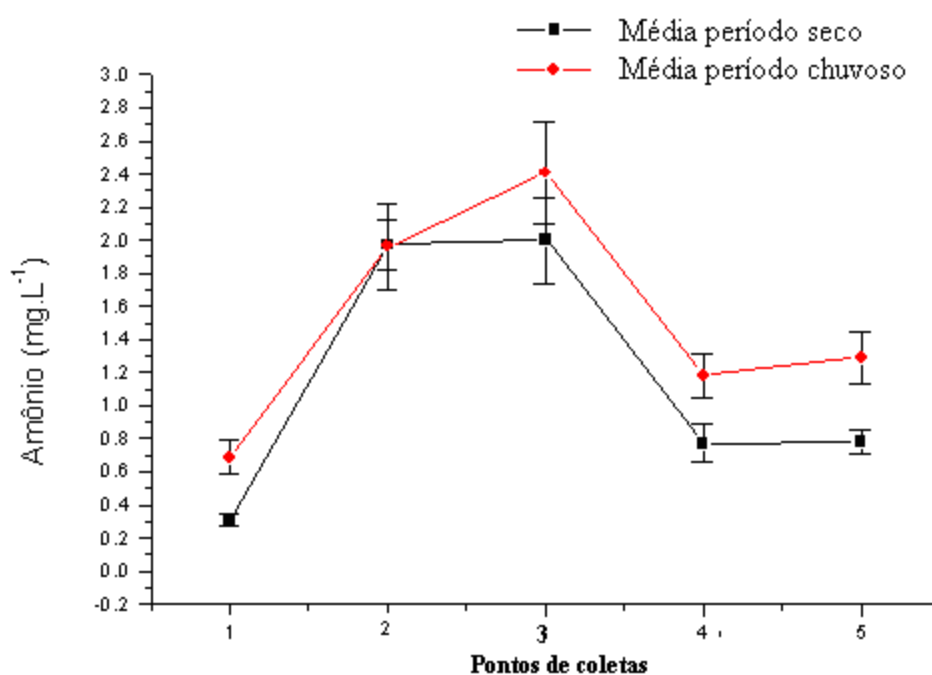


Figura 21. Variação espaço-temporal das concentrações de amônia (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir dos resultados encontrados, foi realizada a análise da variância fatorial para a variável dependente amônia, cujos resultados se encontram na Tabela 47.

Tabela 47. Análise da variância da amônia para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	5,956	5,956	9,32	0,0026
Pontos de coletas	4	77,846	19,462	30,47	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	1,519	0,380	0,59	0,6670
Resíduo	180	114,986	0,639		
Total	189	200,308			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey, nos resultados obtidos (Tabela 48), verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas e que o maior valor encontrado ocorreu no período chuvoso. Para o fator pontos de coletas, ao nível de 5% de significância, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 49), observam-se maiores valores nos P2 e P3 e menores valores nos P1 e P4.

Tabela 48. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Períodos de coletas para a amônia.

Períodos	Média	Grupo de Tukey
2	1,5136	A
1	1,1592	B

Tabela 49. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o pontos de coletas para a amônia.

Pontos de coletas	Média	Grupo de Tukey
3	2,215	A
2	1,965	A
5	1,047	B
4	0,988	B
1	0,505	C

4.1.14 Fósforo total

Como observado na Tabela 50, os valores estiveram entre 28,0 e 647,0 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente nos P1 e P3. As menores concentrações no P1 e maiores valores no P3, confirmam o que os demais parâmetros vêm indicando, ou seja, um aumento acelerado da poluição do rio Corumbataí após a área urbana de Rio Claro. Ao contrário dos parâmetros acima citados, em 2002 houve menores valores de fósforo total nos pontos de coletas aqui estudados, excetuando nos P2 e P3.

Na nascente do rio Corumbataí em anos anteriores foram encontrados valores de 1,3 a 17,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001) sendo que os maiores foram determinados nos P4 e P5 em um intervalo de 75,0 e 780,0 $\mu\text{g L}^{-1}$. Comparando-se esses resultados com àqueles da Tabela 50 e da Figura 22, verifica-se que a concentração de fósforo total diminuiu na cava principal do rio Corumbataí, mesmo após a área urbana de Rio Claro, nos últimos anos. Os resultados aqui obtidos, demonstram que no P1 houve um considerável decréscimo deste parâmetro de junho para julho de 2003, contudo, nos P2, P3 e P4. Neste mesmo período, houve grande aumento do mesmo, provavelmente devido ao acréscimo de atividades ao longo do trecho do rio Corumbataí aqui estudado, como indústrias e o Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes, mas também como consequência indireta do incremento promovido pela reativação do Pró Álcool, o que levou ao aumento das áreas de cultivo da cana-de-açúcar

A Resolução 357 (CONAMA, 2005) determinou que a quantidade máxima de fósforo total permitida, para que a água seja considerada adequada para organismos aquáticos, para a manutenção da biodiversidade e para o abastecimento urbano, é de 0,025 mg L^{-1} . Em todos os períodos estudados, os valores encontrados para fósforo total foram maiores do que o limite fixado legalmente, portanto, quanto a este parâmetro o rio Corumbataí não se enquadra dentro do limite previsto para rios de Classe 2.

Tabela 50. Variação espaço-temporal de fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	305,5	551,2	647,0	425,6	435,3
Nov/00	2	168,3	199,3	320,9	354,7	223,7
Dez/00	2	126,7	192,0	323,9	295,3	231,8
Jan/01	2	244,5	330,0	472,4	572,5	644,9
Fev/01	2	96,2	139,8	182,5	127,0	186,2
Mar/01	2	128,4	168,3	199,9	251,6	354,3
Abr/01	1	81,2	258,9	333,3	157,9	181,6
Mai/01	1	48,5	259,1	311,6	172,7	236,1
Jun/01	1	80,8	283,3	354,2	226,8	192,4
Jul/01	1	47,0	346,2	446,9	198,6	264,4
Ago/01	1	124,5	213,2	299,3	271,4	260,0
Set/01	1	34,8	444,0	517,4	146,3	154,1
Out/01	2	45,4	377,3	457,8	154,8	194,8
Nov/01	2	74,4	524,3	485,9	224,1	268,1
Dez/01	2	83,8	254,9	264,1	195,9	238,7
Jan/02	2	64,2	102,8	140,0	205,2	295,6
Fev/02	2	111,4	139,2	166,2	158,0	143,4
Mar/02	2	63,3	97,4	194,5	248,1	272,5
Abr/02	1	28,6	155,3	175,6	84,1	90,7
Mai/02	1	52,6	197,6	242,1	125,1	171,2
jun/02	1	69,5	276,6	322,9	167,9	210,2
Jul/02	1	39,6	245,9	308,1	176,5	194,7
Ago/02	1	98,6	245,3	279,1	195,7	199,0
Set/02	1	31,2	321,0	322,4	135,0	198,8
Out/02	2	54,0	428,2	493,5	250,1	299,1
Nov/02	2	202,8	445,6	555,2	360,4	415,3
Dez/02	2	112,2	194,1	245,5	220,7	204,2
Jan/03	2	340,5	861,5	481,2	342,8	416,7
Fev/03	2	70,6	142,6	181,6	144,0	131,6
Mar/03	2	64,1	170,7	204,4	145,2	198,7
Abr/03	1	59,4	231,1	263,1	159,8	161,9
Mai/03	1	72,6	285,8	316,1	168,0	178,1
Jun/03	1	36,6	206,0	440,4	121,6	209,2
Jul/03	1	31,6	368,7	569,6	237,8	234,9
Ago/03	1	53,4	395,1	518,6	294,1	285,9
Set/03	1	46,7	598,2	691,4	253,3	429,7
Out/03	2	79,0	585,8	660,0	340,1	311,4
Nov/03	2	71,7	269,3	452,9	198,1	196,8

Os resultados das determinações dos valores médios de fósforo total para o período seco e chuvoso se encontram na Figura 22.

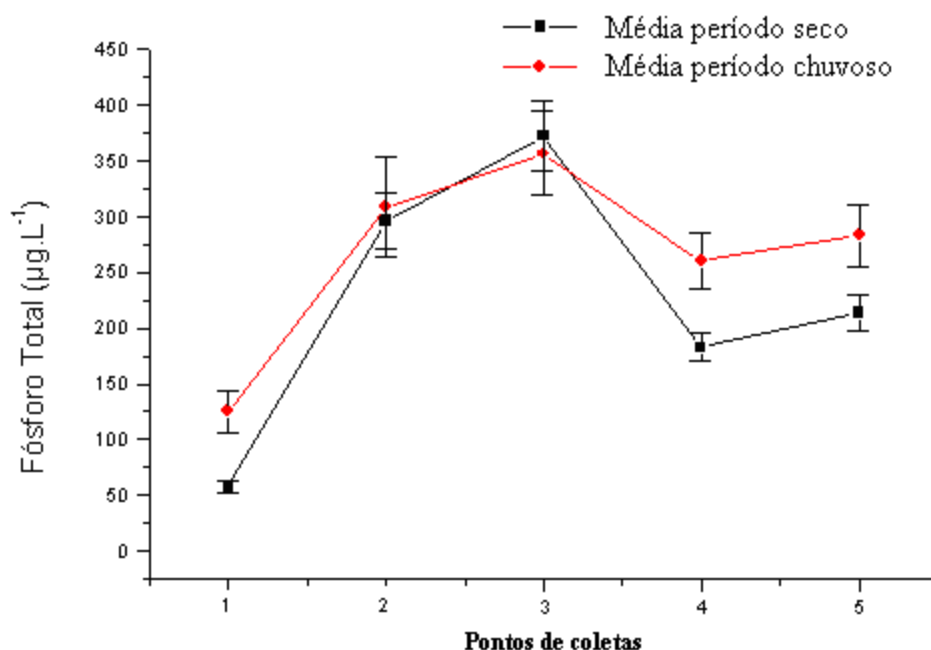


Figura 22. Variação espaço-temporal de fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A agricultura vem sendo um grande contribuinte de nutrientes na microbacia do Barrinha (NASCIMENTO, 2000), sendo demonstrado que essa atividade é a causa das concentrações elevadas de fósforo, principalmente no período chuvoso/quente, encontrando variação, na nascente, de 5,3 a 15,0 $\mu\text{g L}^{-1}$. No período frio/seco, entretanto, esses autores observaram valores entre 8,6 $\mu\text{g L}^{-1}$ e 17,0 $\mu\text{g L}^{-1}$. Esses valores são menores do que aqueles apresentados na Figura 22. Os nutrientes são importantes no metabolismo global dos sistemas aquáticos, devido à participação destes nos processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (ATP); estruturação da membrana celular; formação de proteínas, e

constituem componentes básicos da biomassa (ESTEVES, 1988). Entre os vários nutrientes situam-se o fósforo que participa da formação de vários compostos vitais, como por exemplos, ácidos nucleicos, enzimas e outros. Este constitui um fator limitante para a produtividade, porém pode tornar-se um daqueles responsáveis para a eutrofização de sistemas aquáticos.

.A partir dos resultados encontrados foi realizada a análise da variância fatorial para a variável dependente fósforo total, cujos resultados se encontram na Tabela 51.

Tabela 51. Análise da variância de fósforo total para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas de coleta (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	89263,640	89263,640	6,06	0,0147
Pontos de coletas	4	1475736,618	368934,154	25,07	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	62026,046	15506,511	1,05	0,3811
Resíduo	180	2649384,474	14718,803		
Total	189	4276410,778			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey, nos resultados obtidos (Tabela 52), verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas e que o maior valor encontrado ocorreu no período chuvoso. Para o fator Pontos de coletas, ao nível de 5% de significância, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 53), observam-se maiores valores nos P2 e P3, menor valor no P1 e os demais pontos em níveis intermediários.

Tabela 52. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos períodos para o fósforo total.

Períodos	Média	Grupo de Tukey
2	268,94	A
1	225,56	B

Tabela 53. Resultado da aplicação do Teste de Tukey para o fator pontos de coleta para fósforo total.

Pontos de coletas	Média	Grupo de Tukey		
3	364,25	A		
2	302,79	A	B	
5	250,42		B	C
4	223,88			C
1	99,48			D

4.1.15 Cloreto

Os resultados obtidos das análises de cloretos nas águas coletadas nos P1 a P5 se encontram na Tabela 54. A Resolução 357 (CONAMA, 2005) fixou o valor de 250 mgCl L⁻¹ para cloreto total em águas classe 2.

Os cloretos, mesmo em razoáveis concentrações, não são nocivos aos seres humanos, a não ser o cloreto de sódio, que causa hipertensão, quando em excesso. Em concentrações acima de 250 mg L⁻¹, no entanto, confere a água um gosto salgado (NUVOLARI et al., 2003). O íon cloreto não participa de maneira significativa nos processos geoquímicos e biológicos que ocorrem nos meios naturais, de modo que pode ser considerado um elemento conservativo, de grande utilidade para: caracterizar a origem de uma massa de água e seu percurso; estimar as infiltrações de água em sistema aquático, por combinação do balanço hídrico e do balanço de massa do cloreto; evidenciar e quantificar os aumentos e diminuições das concentrações de outros compostos dissolvidos no meio, provocados pela ocorrência de diversos processos geoquímicos e biológicos (CARMOUZE, 1994).

Durante o período de estudo os menores valores sempre foram no P1, com acréscimo no P2, mais ainda no P3, decaindo relativamente pouco até o P5, isto provavelmente devido aos lançamentos de efluentes das indústrias e mesmo lixiviação do solo das regiões de monoculturas.

Tabela 54. Variação espaço-temporal do cloreto (mg L^{-1}), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	7,0	14,0	13,0	14,0	13,0
Nov/00	2	4,0	14,0	9,0	11	7,0
Dez/00	2	3,0	7,0	8,0	6,0	8,0
Jan/01	2	3,0	9,0	7,0	6,0	6,0
Fev/01	2	4,0	10,0	12,0	8,0	11,0
Mar/01	2	5,0	10,0	14,0	12,0	13,0
Abr/01	1	3,2	7,3	9,1	11,6	6,8
Mai/01	1	7,3	9,6	10,8	6,2	7,7
Jun/01	1	2,9	10,4	10,5	7,2	7,4
Jul/01	1	1,7	10,9	14,1	6,2	9,7
Ago/01	1	8,0	1,3	1,6	17,0	13,0
Set/01	1	3,0	2,3	1,7	21,0	14,0
Out/01	2	3,3	2,2	2,2	15,0	14,0
Nov/01	2	6,1	12,6	9,8	9,5	8,8
Dez/01	2	2,5	10,6	8,6	7,1	8,3
Jan/02	2	7,9	7,0	6,5	5,9	6,3
Fev/02	2	3,4	9,4	11,1	7,9	7,1
Mar/02	2	2,8	3,8	6,2	3,1	4,3
Abr/02	1	7,1	8,5	9,3	11,4	7
Mai/02	1	8,9	9,1	10,2	6,3	7,5
jun/02	1	2,0	10,5	13,2	7,8	8,3
Jul/02	1	2,4	11,1	12,1	7,0	7,4
Ago/02	1	4,4	18,1	13,7	12,7	11,9
Set/02	1	3,0	6,3	9,7	14,0	12,7
Out/02	2	3,0	11,5	14,4	9,9	10,2
Nov/02	2	8,1	8,6	9,8	8,2	9,8
Dez/02	2	1,5	11,6	9,6	8,1	8,3
Jan/03	2	11,9	5,0	5,2	5,0	5,3
Fev/03	2	2,4	6,4	9,1	5,9	7,1
Mar/03	2	4,7	11,2	9,0	7,1	7,6
Abr/03	1	2,4	7,6	9,3	6,3	7,4
Mai/03	1	2,1	9,7	10,9	6,0	8,0
Jun/03	1	2,6	11,4	15,6	7,2	8,7
Jul/03	1	3,8	11,4	20,8	8,3	11,3
Ago/03	1	3,8	7,0	11,2	7,2	8,3
Set/03	1	2,9	9,1	13,8	9,1	11,4
Out/03	2	2,4	14,1	17,4	9,1	10,5
Nov/03	2	7,1	11,0	9,7	8,5	9,3

Os resultados das determinações dos valores de cloreto para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 23.

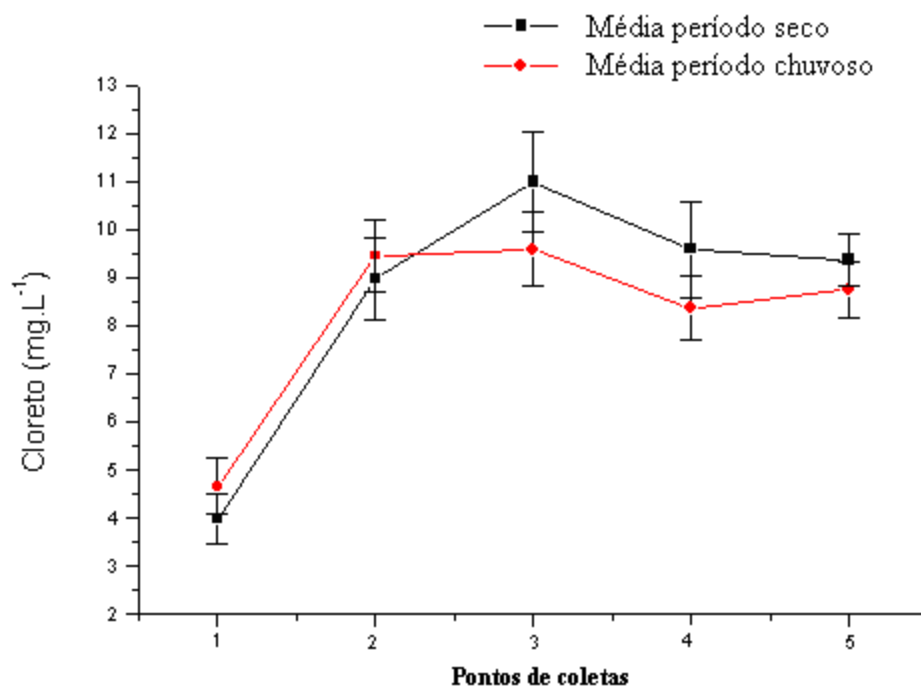


Figura 23. Variação espaço-temporal do cloreto (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir destes valores foi realizada a análise da variância fatorial para a variável dependente cloreto, cujos resultados se encontram na Tabela 55.

Tabela 55. Análise da variância de cloreto para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	4,207	4,207	0,39	0,5309
Pontos de coletas	4	812,821	203,205	19,04	0,0001
Períodos *	4	38,068	9,517	0,89	0,4701
Pontos de coletas					
Resíduo	180	1921,152	10,673		
Total	189	2776,249			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças. Para o fator pontos de coletas houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 56), observa-se que o P1 com nível inferior difere dos demais pontos estudados.

Tabela 56. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos pontos de coletas para cloreto.

Pontos de coletas	Média	Grupo de Tukey
3	10,242	A
2	9,226	A
5	9,036	A
4	8,942	A
1	4,332	B

4.1.16 Salinidade

Este parâmetro não foi determinado anteriormente (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001), todavia devido sua importância e por não sofrer decréscimo durante o tratamento convencional da água para consumo humano, este foi estudado nas análises atuais sobre a qualidade da água do rio Corumbataí. Os índices de salinidade aumentam após o município de Rio Claro, em quase todos os meses estudados. Os problemas relacionados com a salinidade da água dependem da concentração total de sais minerais, sendo as águas de superfícies as mais atingidas devido aos fenômenos de evaporação e deposição de sais.

Os íons mais frequentemente encontrados são cálcio, magnésio, sódio, bicarbonato, cloreto e sulfato, por serem mais solúveis na água. Os sais podem ter origem a partir de diversas fontes, como esgotos urbanos, atividades pecuárias, fertilizantes usados na agricultura e até mesmo provenientes da própria atmosfera (FERRAZ et al., 2001). Os valores de salinidade ainda estão muito baixos comparados com o aumento do setor industrial, populacional, porém, demonstram tendência de acréscimo nas águas do rio Corumbataí, nos pontos de coletas a jusante a área urbana do município de Rio Claro.

A maior preocupação em se estudar a salinidade das águas do rio Corumbataí foi devido ao aumento crescente da poluição, crescimento populacional e industrial com provável aumento da salinidade o que neste estudo ficou explícito, principalmente depois da cidade de Rio Claro (Tabela 57).

Tabela 57. Variação espaço-temporal da salinidade (‰), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Nov/00	2	0	0	0	0	0
Dez/00	2	0	0	0	0	0
Jan/01	2	0	0	0	0	0
Fev/01	2	0	0	0	0	0
Mar/01	2	0	0	0,1	0,1	0,1
Abr/01	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Mai/01	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jun/01	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jul/01	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Ago/01	1	0	0	0,1	0,1	0,1
Set/01	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Out/01	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Nov/01	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Dez/01	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jan/02	2	0	0	0,1	0	0,1
Fev/02	2	0	0	0,1	0,1	0,1
Mar/02	2	0	0	0,1	0	0
Abr/02	1	0	0	0,1	0,1	0,1
Mai/02	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
jun/02	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jul/02	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Ago/02	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Set/02	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Out/02	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Nov/02	2	0	0	0,1	0,1	0,1
Dez/02	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jan/03	2	0	0	0	0	0
Fev/03	2	0	0	0,1	0,1	0,1
Mar/03	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Abr/03	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Mai/03	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jun/03	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Jul/03	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Ago/03	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Set/03	1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Out/03	2	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Nov/03	2	0	0	0,1	0,1	0,1

Os resultados das médias dos valores de salinidade nos períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 24, demonstrando que no período seco há um acréscimo deste parâmetro devido provavelmente a estiagem, baixo nível das águas do rio Corumbataí e alta concentração desses sais.

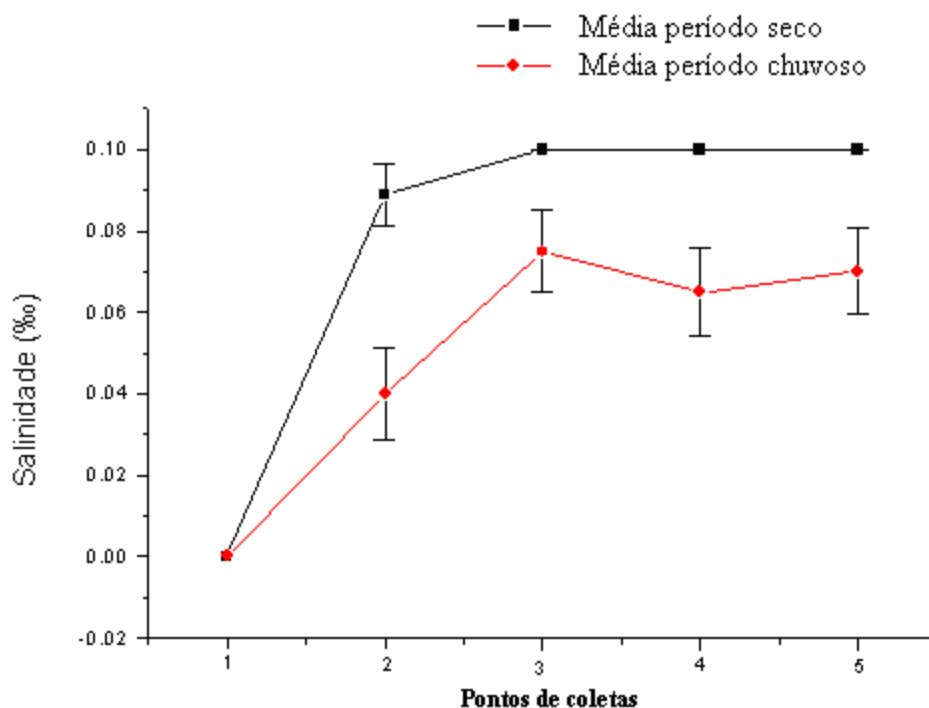


Figura 24. Variação espaço-temporal da salinidade (%) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir dos resultados encontrados foi realizada a análise da variância fatorial para a variável dependente salinidade, cujos resultados se encontram na Tabela 58.

Tabela 58. Análise da variância dos valores de salinidade para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	0,033	0,033	31,22	0,0001
Pontos de coletas	4	0,206	0,052	48,61	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	0,012	0,003	2,87	0,0245
Resíduo	180	0,191	0,001		
Total	189	0,442			

Da análise da variância conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey, nos resultados obtidos (Tabela 59), verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas e que o maior valor encontrado ocorreu no período chuvoso.

Tabela 59. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos períodos para a salinidade.

Períodos	Média	Grupo de Tukey
2	0,077	A
1	0,051	B

Para o fator Pontos de coletas, ao nível de 5% de significância, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 60), observa-se que o ponto com valor inferior diferindo dos demais pontos.

Tabela 60. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos Pontos de coletas para salinidade.

Pontos de coletas	Média	Grupo de Tukey
3	0,087	A
5	0,084	A
4	0,082	A B
2	0,063	B
1	0,000	C

4.1.17 Fluoreto

Na Resolução 357 (CONAMA, 2005), para rios de classe 2, o limite definido para fluoretos é de $1,4\text{mgF L}^{-1}$. Conforme os resultados observados na Tabela 61 não ultrapassaram a este valor, quanto a este parâmetro, o rio Corumbataí pode ser enquadrado dentro da classe 2.

Pesquisas realizadas por Mirlean et al. (2002), demonstraram que o flúor é amplamente conhecido como poluidor do ambiente e entre suas fontes estão as fábricas de fertilizantes. As indústrias produtoras de revestimentos também são as grandes fontes de flúor no ambiente, como já foi constatado no estado de Santa Catarina e agora também no interior do estado de São Paulo, principalmente nesta bacia em estudo onde fica o Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes, como é conhecido o aglomerado de indústria do ramo instalado nesse município e em outros de sua proximidade. Nessa região, a poluição por fluoreto nos diferentes meios como: ar, águas, plantas e solos começa a ser algo do interesse científico. A maioria desses estudos aborda os efeitos das emissões industriais sobre o desenvolvimento de plantas terrestres através de biomonitoramentos da qualidade do ar, no entanto, poucos são aqueles que tratam da distribuição de flúor no solo, nas águas subterrâneas e nas precipitações atmosféricas. Esta natureza de estudo é de grande importância uma vez que a poluição da atmosfera por fluoreto propaga-se por grandes extensões. Essa distribuição também depende da direção do vento no momento que se inicia a chuva e ainda, que as emissões das fábricas são as principais fontes dessa poluição (FAHL, 2003)

Nos locais mais afastados das fábricas, as concentrações de flúor na água da chuva podem atingir valores que superam muitas vezes o teor de “background”. A lixiviação de fluoreto pelas chuvas provoca o aumento dos seus teores na água subterrânea e, de modo geral, determina que a sua concentração se relacione com a distância das fontes de poluição, e talvez, pela influência das emissões de esgotos domésticos e invasão das águas do sistema estuarino, essas concentrações não apresentam uma distribuição de maneira gradiente da contaminação por fluoreto

Tabela 61. Variação espaço-temporal do fluoreto (mgF L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	0,01	0,23	0,27	0,18	0,15
Nov/00	2	nd	0,01	0,01	0,01	0,02
Dez/00	2	0,04	0,11	0,21	0,18	0,13
Jan/01	2	0,17	0,12	0,19	0,16	0,17
Fev/01	2	nd	0,1	0,34	0,18	0,11
Mar/01	2	0,21	0,22	0,35	0,28	0,2
Abr/01	1	0,39	nd	nd	nd	nd
Mai/01	1	nd	nd	nd	nd	nd
Jun/01	1	nd	nd	nd	nd	nd
Jul/01	1	0,1	0,19	0,39	0,17	0,18
Ago/01	1	0,06	0,12	0,24	0,18	0,26
Set/01	1	0,02	0,17	0,23	0,25	0,17
Out/01	2	0,01	0,21	0,25	0,21	0,16
Nov/01	2	0,01	0,05	0,11	0,06	0,09
Dez/01	2	nd	0,05	nd	nd	nd
Jan/02	2	nd	0,03	0,01	nd	0,15
Fev/02	2	nd	nd	nd	nd	nd
Mar/02	2	nd	nd	0,28	0,07	0,08
Abr/02	1	nd	0,1	0,16	0,08	0,09
Mai/02	1	nd	0,07	0,09	0,08	0,07
jun/02	1	0,38	nd	0,13	nd	0,02
Jul/02	1	nd	0,05	0,06	0,06	0,07
Ago/02	1	0,03	0,13	0,26	0,17	0,21
Set/02	1	nd	0,15	0,27	0,19	0,22
Out/02	2	nd	0,06	0,24	0,2	0,14
Nov/02	2	nd	nd	nd	nd	nd
Dez/02	2	0,02	0,12	0,21	0,18	0,13
Jan/03	2	0,09	0,13	0,19	0,16	0,17
Fev/03	2	0,08	0,18	0,27	0,24	0,19
Mar/03	2	0,02	0,13	0,30	0,19	0,31
Abr/03	1	nd	0,02	0,09	0,04	0,02
Mai/03	1	0,09	0,18	0,30	0,18	0,27
Jun/03	1	0,01	0,14	0,18	0,19	0,15
Jul/03	1	0,0	0,26	0,26	0,20	0,20
Ago/03	1	nd	0,15	0,28	0,16	0,18
Set/03	1	0,14	0,36	0,21	0,22	0,45
Out/03	2	0,0	0,12	0,34	0,16	0,26
Nov/03	2	nd	nd	nd	0,21	0,35

Os resultados das médias dos valores de fluoreto para os períodos seco e chuvoso se encontram na figura 25.

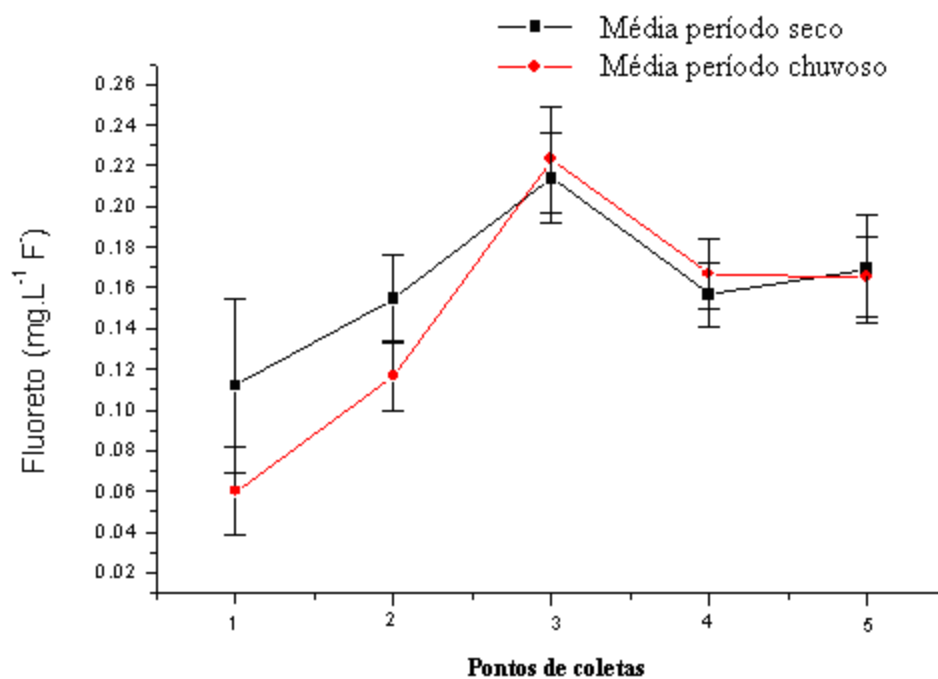


Figura 25. Variação espaço-temporal do fluoreto (mgF L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir dos resultados encontrados no período estudado foi realizada a análise da variância fatorial para a variável dependente fluoreto, cujos resultados se encontram na tabela 62.

Tabela 62. Análise da variância dos valores de fluoreto para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	0,005	0,005	0,66	0,4192
Pontos de coletas	4	0,229	0,057	7,04	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	0,026	0,006	0,79	0,5331
Resíduo	134	1,088	0,008		
Total	143	1,348			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças. Para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 63), observa-se que os pontos 3 e 4 com maiores níveis diferindo dos demais pontos.

Tabela 63. Resultados da aplicação do Teste de Tukey, nos pontos de coletas para fluoreto.

Pontos de coletas	Média	Grupo de Tukey
3	0.2	A
4	0.16	A
2	0.14	B
5	0.14	B
1	0.06	B

4.1.18 Sulfato

A origem de sulfatos nas águas pode ser urinas humanas e altas concentrações destes íons costumam causar efeitos laxantes nos seres humanos. O sulfato de alumínio é o reagente usual nos tratamentos das águas nas ETAS. A Resolução 357 (CONAMA 2005) fixou em $250\text{mgSO}_4 \text{ L}^{-1}$ a concentração limite nas águas de classes 1 a 3. Nos resultados apresentados na Tabela 64, observa-se que nos diferentes pontos de coletas no rio Corumbataí, este limite ainda não foi ultrapassado. Ao contrário, valores na faixa de 10% dos valores indicados pela resolução foram mais freqüentes.

Verifica-se decréscimo das concentrações de sulfato a partir de 2000, em todos os pontos de coletas, mesmo no P1 a montante da área urbana do município de Rio Claro, todavia em 2003 estes valores sofreram consideráveis acréscimos, principalmente nos P3 e P4. Estes resultados não puderam ser comparados com aqueles obtidos em anos anteriores para os mesmos pontos de coletas, pois a concentração de sulfato não foi determinada por Palma-Silva e Tauk-Tornisielo (2001).

Tabela 64. Variação espaço-temporal do sulfato ($\text{mgSO}_4 \text{ L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	6,0	6,0	21,0	25,0	21,0
Nov/00	2	9,0	15,0	25,0	25,0	25,0
Dez/00	2	8,0	12,0	30,0	20,0	23,0
Jan/01	2	9,0	9,0	22,0	16,0	15,0
Fev/01	2	8,0	8,0	26,0	36,0	25,0
Mar/01	2	7,0	6,0	30,0	29,0	26,0
Abr/01	1	1,0	30	27,0	28,0	26,0
Mai/01	1	1,0	8,0	30,0	20,0	21,0
Jun/01	1	4,0	9,0	23,0	14,0	14,0
Jul/01	1	2,0	1,0	26,0	13,0	17,0
Ago/01	1	6,0	10,0	24,0	26,0	21,0
Set/01	1	6,0	10,0	27,0	29,0	19,0
Out/01	2	6,0	7,0	22,0	23,0	19,0
Nov/01	2	4,0	13,0	23,0	25,0	24,0
Dez/01	2	1,0	7,0	19,0	20,0	21,0
Jan/02	2	1,0	1,0	11,0	19,0	18,0
Fev/02	2	1,0	1,0	12,0	9,0	8,0
Mar/02	2	7,0	8,0	15,0	19,0	16,0
Abr/02	1	4,0	1,0	10,0	19,0	19,0
Mai/02	1	2,0	5,0	25,0	17,0	30,0
jun/02	1	3,0	0,0	31,0	18,0	12,0
Jul/02	1	nd	1,0	12,0	8,0	7,0
Ago/02	1	4,0	10,0	22,0	27,0	19,0
Set/02	1	nd	nd	16,0	12,0	11,0
Out/02	2	2,0	9,0	26,0	17,0	16,0
Nov/02	2	6,0	13,0	39,0	22,0	21,0
Dez/02	2	nd	nd	30,0	25,0	21,0
Jan/03	2	23,0	21,0	28,0	33,0	33,0
Fev/03	2	4,0	nd	31,0	23,0	24,0
Mar/03	2	2,0	7,0	32,0	22,0	20,0
Abr/03	1	0,0	9,0	18,0	15,0	16,0
Mai/03	1	2,0	10,0	24,0	16,0	14,0
Jun/03	1	2,0	28,0	37,0	39,0	33,0
Jul/03	1	3,0	13,0	46,0	14,0	18,0
Ago/03	1	2,0	12,0	33,0	18,0	21,0
Set/03	1	1,0	13,0	28,0	20,0	18,0
Out/03	2	2,0	13,0	37,0	14,0	16,0
Nov/03	2	4,0	13,0	39,0	23,0	22,0

Os resultados das médias dos valores de sulfato para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 26.

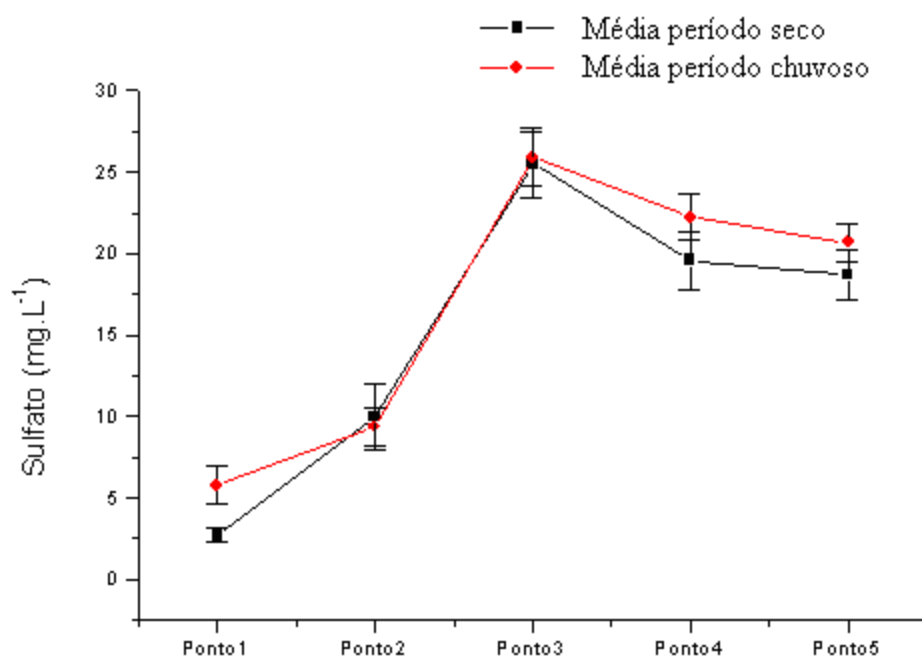


Figura 26. Variação espaço-temporal do sulfato (mg L^{-1}) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os resultados aqui obtidos foram analisados estatisticamente através da análise da variância fatorial para a variável dependente sulfato, cujos resultados se encontram na Tabela 65

Tabela 65. Análise da variância dos valores de sulfato para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= freqüência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	122,230	122,230	2,86	0,0929
Pontos de coletas	4	11138,764	2784,691	65,04	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	79,685	19,921	0,47	0,7611
Resíduo	174	7449,357	42,812		
Total	183	18790,038			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças. Para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 66), observa-se que o ponto 1 com maior valor e os pontos 4 e 5 com menores valores e demais valores em níveis intermediários.

Tabela 66. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o os pontos de coleta para o sulfato.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
2	3,51	A
1	3,03	B
3	2,15	C
4	2,02	D
5	1,92	D

4.2 Parâmetros biológicos

4.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Os resultados dos valores da demanda bioquímica de oxigênio se encontram na Tabela 67. Verifica o valor mínimo de 2,3 e o máximo de 43,1 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, respectivamente para P1 em maio de 2001 e P4 em julho desse mesmo ano. A Resolução 357 (CONAMA, 2005) definiu para corpo de água classe 2 como valor recomendado igual ou menor a 5,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. Pelo apresentado na Tabela 67 para os pontos P2 e P3 observa-se que durante os 33 meses de estudos realizados, ocorreram valores acima deste recomendado pela Resolução. No P1, a montante da área urbana do município de Rio Claro, somente em sete amostragens entre o número total de amostras, os valores foram iguais ou menores do que 5,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. Segundo a CETESB (1995) as águas com níveis de DBO_5 inferiores a 4,0 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ são consideradas razoavelmente limpas e com níveis superiores a 10,0 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ podem ser consideradas poluídas, por conterem grandes quantidades de matéria orgânica degradáveis. O acréscimo dos valores deste parâmetro nas águas do rio Corumbataí é resultante dos despejos de origem predominantemente orgânico. A presença de alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção de oxigênio na água, acarretando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Em 1997 na nascente do rio Corumbataí foi observado o valor médio de 7,7 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ e em 1998, 8,9 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, nos P1, P3 e P5, estes valores foram respectivamente de, 12,2 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ e 9,2; 21,6 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ e 12; e 18,5 e 12,3 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, todos eles acima do valor recomendado pela Resolução 357 (CONAMA, 2005).

Tabela 67. Variação espaço-temporal da demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_5 - \text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	Estações	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	2	19,2	24,6	24,2	25,8	28,4
Nov/00	2	3,9	7,3	9,4	8,7	9,5
Dez/00	2	9,2	10,1	13,1	11,1	12,1
Jan/01	2	8,3	11,6	13,3	10,4	11,2
Fev/01	2	4,3	6,9	12,1	4,9	11,6
Mar/01	2	5,0	5,7	13,4	11,1	6,8
Abr/01	1	15,8	18,1	22,1	21,7	20,1
Mai/01	1	2,3	9,7	7,0	7,0	8,4
Jun/01	1	n.d.	12,4	31,9	4,6	2,3
Jul/01	1	15,4	20,9	26,2	43,1	19,2
Ago/01	1	9,8	12,0	9,9	10,9	12,1
Set/01	1	9,1	15,3	14,3	11,6	12,3
Out/01	2	10,9	21,6	21,7	14,0	28,4
Nov/01	2	22,4	25,5	27,8	15,4	23,4
Dez/01	2	10,4	22,3	25,6	13,9	8,2
Jan/02	2	9,9	9,8	10,4	11,8	13,8
Fev/02	2	17,0	18,4	14,3	21,0	20,0
Mar/02	2	9,9	26,1	11,4	10,7	8,9
Abr/02	1	10,9	14,1	16,8	14,0	15,0
Mai/02	1	10,6	6,9	13,0	9,8	1,4
jun/02	1	9,5	16,0	20,2	12,6	14,2
Jul/02	1	4,2	11,2	26,5	10,4	11,4
Ago/02	1	11,4	20,0	17,9	19,7	19,7
Set/02	1	11,7	17,5	25,2	18,0	11,4
Out/02	2	11,7	15,0	16,1	18,5	18,5
Nov/02	2	11,0	16,2	18,5	16,1	19,3
Dez/02	2	6,5	9,9	13,5	11,3	13,1
Jan/03	2	9,2	11,6	10,9	2,4	14,0
Fev/03	2	14,6	16,0	15,4	15,0	16,2
Mar/03	2	3,1	6,8	8,6	6,1	7,3
Abr/03	1	5,9	9,4	9,8	7,6	11,2
Mai/03	1	15,7	13,9	27,0	16,0	19,4
Jun/03	1	6,7	13,0	19,1	10,8	15,2
Jul/03	1	3,5	14,3	15,7	11,2	13,8
Ago/03	1	2,1	9,4	12,7	12,9	8,2
Set/03	1	8,6	19,9	14,6	17,5	16,9
Out/03	2	5,8	14,0	16,8	10,4	10,2
Nov/03	2	9,3	15,9	25,9	16,7	17,9

Os resultados das médias dos valores da demanda bioquímica de oxigênio para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 27.

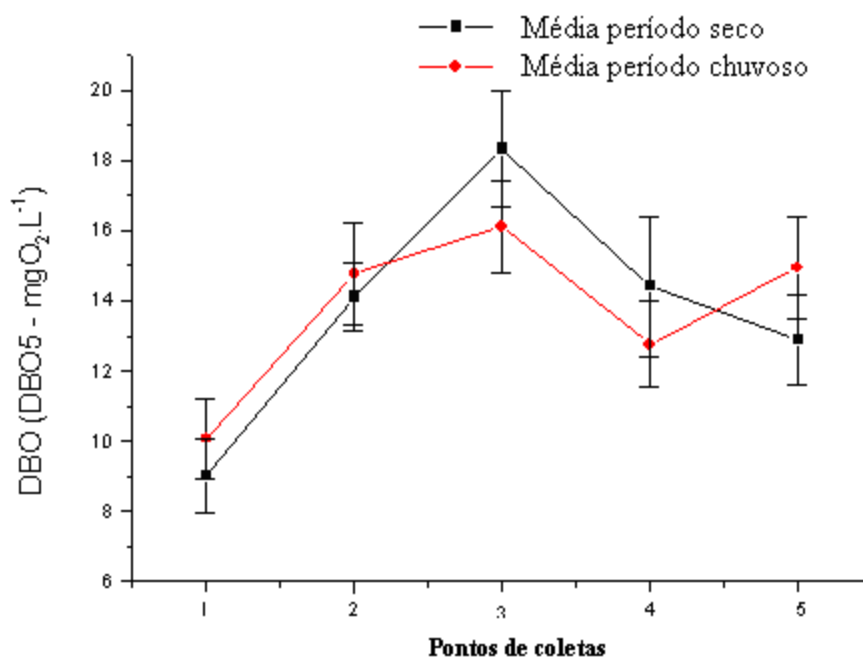


Figura 27. Variação espaço-temporal da demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_5 - \text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com a análise da variância fatorial, para a variável dependente DBO (Tabela 68).

Tabela 68. Análise da variância dos valores da DBO₅ para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	0.00520250	0.00520250	0.00	0.9904
Pontos de coletas	4	1106.31186191	276.57796548	7.66	0.0001
Períodos * Pontos de coletas	4	125.05271810	31.26317953	0.87	0.4859
Resíduo	180	6466.88333918	36.12783988		
Total	189	7698.25312169			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças. Para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o teste de Tukey (Tabela 69), observa-se que o P1 em nível inferior difere dos demais pontos.

Tabela 69. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator pontos de coletas para DBO₅.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
3	17,16	A
2	14,45	A
5	13,97	A
4	13,54	A
1	9,88	B

4.2.2. Coliformes totais.

As médias mais elevadas sempre foram encontradas no P2 e P2 e no período chuvoso (figura 26) em todo o período de estudo. Os resultados demonstram intervalo entre 410 e 2.419.200 NMP 100m L⁻¹ Os menores valores foram observados no P1 e os maiores, nos P2 e P3, logo após a área urbana de Rio Claro, como pode ser visto na

Tabela 70, que insere os valores encontrados para esse parâmetro durante a pesquisa, houve um decréscimo do número de coliformes totais, quando se comparam os resultados obtidos em 2000 com aqueles de 2002, nos P2, P3 e P4. Este fato não observado na foz do rio, ou seja, no P5. Este decréscimo pode ser resultado das instalações das ETEs no município de Rio Claro. Comparando-se os resultados obtidos em junho/2003 e julho deste mesmo ano, verifica-se uma razoável diminuição dos valores obtidos de coliformes totais nos P2, P4 e P5.

A Resolução 357 (CONAMA, 2005) estabeleceu limites para corpos de água da Classe 2, para este parâmetro de $5.000\text{NMP } 100\text{mL}^{-1}$, sendo que os resultados encontrados situaram sempre acima deste valor, excetuando nos P1 e P2. Em anos anteriores 1997 e 1998, sempre foram encontrados valores menores de coliformes totais em relação aos demais pontos de coletas na nascente do rio que fica a montante da área urbana do município de Analândia.

Os resultados das determinações dos valores de coliformes totais se encontram na Tabela 70.

Tabela 70. Variação dos números mais prováveis de coliformes totais (NMP/100mL), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 - chuvosa

Meses	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	>24.192	24.192	>24.192	17.329	>24.192
Nov/00	104.300	193.500	307.600	201.400	461.100
Dez/00	145.500	2.419.200	1.046.200	214.300	410.600
Jan/01	120.100	648.800	686.700	435.200	235.900
Fev/01	1.732.900	579.400	461.100	42.600	150.000
Mar/01	195.600	1.986.300	1.413.600	143.900	172.300
Abr/01	57.600	365.400	148.300	9.800	517.200
Mai/01	35.000	32.500	387.200	11.000	435.200
Jun/01	172.500	7.400	>2419,2	>2419,2	83.900
Jul/01	>241.920	57.940	>241.920	5.910	>241.920
Ago/01	64.880	>241.920	155.310	41.060	>241.920
Set/01	>241.920	241.920	241.920	9.070	241.920
Out/01	41.060	488.400	290.900	8.620	>241.920
Nov/01	72.700	1.119.900	275.500	21.300	816.400
Dez/01	54.750	2.419.200	547.500	104.620	241.920
Jan/02	20.850	2.29.400	104.700	238.100	261.300
Fev/02	104.620	410.600	920.800	155.300	153.900
Mar/02	68.670	344.800	285.100	78.000	156.500
Abr/02	410	6.200	11.000	2.000	27.550
Mai/02	98.040	>241.920	>241.920	98.040	19.830
jun/02	81.640	>241.920	>241.920	61.310	241.920
Jul/02	198.630	980.400	>241.920	68.670	>241.920
Ago/02	25.900	207.500	86.700	1.220	173.290
Set/02	66.300	307.600	547.500	38.730	307.600
Out/02	64.500	435.200	190.400	18.420	241.920
Nov/02	155.310	461.100	920.800	238.200	285.100
Dez/02	77.010	275.500	816.400	88.200	325.500
Jan/03	290.900	155.300	172.200	241.920	>241.920
Fev/03	155.310	547.500	238.200	68.670	142.300
Mar/03	198.630	980.400	770.100	198.630	241.920
Abr/03	129.970	22.600	601.500	35.780	241.920
Mai/03	54.750	1.119.000	435.200	23.100	>241.920
Jun/03	57.940	1.299.700	>241.920	48.840	198.630
Jul/03	>24.192	62.910	224.700	7.701	81.300
Ago/03	98.040	866.400	721.500	32.410	129.970
Set/03	29.090	1.119.000	156.500	17.890	241.920
Out/03	64.880	285.100	410.600	17.820	>241.920
Nov/03	141.360	1.986.300	920.800	107.900	517.200

Os resultados das médias dos valores de coliformes totais para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 28.

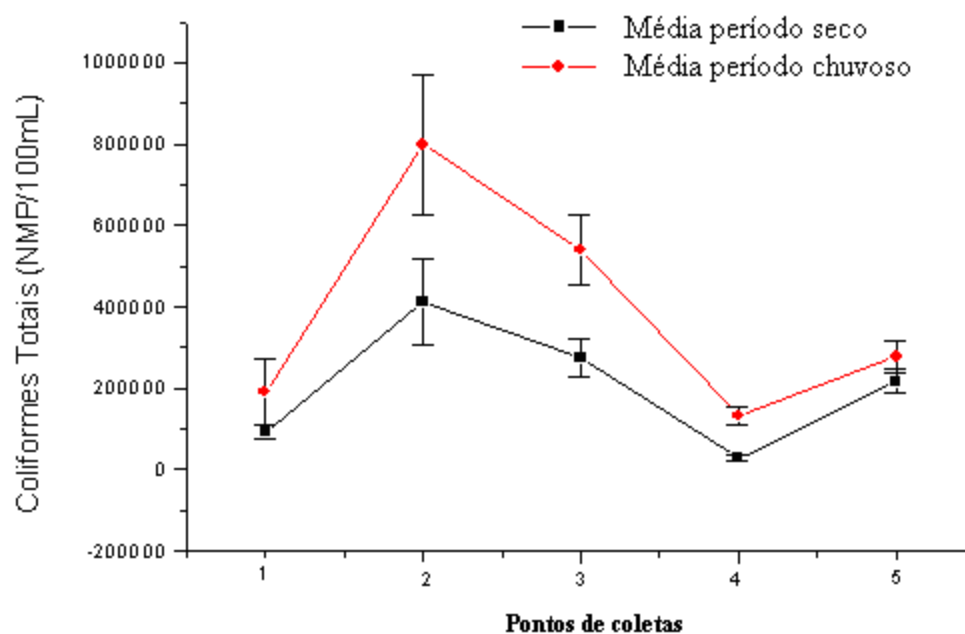


Figura 28. Variação dos números mais prováveis de coliformes totais (NMP/100mL) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

Os resultados foram analisados através da análise de variância fatorial para a variável dependente coliformes totais (Tabela 71).

Tabela 71. Análise da variância dos valores coliformes totais para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1 = seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	1590696590678,72	1590696590678,72	13,10	0,0004
Pontos de coletas	4	6951778570103,4	1737944642525,85	14,32	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	736514202851,55	184128550712		
Resíduo	180	21851694383851,5	121398302132,508		
Total	189	31130683747485,2			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, houve diferenças. Aplicando-se o teste de Tukey, nos resultados obtidos (Tabela 72), verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas e que o maior valor encontrado ocorreu no período chuvoso.

Tabela 72. Resultados da aplicação do Teste de Tukey nos períodos, para coliformes totais

Períodos	Média	Grupo de Tukey
2	388309	A
1	205056	B

Para o fator pontos de coletas, ao nível de 5% de significância, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 73), observa-se que os pontos 2 e 3 com maior concentração diferindo dos demais pontos.

Tabela 73. Resultados da aplicação para o fator pontos de coletas do Teste de Tukey para o estudo dos coliformes totais.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
2	616113,73	A
3	414019,50	A
5	242066,00	B
1	145049,05	B

4.2.3 *Escherichia coli*.

Os resultados encontrados nos pontos de coleta estudados no rio Corumbataí estão detalhados na Tabela 74. A Resolução 357/05 do CONAMA (2005) estabeleceu limites para corpos de água classe 2, o valor de até 1.000 *E. coli* 100mL⁻¹ e para coliformes totais de 5.000NMP 100mL⁻¹, sendo que os resultados aqui encontrados situaram sempre acima deste primeiro valor, excetuando nos pontos P1 e P2, no mês de abril/2002.

Estudos realizados em 1997 e 1998 demonstraram que somente na nascente do rio Corumbataí o índice deste parâmetro foi inferior ao valor recomendado pela atual Resolução CONAMA 357 (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001). Comparando-se esses resultados com aqueles citados na Tabela 21, pode ser observado que no P1 está ocorrendo um aumento do valor deste parâmetro de 1998 até 2003 (figura 29). As médias encontradas nos P1, P3 e P5 nos anos de 1997 e 1998 foram, respectivamente, de 10.800 e 8.800; 77.633 e 31.433; e 71.600 e 18.000NMP 100mL⁻¹, também muito acima do limite estabelecido para rios de classe 2, pela Resolução supra citada.

Tabela 74. Variação dos números mais prováveis de *Escherichia coli* (NMP/100mL), de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz. Estações: 1 – seca e 2 – chuvosa.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5
Out/00	9208	19863	>24192	345	>24192
Nov/00	6300	2400	13100	8400	14500
Dez/00	9600	83900	71200	8600	39300
Jan/01	8500	37300	61700	19900	29500
Fev/01	46000	48800	43200	2000	30900
Mar/01	nd	146700	95900	8600	24300
Abr/01	2000	27200	14600	866,4	43500
Mai/01	4000	24200	18500	2000	37200
Jun/01	12200	>2419,2	>2419,2	>2419,2	2000
Jul/01	37840	8860	129970	850	41060
Ago/01	9840	27550	14670	2690	48840
Set/01	8800	173290	155310	610	72700
Out/01	3.210	104.600	51.200	100	81.400
Nov/01	5.040	184.200	50.400	0	139.600
Dez/01	9.330	261.300	85.700	4.570	64.880
Jan/02	1.120	57.200	28.100	18.800	17.600
Fev/02	3.840	52.000	90.700	13.200	5.200
Mar/02	8.820	38.400	34.100	7.200	13.500
Abr/02	630	1.000	3.100	1.000	2.590
Mai/02	6.630	72.700	77.010	6.050	28.510
jun/02	3.640	61.310	81.640	1.990	54.750
Jul/02	8.050	38.400	241.920	1.090	48.840
Ago/02	116.300	173.300	48.100	100	72.700
Set/02	14.500	48.700	49.600	2.130	20.100
Out/02	4.100	113.700	52.000	1.340	21.430
Nov/02	8.130	46.200	76.300	23.300	35.400
Dez/02	9.070	28.800	59.100	12.100	37.900
Jan/03	5.200	13.200	16.100	13.740	12.950
Fev/03	9.850	106.700	49.600	4.810	22.300
Mar/03	14.390	139.600	83.600	10.900	92.080
Abr/03	9.330	4.100	40.800	2.780	48.840
Mai/03	8.090	91.100	87.600	2.980	46.840
Jun/03	8.160	122.200	>241.920	3.320	38.730
Jul/03	8.664	12.280	51.200	321	12.100
Ago/03	18.540	194.300	165.300	200	43.740
Set/03	1.990	106.700	29.500	630	26.130
Out/03	9.090	72.700	112.600	520	61.310
Nov/03	10.140	80.900	68.900	10.900	43.200

Os resultados das médias dos valores de *Escherichia coli* para os períodos seco e chuvoso se encontram na Figura 29.

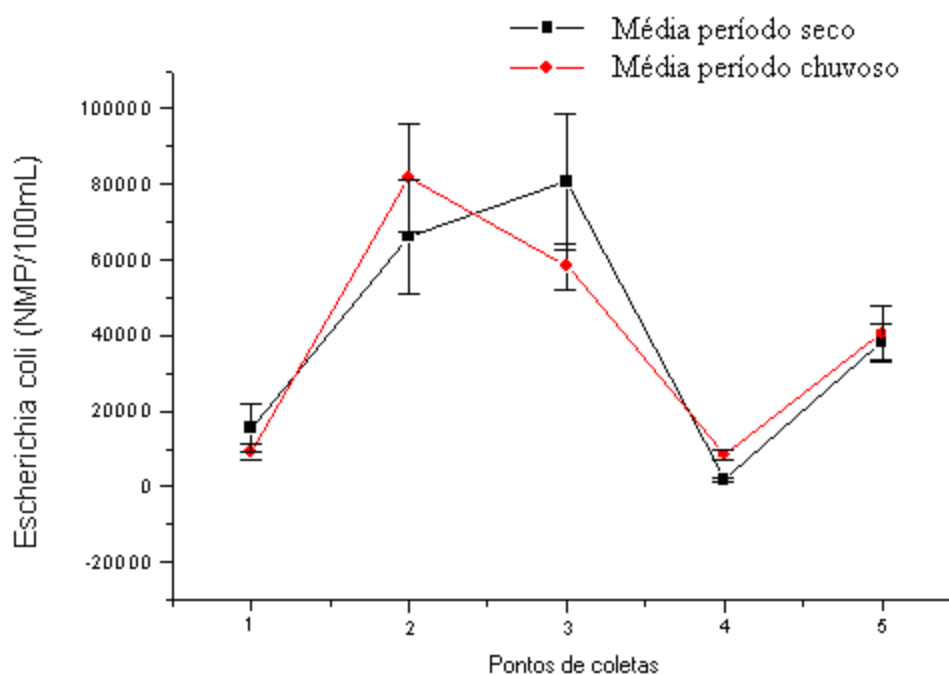


Figura 29. Variação dos números mais prováveis de *Escherichia coli* (NMP/100mL) de outubro 2000 a novembro 2003, nos Pontos de coleta: 1-jusante ETA Rio Claro, 2-montante Rio Claro, 3-Assistência, 4-ETA-Piracicaba, 5-Foz.

A partir destes valores foi realizada a análise da variância fatorial para a variável dependente *Escherichia coli* (Tabela 75)

Tabela 75. Análise da variância dos valores *Escherichia coli* para o modelo fatorial, considerando como fatores de variação Pontos de coletas (P1, P2, P3, P4 e P5) e Períodos (1= seco e 2 = chuvoso), no rio Corumbataí, durante os meses de out/00 a nov/03. Legenda: GL= grau de liberdade; SQ= desvio padrão; QM= quadrado médio; F= frequência da distribuição; Pr= probabilidade.

Causas Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Períodos	1	7552727,036	7552727,036	0,00	0,9469
Pontos de coletas	4	149424088001,565	37356022000,391	22,00	0,0001
Períodos * Pontos de coletas	4	7643705847,523	1910926461,880	1,13	0,3461
Resíduo	179	303995453821,75	1698298624,702		
Total	188	461070800397,874			

Da análise da variância, conclui-se que para o fator períodos, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças. Para o fator pontos de coletas, houve diferenças, aplicando o Teste de Tukey (Tabela 76), observa-se os pontos 2 e 3 com concentrações maiores diferindo dos demais pontos.

Tabela 76. Resultados da aplicação para o fator Pontos de coletas do Teste de Tukey para o estudo da *Escherichia coli*.

Pontos	Média	Grupo de Tukey
2	74422,95	A
3	68969,76	A
5	39381,40	B
1	12436,27	B C
4	6278,24	B C

4.3 Modelos estatísticos e a poluição ambiental

Tendências da qualidade das águas em um determinado trecho do rio Corumbataí

Os dados serão apresentados para ajuste do modelo matemático com o intuito de inferir sobre as previsões futuras dos mesmos, optando-se por utilizar somente dois parâmetros estudados para verificar a qualidade das águas dos pontos de coletas aqui utilizados no rio Corumbataí. Estes foram OD e pH por terem apresentado um grau de aderência mais significativo do que os demais, além de suas próprias importâncias na determinação da qualidade das águas.

4.3.1 Oxigênio Dissolvido

A análise de séries temporais parte da idéia de que qualquer série observada pode ser interpretada como uma realização de um processo estocástico, ou mecanismo gerador de dados desconhecido. Procura-se então, construir um modelo que represente uma aproximação ao verdadeiro. Para a previsão de tendência do OD no P1, empregou-se a abordagem de Box-Jenkins, como segue.

A identificação da ordem da equação ARIMA foi obtida observando-se as funções de auto correlação e auto correlação parcial, embora devido ao número de dados as funções não puderam contribuir satisfatoriamente para a identificação do modelo, sendo que este foi estabelecido, principalmente com as tentativas e erros, trabalhando-se com as várias possibilidades. O roteiro seguido foi:

1. Quando da escolha em utilizar as funções de auto correlação e de auto correlação parcial, tinha-se a idéia por onde iniciariam as tentativas de modelagem.
2. Cada modelo gerado sofreu uma inspeção visual comparando-se os dados reais com aqueles obtidos pelo modelo ARIMA. Caso o perfil dos dados obtidos pelo modelo não estivesse satisfatório uma nova tentativa foi realizada, modificando-se os parâmetros p , d , q .

3. Quando o padrão visual apresentou-se satisfatório, foram usados os parâmetros obtidos pelo modelo ARIMA na equação que descreve os dados e seus respectivos erros, sendo desprezados os modelos que apresentaram erros superiores a 25%.
4. Após a construção do modelo mais adequado foi definida a previsão futura dos parâmetros oxigênio dissolvido e pH.

4.3.1.1 Ponto de coleta 1 (P1) – ETA 2 a montante da área urbana do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 236443 e Y 7528966; altitude 415m).

Para este Ponto de coleta, o modelo que melhor descreveu o conjunto de dados foi o modelo ARIMA (0,2,2). A tabela 77 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 77: Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2)

<i>Coefficientes</i>	θ_1	θ_2
Valores	1,49	0,49
Desvio Padrão	0,22	0,11

Pode-se observar na Tabela 77 que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (0,2,2) foi aquele que melhor descreveu o conjunto de dados obtidos quanto ao OD. A concentração de OD no P1 obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (0,2,2). A Figura 30 mostra as concentrações de OD no P1 obtidas experimentalmente, comparadas com as concentrações obtidas via a equação ARIMA (0,2,2). Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta satisfatórios, o que ajuda a validar o modelo.

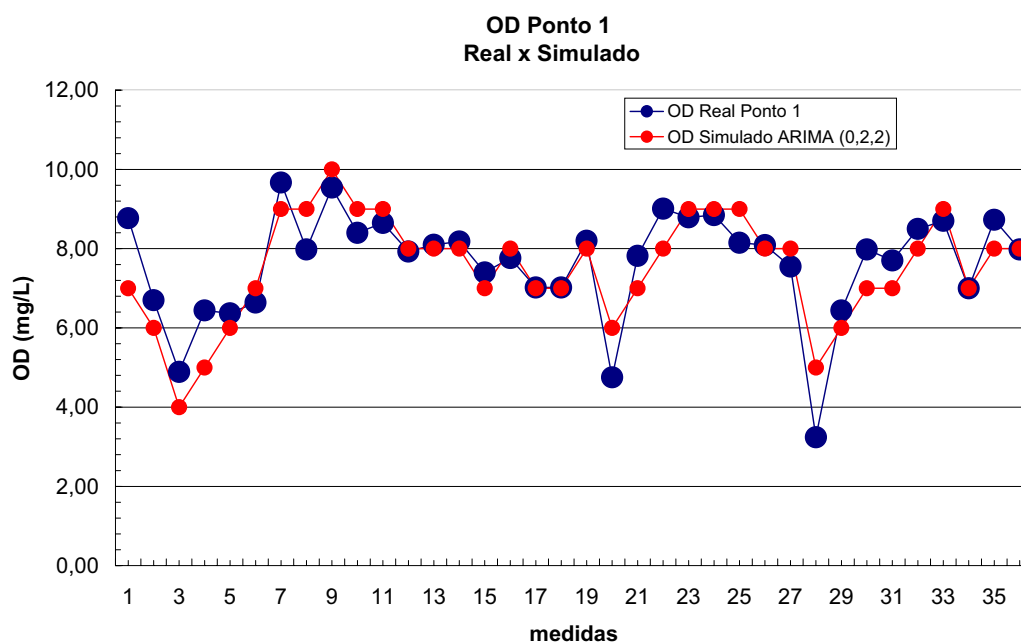


Figura 30. Concentração de OD no P1 obtida experimentalmente e concentrações de OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).

O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de OD no P1, representada na Figura 31.

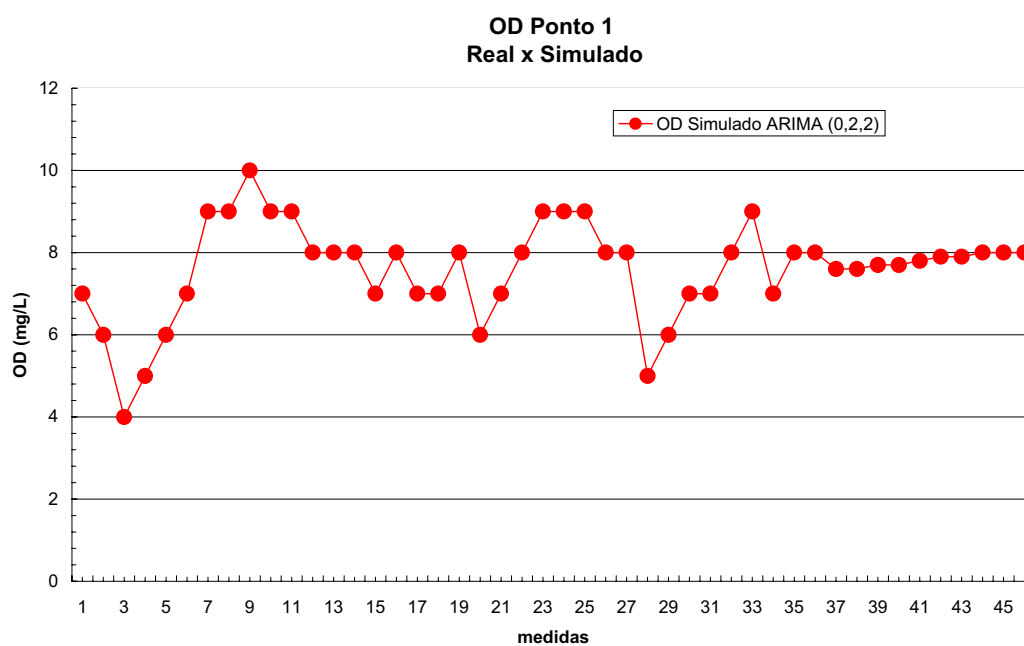


Figura 31 Estimativa de tendência para o OD no P1 para os próximos três anos.

Após a extrapolação do modelo, foi obtida a curva de tendência para a concentração de OD no P1. Pode-se observar que a média das concentrações de OD obtida tende a permanecer constante ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de que o modelo obtido apresenta baixos índices de erros, o que torna a tendência obtida confiável.

4.3.1.2 Ponto de coleta 2 (P2) – Ponto de coleta de amostras de águas localizado na Usina da CESP, a jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 233366 e Y 7511786; altitude 380m).

Para o P2 o modelo que melhor descreveu o conjunto de dados foi o modelo ARIMA (0,2,2). A Tabela 78 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 78. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2)

<i>Coefficientes</i>	θ_1	θ_2
Valores	1,36	0,36
Desvio Padrão	0,19	0,08

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (0,2,2) é o que melhor descreve o conjunto de dados obtidos neste estudo. A concentração de OD no P2 obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (0,2,2). A Figura 32 mostra as concentrações de OD no ponto de coleta P2 obtidas experimentalmente, comparadas com aquelas obtidas através da equação ARIMA (0,2,2).

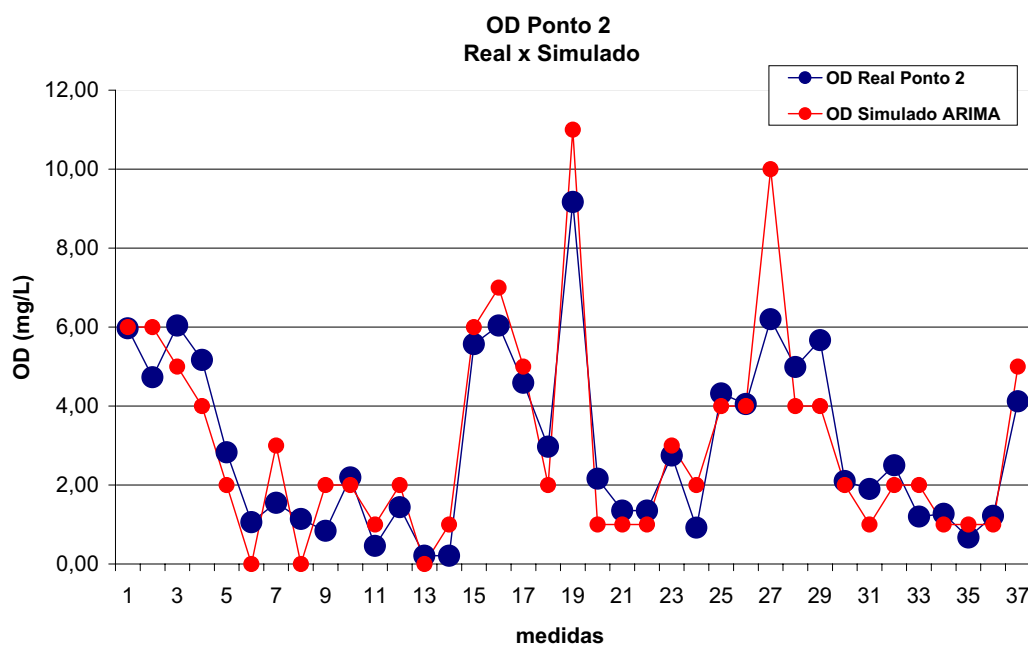


Figura 32. Concentração de OD no P2 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo apresentou ser satisfatório, o que auxilia a validar o modelo. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de OD no P2, apresentada na Figura 33.

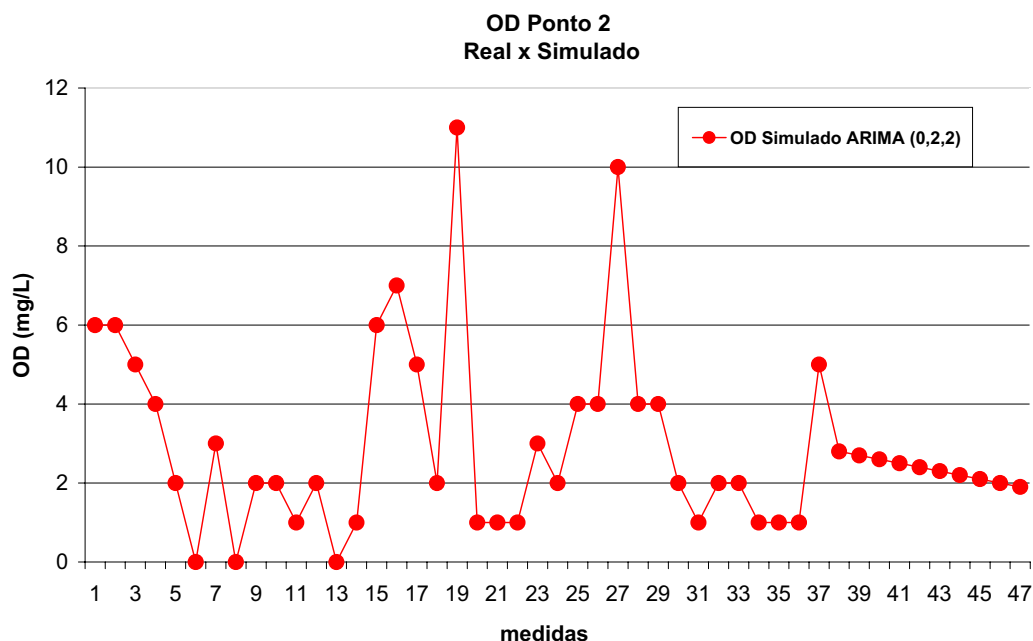


Figura 33. Estimativa de tendência para o OD para os próximos três anos.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de OD no P2. Pode-se observar que a média das concentrações de OD obtida tende a diminuir ao longo do tempo (próximos três anos). Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros o que torna a tendência obtida confiável.

Conclui-se que enquanto no P1 as quantidades de OD poderá ser constante nos próximos anos, o mesmo não acontecerá para o P2, portanto, necessitando os responsáveis pela gestão hídrica do município de Rio Claro tomarem providências imediatas para desenvolverem ações quanto à melhoria da qualidade das águas no mesmo.

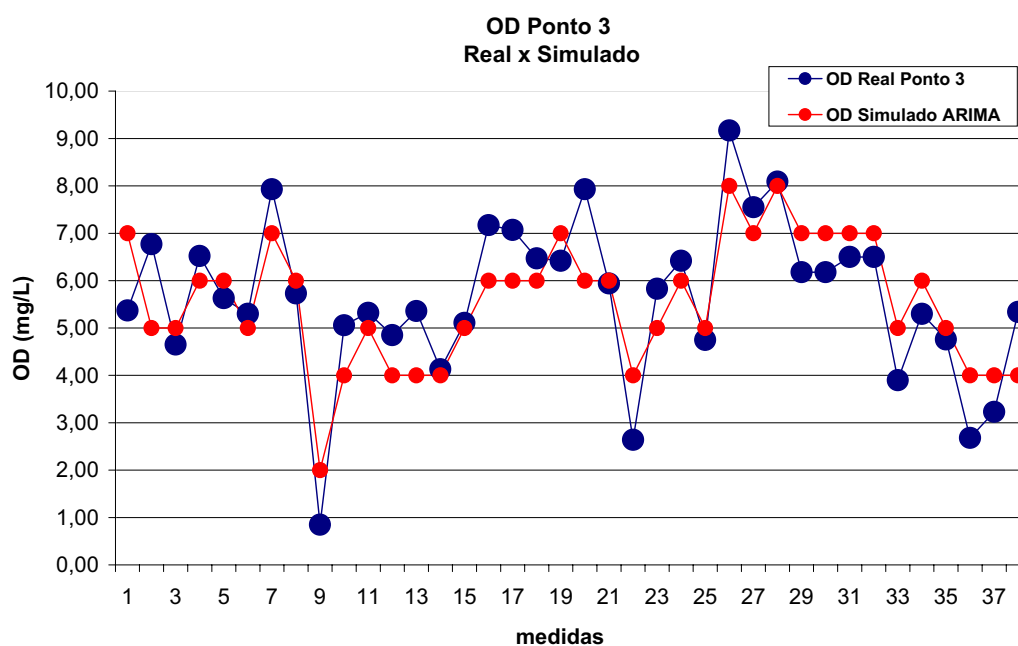
4.3.1.3 Ponto 3 (P3) – Assistência, jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 230064 e Y 7507759; altitude 340m)

Para o P3 o modelo que melhor descreveu o conjunto de dados foi o modelo ARIMA (0,2,2), semelhantemente aos demais pontos acima citados. A tabela 79 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 79. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2)

<i>Coefficientes</i>	θ_1	θ_2
Valores	1,62	0,62
Desvio Padrão	0,20	0,14

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos foram pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (0,2,2) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados obtidos de OD no P3. A concentração de OD no P3 obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (0,2,2). A Figura 34 mostra as concentrações de OD no P3 obtidas experimentalmente, comparadas com aquelas obtidas através da equação ARIMA (0,2,2).

**Figura 34.** Concentração de OD no P3 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e aqueles gerados pelo modelo utilizado se apresenta satisfatório, o que ajuda a validar o

modelo. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de OD no P3. A tendência é apresentada na figura 35.

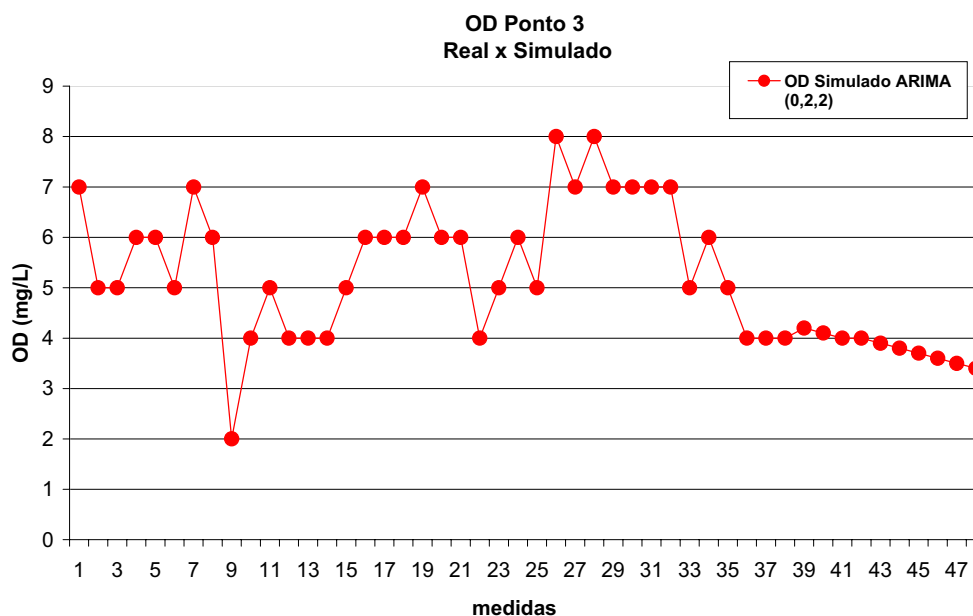


Figura 35. Estimativa de tendência para o OD para os próximos 3 anos.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de OD no P3. Pode-se observar que a média das concentrações de OD obtida tende a diminuir ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros o que torna a tendência obtida confiável.

Assim como no P2, nos próximos anos há uma tendência de que a quantidade de OD decresça na área do distrito de Ajapi, aonde além da predominância da cultura de cana-de-açúcar, o desmatamento e o uso da terra por proprietários de pequenas chácaras sem qualquer conscientização sobre a conservação ambiental, vêm contribuindo para a crescente poluição do rio Corumbataí. Este P3 também sofre ação direta das ações urbanas de Rio Claro e de forma indireta do município de Santa Gertrudes.

4.3.1.4 Ponto 4 (P4) – Captação de água do SEMAE, município de Piracicaba (coordenadas UTM X 224804 e Y 7494646; altitude 320m).

Para o P4 o modelo que melhor descreveu o conjunto de dados foi o modelo ARIMA (0,2,2), semelhantemente aos demais pontos acima citados. A tabela 80 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 80. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2)

<i>Coefficientes</i>	θ_1	θ_2
Valores	1,53	0,56
Desvio Padrão	0,35	0,13

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos foram pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (0,2,2) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados obtidos de OD no P4. A concentração de OD no P4 obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (0,2,2). A figura 36 mostra as concentrações de OD no P4 obtidas experimentalmente, comparadas com aquelas obtidas através da equação ARIMA (0,2,2)

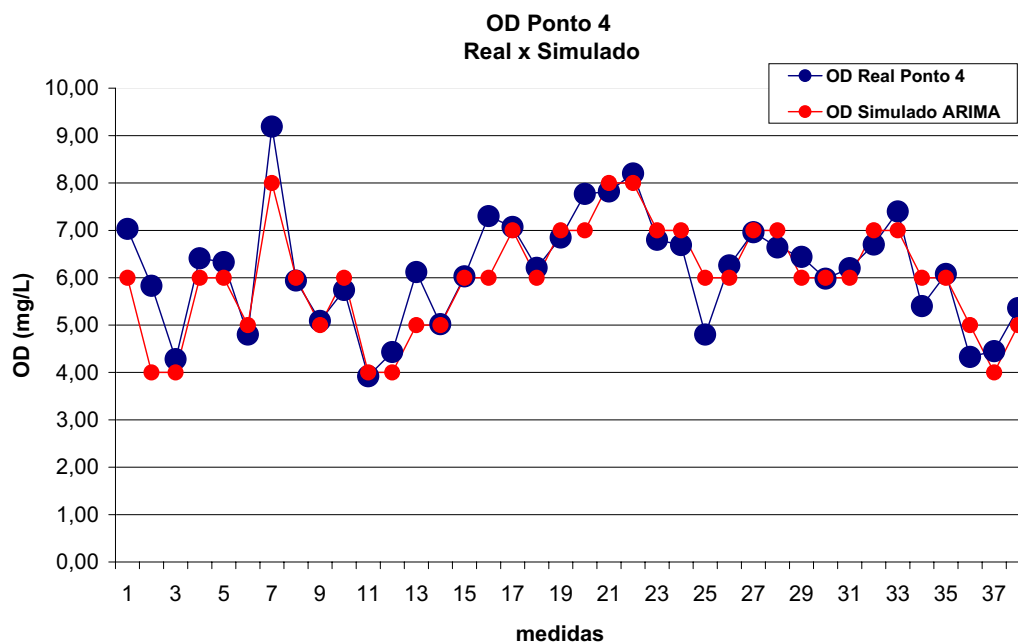


Figura 36. Concentração de OD no P4 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de OD no P4 (Figura 37). Pode-se observar que a média das concentrações de OD obtida tende a diminuir ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros o que torna a tendência obtida confiável.

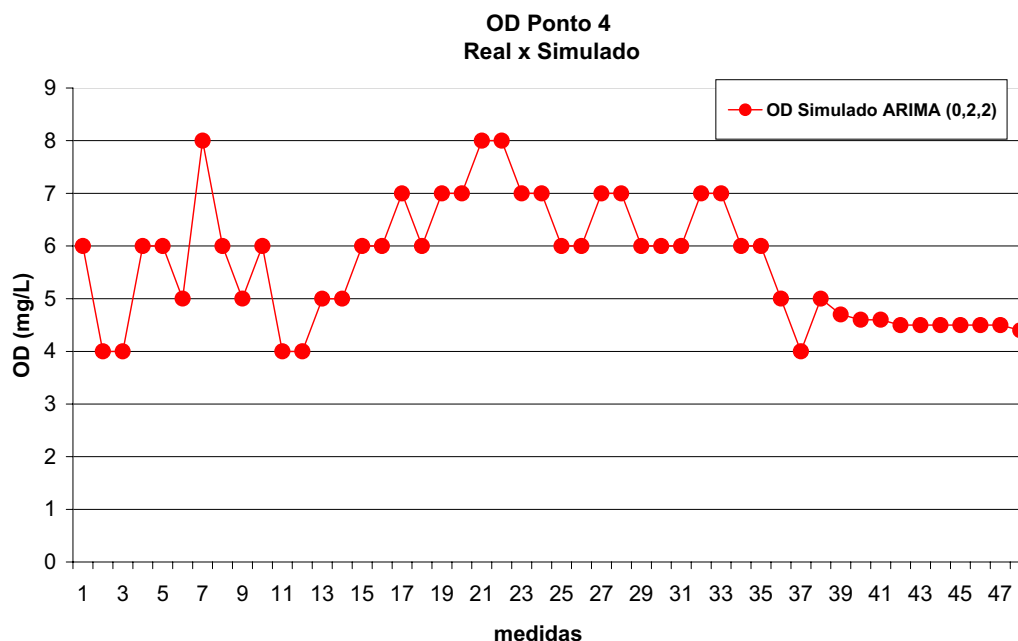


Figura 37. Estimativa de tendência para o OD para os próximos 3 anos no P4.

Ainda no P4, apesar de estar localizado no município de Piracicaba, verifica-se uma tendência de decréscimo de OD nos próximos anos, devido a todas ações antrópicas indevidas a sua montante e demonstra preocupação para a gestão de recursos hídricos de Piracicaba, pois, atualmente esse município utiliza as águas do rio Corumbataí para 100% de seu consumo humano.

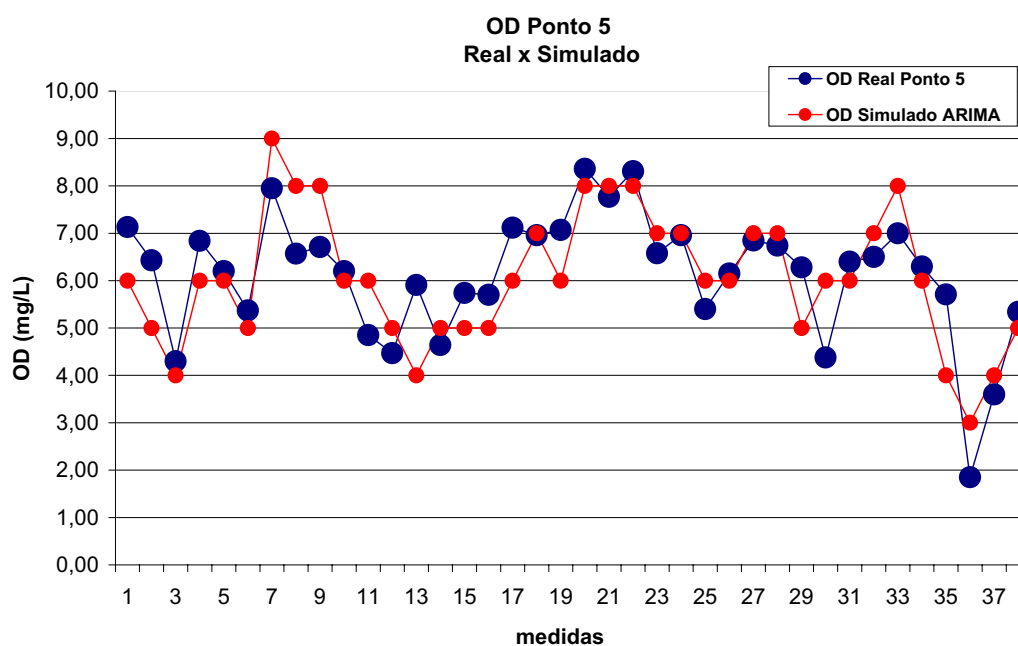
4.3.1.5 Ponto 5 (P5)– Município de Piracicaba, 1km da foz do rio Corumbataí no rio Piracicaba (coordenadas UTM X 224987 e Y 7488846; altitude 310m).

Para o P5, o modelo ARIMA (0,2,2) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados sobre as quantidades de OD. A Tabela 81 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 81. Parâmetros da equação ARIMA (0,2,2)

<i>Coefficientes</i>	θ_1	θ_2
Valores	1,50	0,49
Desvio Padrão	0,26	0,12

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, o que confirma que o modelo que melhor descreveu o conjunto de dados é o ARIMA (0,2,2). A concentração de OD no P5, obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí pode ser representada por um modelo ARIMA (0,2,2). A Figura 38 mostra as quantidades de OD no P5 obtidas experimentalmente, comparadas com aquelas obtidas através da equação ARIMA (0,2,2).

**Figura 38.** Concentração de OD no P5 obtida experimentalmente e concentrações OD obtida via equação ARIMA (0,2,2).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta satisfatório, o que ajuda a validar o modelo. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de OD no P5, apresentada na Figura 39.

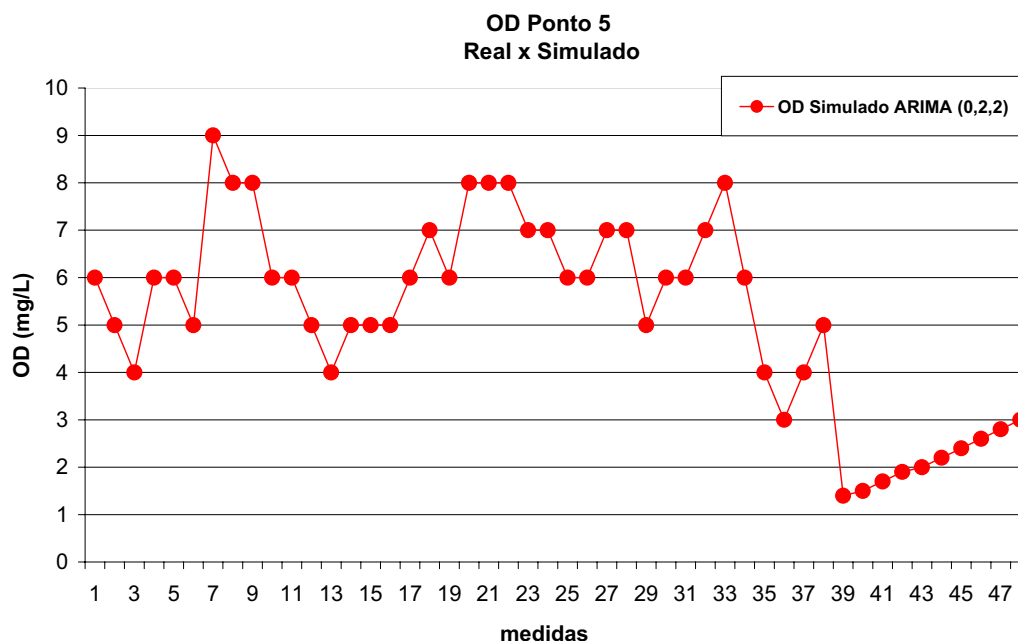


Figura 39. Estimativa de tendência para o OD para os próximos 3 anos no P5.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de OD no P5. Pode-se observar que a média das quantidades de OD obtida tende a diminuir bruscamente nos primeiros seis meses. Muito embora se torne possível observar aumento posterior das quantidades deste parâmetro, elas se encontram em valores inferiores daquelas obtidas experimentalmente. Estes dados são validados devido ao fato do modelo obtido apresentar baixos índices de erros, o que torna a tendência obtida confiável.

Pode-se talvez inferir que a autodepuração observada por Palma-Silva e Tauk-Tornisielo (2001) no trecho do rio Corumbataí aqui estudado, tenha contribuído para este aumento de OD no P5, porém verifica-se que as atividades antrópicas nos solos adjacentes a esse trecho vêm também tendo um acréscimo considerável, após a duplicação da rodovia Fausto Santomauro.

4.3.2. Potencial hidrogênionico - pH

4.3.2.1 Ponto de coleta 1 (P1) – ETA 2 a montante da área urbana do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 236443 e Y 7528966; altitude 415m).

Para este ponto de coleta, modelo ARIMA (1, 2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A Tabela 82 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros:

Tabela 82. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1)

<i>Coefficientes</i>	ϕ_1	θ_1
Valores	0,30	1,00
Desvio Padrão	0,06	0,09

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreve o conjunto de dados quanto ao pH no P1. Os valores de pH no P1 obtidos ao longo de 37 meses no P1 do rio Corumbataí podem ser representados por um modelo ARIMA (1,2,1). A Figura 40 mostra os valores de pH no P1 obtidos experimentalmente, comparados com aqueles obtidos através da equação ARIMA (1, 2,1).

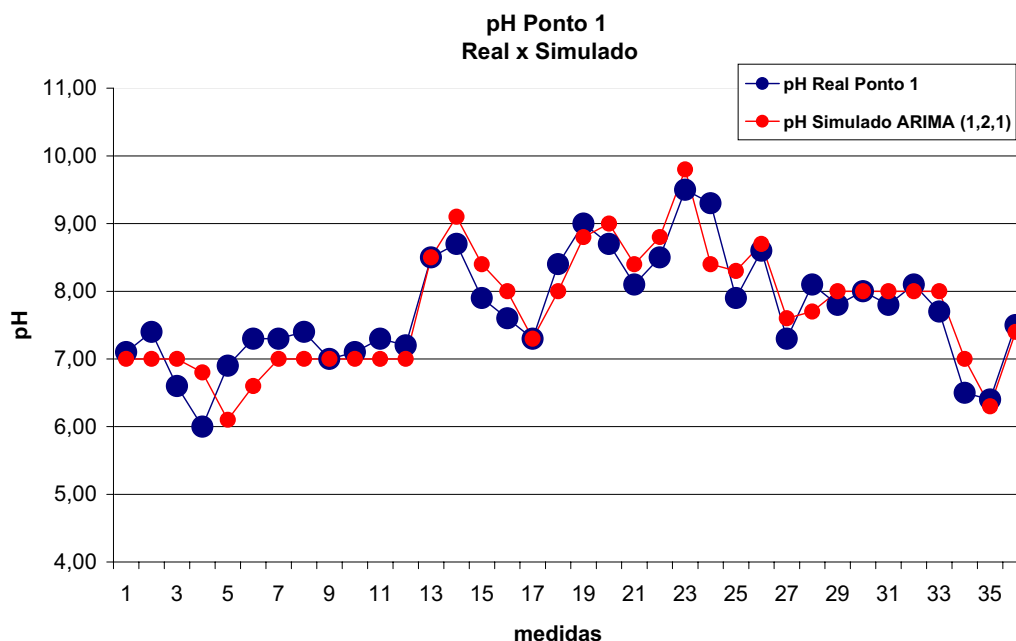


Figura 40. Concentração de pH no P1 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta satisfatório, o que auxilia a validar o modelo usado. O próximo passo foi estimar a tendência dos valores de pH no P1. A tendência é apresentada na Figura 41.

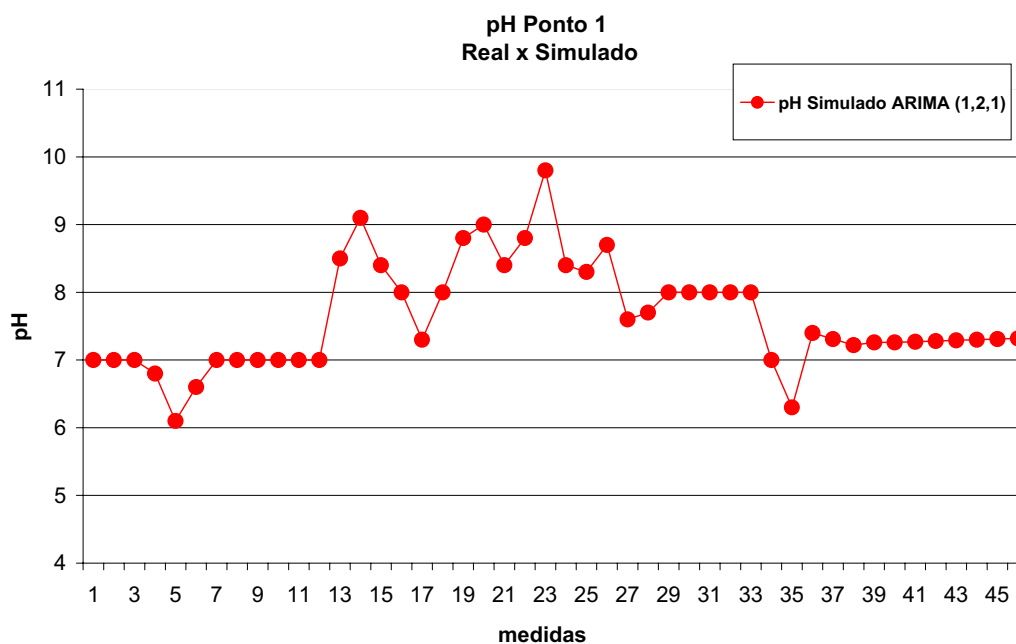


Figura 41. Estimativa de tendência para o pH no P1 para os próximos 3 anos.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para os valores de pH no P1. Pode-se observar que as médias destes obtidas tendem permanecer constante nos próximos anos. Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros, tornando a tendência obtida confiável.

4.3.2.2 Ponto de coleta 2 (P2) – Ponto de coleta de amostras de águas localizado na Usina da CESP, a jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 233366 e Y 7511786; altitude 380m).

Para o ponto 2, o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A Tabela 83 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 83. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1)

<i>Coefficientes</i>	ϕ_1	θ_1
Valores	0,42	1,00
Desvio Padrão	0,09	0,07

A concentração de pH no P2 obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (1,2,1). A Figura 42 mostra as concentrações de pH no P2 obtidas experimentalmente comparadas com as concentrações obtidas via a equação ARIMA (1,2,1).

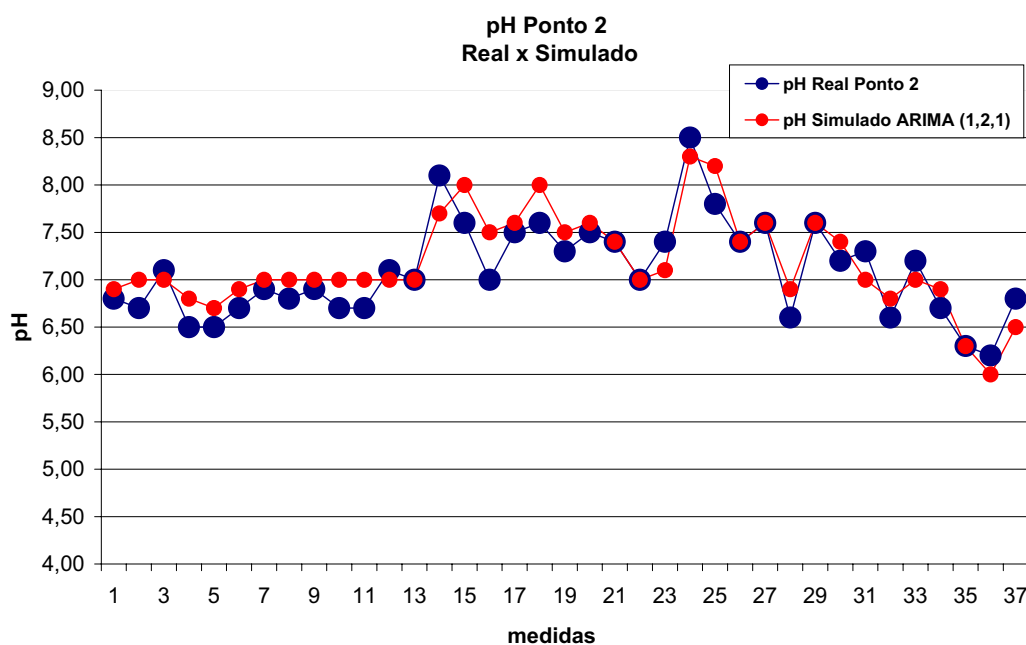


Figura 42. Concentração de pH no P2 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta satisfatório, o que ajuda a validar o modelo utilizado. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de pH no P2, apresentada na Figura 43.

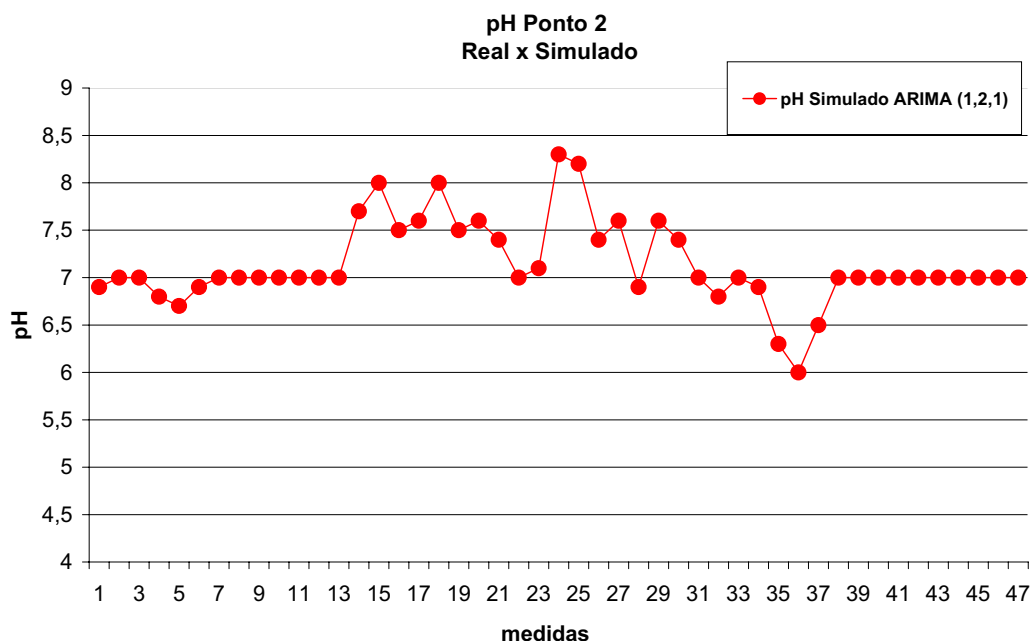


Figura 43. Estimativa de tendência para o pH no P2 para os próximos 3 anos.

Após a extrapolação do modelo, foi obtida a curva de tendência para a concentração de pH no P2. Pode-se observar que a média das concentrações de pH obtida tende a permanecer constante ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros, o que torna a tendência obtida confiável.

4.3.2.3 Ponto 3 (P3) – Assistência, jusante do município de Rio Claro (coordenadas UTM X 230064 e Y 7507759; altitude 340m)

Para o ponto 3, o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A Tabela 84 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 84. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1)

<i>Coefficientes</i>	ϕ_1	θ_1
Valores	0,60	1,00
Desvio Padrão	0,12	0,33

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A concentração de pH no P3, obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (1,2,1). A Figura 44 mostra as concentrações de pH no P3 obtidas experimentalmente, comparadas com as concentrações obtidas via a equação ARIMA (1,2,1).

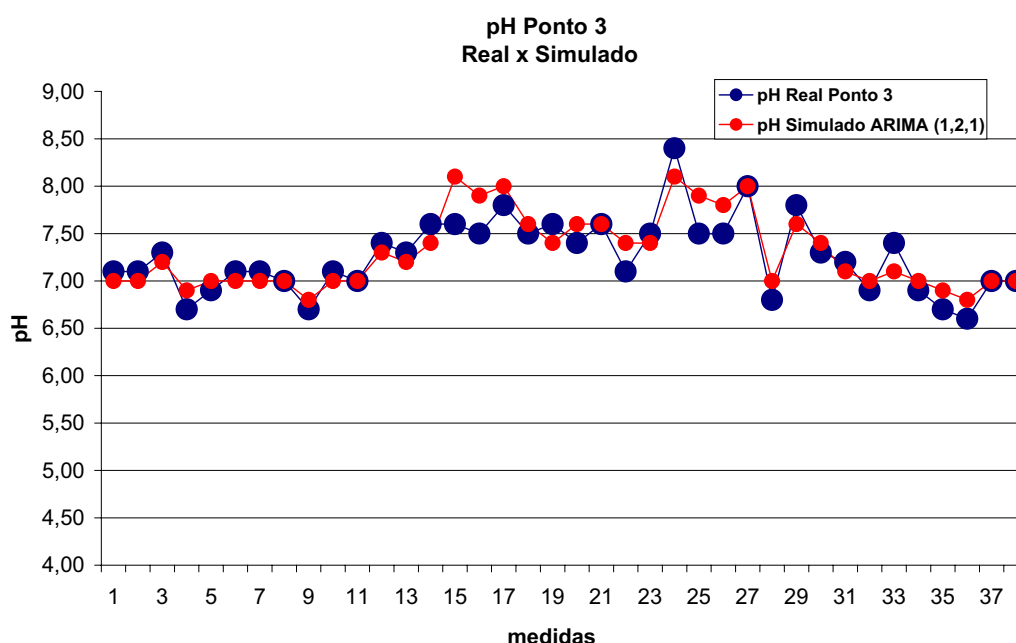


Figura 44. Concentração de pH no P1 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta bastante satisfatório, o que ajuda a validar o modelo. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de pH no P3, apresentada na Figura 45.

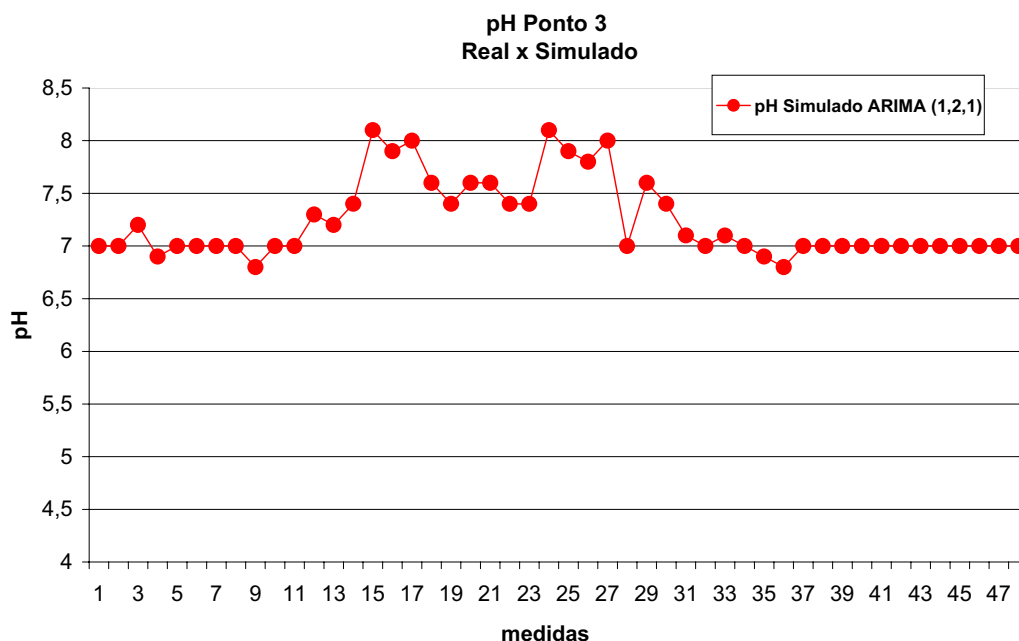


Figura 45. Estimativa de tendência para o pH no P3 para os próximos 3 anos.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de pH no P3. Pode-se observar que a média das concentrações de pH obtida tende a permanecer constante ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros o que torna a tendência obtida confiável.

4.3.2.4 Ponto 4 (P4) – Captação de água do SEMAE, município de Piracicaba (coordenadas UTM X 224804 e Y 7494646; altitude 320m).

Para o ponto 4, o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A Tabela 85 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 85. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1)

<i>Coefficientes</i>	ϕ_1	θ_1
Valores	0,35	1,00
Desvio Padrão	0,09	0,08

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A concentração de pH no P4, obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (1,2,1). A Figura 46 mostra as concentrações de pH no P4 obtidas experimentalmente, comparadas com as concentrações obtidas via a equação ARIMA (1,2,1).

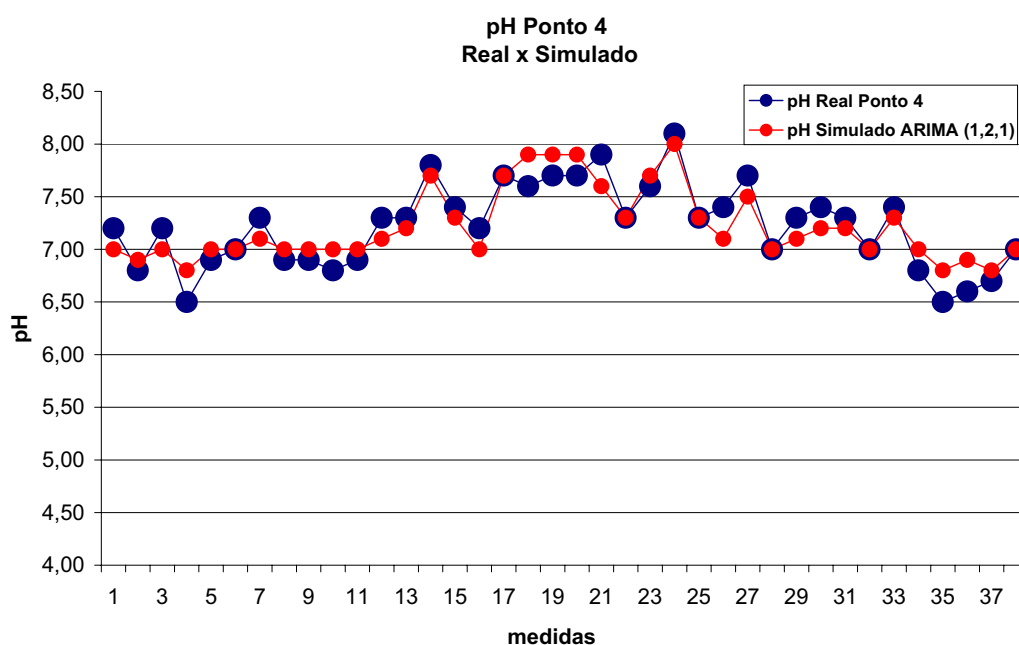


Figura 46. Concentração de pH no P4 obtida experimentalmente e concentrações pH no P4 obtida via equação ARIMA (1,2,1).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta bastante satisfatório, o que ajuda a validar o modelo. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de pH no P4. A tendência é apresentada na Figura 47.

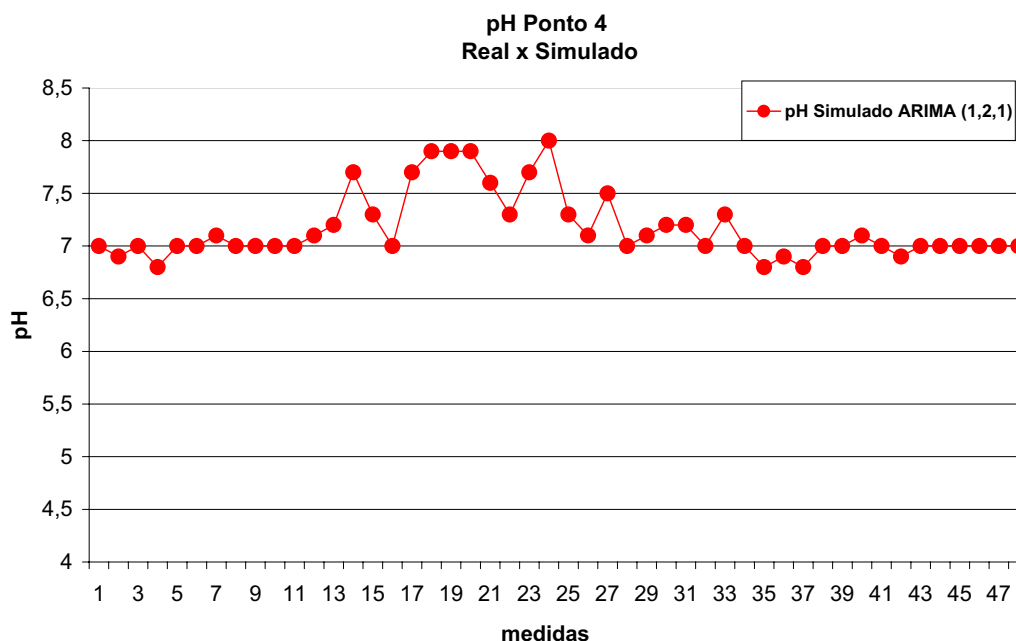


Figura 47. Estimativa de tendência para o pH no P4 para os próximos 3 anos.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de pH no P4. Pode-se observar que a média das concentrações de pH obtida tende a permanecer constante ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de o modelo obtido apresentar baixos índices de erros o que torna a tendência obtida confiável.

4.3.2.5 Ponto 5 (P5)– Município de Piracicaba, 1km da foz do rio Corumbataí no rio Piracicaba (coordenadas UTM X 224987 e Y 7488846; altitude 310m).

Para o ponto 5, o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A Tabela 86 descreve os parâmetros obtidos pelo programa R e seus respectivos erros.

Tabela 86. Parâmetros da equação ARIMA (1,2,1)

<i>Coefficientes</i>	ϕ_1	θ_1
Valores	0,57	1,00
Desvio Padrão	0,13	0,10

Pode-se observar que os erros relativos aos parâmetros obtidos são pequenos, confirmando que o modelo ARIMA (1,2,1) foi o que melhor descreveu o conjunto de dados. A concentração de pH no P5, obtida ao longo de 37 meses no rio Corumbataí, portanto, pode ser representada por um modelo ARIMA (1,2,1). A Figura 48 mostra as concentrações de pH no P5 obtidas experimentalmente, comparadas com as concentrações obtidas via a equação ARIMA (1,2,1).

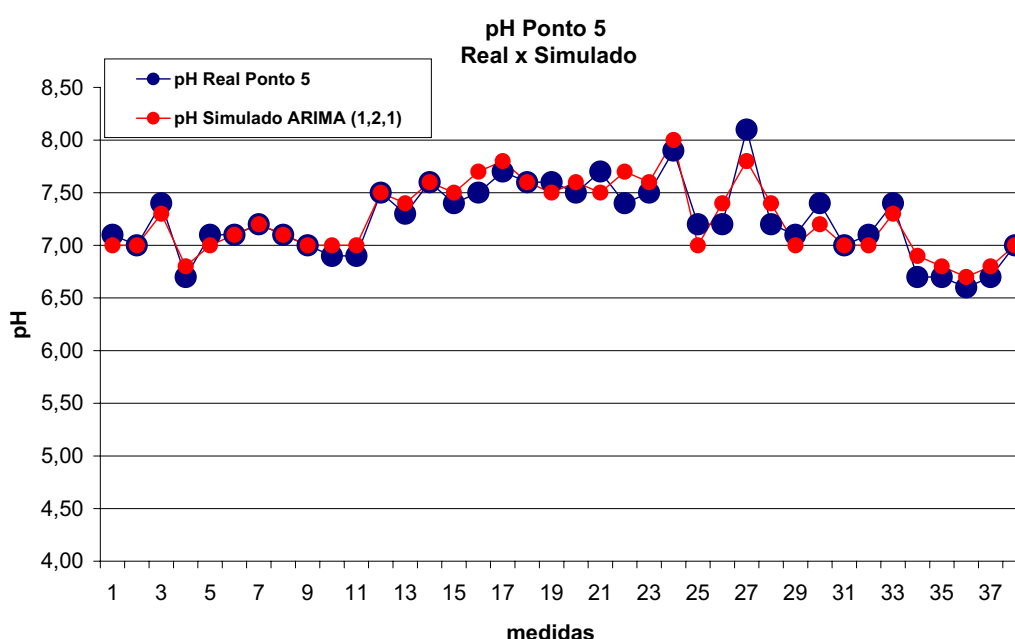


Figura 48. Concentração de pH no P5 obtida experimentalmente e concentrações pH no P1 obtida via equação ARIMA (1,2,1).

Pode-se observar que o grau de aderência (ajuste) entre os dados experimentais e os dados gerados pelo modelo se apresenta bastante satisfatório, o que ajuda a validar o modelo. O próximo passo foi estimar a tendência das concentrações de pH no P5. A tendência é apresentada na Figura 49.

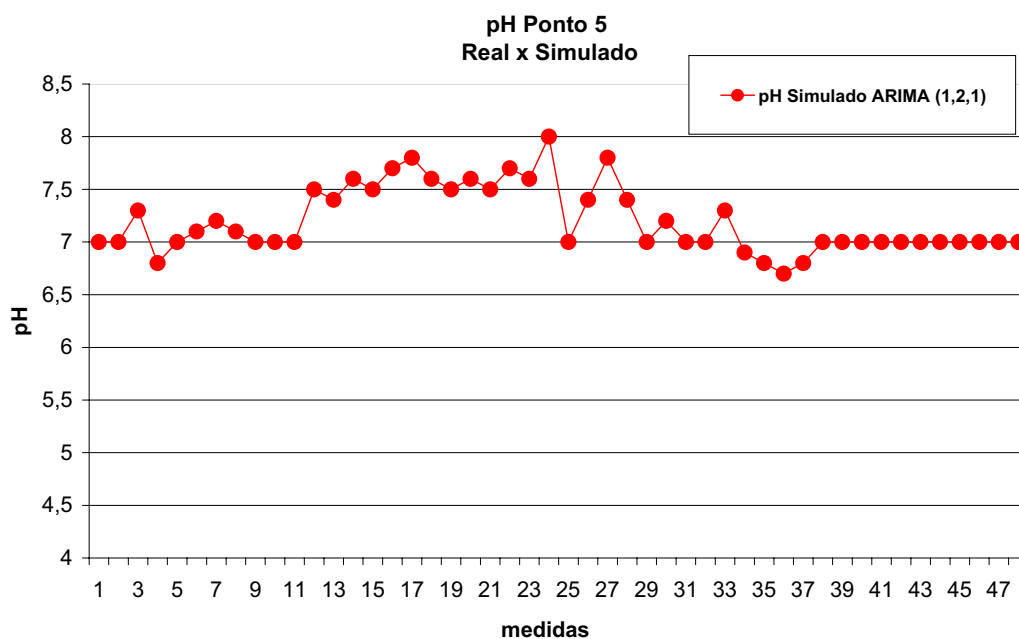


Figura 49. Estimativa de tendência para o pH no P5 para os próximos 3 anos.

Após a extrapolação do modelo foi obtida a curva de tendência para a concentração de pH no P5. Pode-se observar que a média das concentrações de pH obtida tende a permanecer constante ao longo do tempo. Estes dados são validados devido ao fato de que o modelo utilizado apresentar baixos índices de erros o que torna a tendência obtida confiável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudando a qualidade das águas da cava principal do rio Corumbataí, no trecho mais poluído atualmente, no período de outubro de 2000 a novembro de 2003 verificou-se que a cada ano vem piorando as condições ambientais do mesmo.

1. As temperaturas do ar e da água sofrem variações estatisticamente significativas entre os períodos secos e chuvosos e também ao longo do trecho do rio estudado. Várias podem ser as causas desta observação, dentre elas, as condições meteorológicas como temperatura e pluviosidade estão diretamente relacionadas com o regime hídrico do rio Corumbataí. As diferenças estatisticamente significativas dos resultados encontrados em relação aos pontos de coletas estão, provavelmente, dependentes das diferenças dos horários de coletas das amostras de águas nos diferentes pontos, decorrentes das distâncias entre os mesmos ou de atividade antrópica.

2. Os valores de pH não foram estatisticamente diferentes quanto aos períodos seco e chuvoso, demonstrando que as condições climáticas não atuam claramente sobre este parâmetro. Os resultados, contudo, foram diferentes significativamente em relação aos pontos de coletas. Os maiores valores de pH ocorreram no ponto a montante da área urbana de Rio Claro, chegando alcançar 9,5 no final do período seco e início do período chuvoso, quando ocorre diminuição da vazão do rio e portanto, maior concentração de nutrientes dissolvidos em suas águas.

3. A semelhança do pH, também os valores de condutividade não foram diferentes estatisticamente significativos em relação aos períodos secos e chuvosos. Não

somente para este parâmetro, mas para outros que apresentaram valores próximos entre estes dois períodos, considera-se que:

- No período seco com a diminuição da pluviosidade ocorre decréscimo da vazão do rio acarretando aumento da concentração de nutrientes em suas águas, conseqüentemente diminuição da qualidade. No período chuvoso, era de se esperar a diluição das águas e decréscimo acentuado da concentração dos nutrientes, porém com o desmatamento, uso intensivo do solo para atividades agrícolas, desaparecimento das matas ciliares e outras causas, ocorrendo carreamento de solos para dentro do rio, cujo efeito é acrescentar neste, maiores quantidades de nutrientes.
- Ao longo do trecho do rio estudado ocorreram diferentes valores da condutividade, com tendência de serem maiores quanto mais próximo de sua foz. Este fato relacionado com o efeito cumulativo dos efluentes descartados no rio por distintas atividades antrópicas e também do carreamento do solo para dentro dele.

4. Ao contrário do pH e da condutividade, os valores de cor aparente foram diferentes estatisticamente em relação aos períodos seco e chuvoso. Nos pontos onde ocorre maior interferência do uso inadequado do solo e desaparecimento das matas ciliares, ocorreram maiores valores de cor aparente das águas do rio. Este fato, provavelmente, resultante do carreamento do solo para dentro do rio. Ao longo do trecho do rio estudado, os valores deste parâmetro não foram considerados estatisticamente diferentes.

5. Semelhantemente ao pH e a condutividade, os valores de alcalinidade não foram diferentes significativamente quanto a análise estatística em relação aos períodos chuvoso e seco. Estes valores, entretanto, foram diferentes em relação aos pontos de coletas, devido as distintas formações rochosas, em destaque ao local da Assistência onde o solo é alcalino, decorrente da predominância da formação Irati (calcário).

6. Os sólidos totais também não apresentaram valores diferentes estatisticamente em relação aos períodos secos e chuvosos, todavia os mesmos foram distintos

significativamente quanto aos pontos de coletas. Maiores valores foram observados no ponto da Assistência (Ponto 3), indicando grande aporte de partículas oriundas da área urbana de Rio Claro e de Santa Gertrudes. A qualidade das águas do Ribeirão Claro, afluente da margem esquerda do rio Corumbataí, vem apresentando crescente poluição devido as distintas atividades antrópicas nesses dois municípios. O acréscimo dos valores deste parâmetro também é decorrente da atividade agrícola intensa presente na região.

7. Os valores de turbidez, contudo, variaram significativamente quanto aos períodos secos e chuvosos, mas não em relação aos pontos de coletas. Este parâmetro, provavelmente, dependente das condições climáticas dominantes na região. O carreamento do solo para dentro do rio devido aos altos índices pluviométricos no período chuvoso, deve ser a principal causa do aumento da turbidez das águas do rio Corumbataí. Nos períodos chuvosos, os valores de turbidez aumentaram cerca de 100 vezes quando comparados com aqueles dos períodos secos.

8. Os valores de oxigênio dissolvido não variaram estatisticamente quanto aos períodos secos ou chuvosos, mas sim quanto aos pontos de coletas. No ponto a jusante e mais próximo da área urbana de Rio Claro, ocorreram os menores valores, indicando alta poluição nesse trecho do rio e provavelmente, as construções da ETE 1 em 1999 e da ETE 2 em 2001, não têm sido suficientes para a melhoria adequada da qualidade das águas nesse trecho. Ressalta-se que estas duas estações, além dos problemas inerentes a elas, correspondem aproximadamente a 30% do esgoto tratado do município.

9. Os valores de DQO não foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% em relação aos períodos secos e chuvosos e entre os pontos de coletas. O Ponto 1, a montante da área urbana de Rio Claro, apresentou sempre valores menores em relação aos outros. Foi verificado, entretanto, um aumento gradativo dos valores de DQO em relação aos anos de estudo e que a jusante, nos dois pontos mais próximos da área urbana de Rio Claro, há necessidade de implementação de um controle mais intenso para mitigar o impacto oriundo da falta de oxigênio. Esta última devido ao

descarte de vários tipos de esgotos, inclusive os clandestinos. Estes descartados sem qualquer controle e tratamento.

10. Os valores de nitrito não mostraram diferenças estatisticamente significativas quanto aos períodos secos e chuvosos, mas estas foram evidenciadas quanto aos pontos de coletas. Verifica-se o aumento dos valores deste parâmetro em direção a sua foz, sendo estes cumulativos devido ao efeito somatório de diversas atividades antrópicas ao longo do rio. Aqui se destaca que a duplicação da rodovia Fausto Santomauro vem incrementando instalações de diferentes indústrias ao longo desta e o aumento das áreas urbanas de Rio Claro e de Piracicaba em direção a esta rodovia.

11. Os valores de nitrato foram diferentes estatisticamente quanto aos períodos secos e chuvosos e quanto aos pontos de coletas. Os maiores valores ocorreram nos períodos chuvosos, provavelmente, decorrentes do carreamento do solo agrícola para dentro do rio. A presença do nitrato pode ser decorrente dos adubos e outros incrementos agrícolas usados nas diferentes culturas, como também da nitratação presente nos diferentes ecossistemas, sendo as bactérias responsáveis por esse processo.

12. Os valores de amônia mostram diferenças significativas quanto aos períodos secos e chuvosos e quanto aos pontos de coletas. Os esgotos domésticos são as principais fontes de amônia nas águas, que em um ecossistema em equilíbrio irá ser transformada através da amonificação, em nitrito. Todavia, na ausência de oxigênio ou baixa taxa deste, pode ser acumulada, como foi verificado nos pontos 2 e 3 deste estudo. Nestes, como já descrito anteriormente, os valores de oxigênio nas águas do rio Corumbataí foram mínimos. Os valores de amônia também foram maiores nos períodos chuvosos. O amônio, em pH alcalino, se transforma em amônia, que é tóxica para vários organismos, inclusive para os peixes.

13. Os valores de fósforo total mostram diferenças significativas quanto aos períodos secos e chuvosos e quanto aos pontos de coletas. Semelhantemente a amônia e ao

nitrito, sofre aumento no período chuvoso devido ao carreamento do solo para dentro do rio. Neste, o fósforo é incrementado através de adubos que podem conter várias fórmulas químicas deste elemento necessário ao bom desenvolvimento das culturas. Atividades industriais podem ser responsáveis pelo incremento de fósforo nas águas do rio, como também o esgoto, mas sem dúvida algumas, o principal contribuinte é o solo das áreas agrícolas quando carregado para dentro do rio, com destaque, no período chuvoso.

14. Os valores de cloreto não mostraram diferenças significativas quanto aos períodos secos e chuvosos e nem quanto aos pontos de coletas. O ponto 1, a montante da área urbana de Rio Claro, entretanto, apresentaram valores inferiores aos demais pontos de coletas.

15. Além dos valores de salinidade terem sido diferentes significativamente quanto aos períodos secos e chuvosos e aos pontos de coletas, decorrente de distintas fontes como esgoto doméstico, efluentes industriais, mineração e atividades agrícolas, eles vêm sendo incrementados através dos anos. Isto acarreta um alerta quanto aos aspectos da saúde pública, devido aos hipertensos e ser a água mais uma fonte de sais para a população, uma vez que tratamentos tradicionais.

16. Os valores de flúor não apresentaram diferenças significativas quanto aos períodos secos e chuvosos e quanto aos pontos a montante da área urbana de Rio Claro (ponto 1), no ponto 2 (antiga Usina da CESP) e na foz do rio, no bairro Santa Teresinha (Ponto 5). Diferenças estatisticamente significativas foram observadas na Assistência (Ponto 3) e na ETA do Capim Fino, Piracicaba (Ponto 4). Este elemento vem sendo encontrado em altas concentrações não somente em diferentes corpos de água superficiais, mas também em poços, indicando provavelmente, que o aumento das atividades de mineração da argila para atender a indústria de revestimento, esta acarretando liberação deste elemento das rochas ou mesmo, através do processo industrial com a liberação dos gases.

17. Os valores de sulfato não foram diferentes estatisticamente em relação aos períodos secos e chuvosos e entre os pontos de coletas a montante da área urbana e

aquele mais próximo desta, a jusante. Observou-se um aumento considerável, na Assistência (Ponto 3), na ETA do Capim Fino (Ponto 4) e na foz do rio Corumbataí (Ponto 5), incremento cumulativo devido às atividades agrícolas e industriais crescentes ao longo do rio.

18. Os valores de DBO não foram diferentes significativamente quanto aos períodos secos e chuvosos e aos pontos de coletas. Os valores deste parâmetro no Ponto 1, sempre foram inferiores aos demais, mostrando a grande influência da área urbana de rio Claro, principalmente quanto ao seu esgoto doméstico na qualidade da água do rio. Também através deste parâmetro, verificou-se que na Assistência, distrito de Rio Claro, é onde tem sido mais crítico o índice de qualidade das águas do rio Corumbataí.

19. Os valores do número mais provável de coliformes totais foram diferentes estatisticamente quanto aos períodos secos e chuvosos e aos pontos de coletas. Devido ao esgoto doméstico da área urbana de Rio Claro, no Ponto 2 foram observados maiores valores que decresceram em direção a foz do rio. No período chuvoso houve também um incremento em relação ao período seco.

20. Os valores do número mais provável de *E. coli* não foram diferentes estatisticamente quanto aos períodos secos e chuvosos. Nos pontos 2 e 3 também apresentaram maiores valores devido ao esgoto doméstico oriundo da área urbana do município de Rio Claro.

5 CONCLUSÕES

Que as águas do rio Corumbataí, no trecho a jusante da área urbana de Rio Claro vêm sendo cada vez mais poluídas através dos últimos anos, apesar dos esforços recentemente tomados por diferentes órgãos públicos relacionados com os recursos hídricos.

De forma direta ou indireta, podem ser indicadas que as maiores fontes de poluição consistem naquelas de origem orgânica e da atividade agrícola dominante na região.

Após vários testes preliminares, o modelo matemático ARIMA foi o mais adequado para ser usado na previsão para os próximos anos, da tendência de parâmetros sobre a qualidade das águas do trecho estudado do rio Corumbataí.

Os resultados aqui obtidos em relação a outros anteriores (PALMA-SILVA e TAUKE-TORNISIELO, 2001; CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2002) e da CETESB, 2006, demonstraram que há necessidade de tratamento total de esgoto no município de Rio Claro. A construção e instalação das ETE 1 e ETE 2, não foram suficientes para mitigação dos impactos ambientais do rio Corumbataí, devido ao aumento exacerbado das indústrias, da expansão demográfica, do mau uso do solo, de planejamento regional e ausência de uma efetiva Educação Ambiental. Ressalta-se a omissão e desconsideração de determinados responsáveis pela administração dos municípios na bacia do rio Corumbataí.

7 REFERÊNCIAS

ANTONELLO, S. L. *Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí*. UNESP/IGCE/CEAPLA. Disponível em: <<http://www.unesp.rc.br/igce/ceapla/atlas/>> Acesso em: 15 jun. 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALT ASSOCIATION. APHA. *Standart methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington: American Public Healt Association, AWWA, WPCF, 1998. 1569p.

BARNETT, V.; TURKMAN, K.F. *Pollution Assessment and Control*. Wiley, 8, 1995.

BATTALHA, B.L.; PARLATORE, A.C. *Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais*. São Paulo: CETESB, 1977. 198p.

BELONDI, H.V. *Enquadramento dos corpos de água em classes de uso como instrumento de gestão ambiental e de recursos hídricos: Estudo aplicado na bacia do Rio Corumbataí – SP*. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/atlas.html>> Acesso em: 26 jun. 2006.

BLOOMFIELD, P.; ROYLE, A.; STEINBERG, L.; YANG, K. Accounting for meteorological effects in measuring urban ozone levels and trends. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 30, p. 3067-77, 1996.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. *Time Series Analysis: forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day, 1976.

BRANCO, S.M. *Hidrologia aplicada à engenharia sanitária*. 3.ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 676p.

BRANCO, S.M. Água e o Homem. In: PORTO, R.L.; BRANCO, S.M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R.M.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA, V.P.Q.; PORTO, M.F.AA. *Hidrologia ambiental*. São Paulo: EDUSP, 1991. p.3-25.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Cidades Sustentáveis - Subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2000. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21bra/doc/cidades.zip> Acesso em: 29 jul 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Legislação Federal do Brasil Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2000. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/> Acesso em: 29 jul 2006.

CAMARGO, J.C.G.; CESAR, A.L.; GENTIL, J.P., PINTO; S.A.F.; TROPPEMAIR, H. Estudo fitogeográfico da vegetação ciliar do rio Corumbataí, SP. *Biogeografia*, São Paulo, n. 3, p. 1-14, 1971.

CARMOUZE, J.P. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Edgard Blucher; FAPESP, 1994. 254p.

CARON, D. Caracterização sócio-econômica do meio rural da Bacia do Corumbataí. In: SEMINÁRIO DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, 2. 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba. p.30-33.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. CBH-PCJ. Relatório de situação dos recursos do CBH-PCJ. Proposta de Programa de Educação Ambiental para o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Piracicaba: DAEE, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (CETESB) *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo, 1987. 150p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (CETESB) *Relatório de Balneabilidade das Praias Paulistas*. São Paulo, 1995. (Série Relatórios).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (CETESB) *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo, 2001. 224p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (CETESB). *Rios e Reservatórios: variáveis de qualidade das águas*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variáveis#temperatura>.> Acesso em: 13 jul 2006.

CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do rio Corumbataí (SP). *Geochimica Brasiliensis* 16 (1): 001-021, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução do CONAMA nº 357*. 5.ed.. Brasília: IBAMA, 2005. 23p.

CUBILLO, F.; RODRIGUES, B.; BARNWELL JUNIOR., T.O. A system for control of river water quality for the community of Madrid using QUAL2E. *Water Science and Technolog.* Oxford, v.26, n. 7-8, p.1867-73, 1992.

ESTEVEES, F.A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1988.575p.

EVANGELISTA, R. A. de O. *Caracterização química e isotópica de carbono e nitrogênio no estudo hidrogeoquímico de efluentes urbanos*. 2003. 139f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FAHL, I.A.F. *Caracterização geográfica da dispersão do flúor, através de teores foliares, em espécies vegetais de interesse econômico, a partir do pólo cerâmico de Santa Gertrudes-SP*. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

FEACHEM, R.G. *Sanitation and Disease. Health aspects on excreta and wastewater management. World studies in water supply and sanitation*. New York: John Wiley, 1983. 501p.

FERRAZ, A; BUFON, A. G.M.; BARCELOS, E. *Caracterização limnológica do Ribeirão Claro no trecho compreendido entre os municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes, SP*. Estudo de Caso. Rio Claro: UNESP. Centro de Estudos Ambientais. 2001. 55p.

FERRAZ, F.F.B. *Dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia do rio Piracicaba*. 2002. 108f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

FELTRAN FILHO, A. *Contribuição à análise fluviométrica da bacia do rio Piracicaba*. 1982. 188f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1982.

FISCHER, EVANDRO GALAD. *Proposição e aplicação de metodologia de gerenciamento integrado dos rios Corumbataí e Passa cinco da bacia do Piracicaba por meio de banco de dados georreferenciado e modelagem matemática*. Tese (doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Piracicaba, 110p, 2003.

GANZELLI, J.P. Aspectos ambientais do planejamento dos recursos hídricos: A bacia do rio Piracicaba. In: TAUK, S.M. (Org.). *Análise Ambiental: uma visão multidisciplinar*. São Paulo: UNESP/FAPESP, 1991. p.108-112.

HOLLAND, D.M.; CARAGEA, P; SMITH, R.L., Regional trends in rural sulfur concentrations. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 38 , p.1673-1684. 2004.

IHAKA, R.; GENTLEMAN, R. A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, v.5, n. 3, p.299-314. 1996.

INÁCIO, A; SANTOS, M.J.Z. Características climáticas de Rio Claro. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, v. 18, n. 35/36, p. 87-104, 1988.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF); SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUAS E ESGOTO DE PIRACICABA (SEMAE). *A conservação dos recursos hídricos por meio da recuperação e da conservação da cobertura florestal na bacia do rio Corumbataí*. Plano Diretor. Piracicaba: IPEF; ESALQ; SEMAE, 2001. 301 p.

IRRIGART. Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos. *Bacias hidrográficas dos rios piracicaba, Capivari e Jundiá: situação dos recursos hídricos 2000/2003*. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ- PCJ. 2005. 104p. Relatório Síntese

KAGEYAMA, P. Y. *Estudo para implantação de matas ciliares na bacia hidrográfica do Passa Cinco visando à utilização para abastecimento público*. Piracicaba: ESALQ/USP/DAEE, 1986.236p. (Relatório de pesquisa).

KARR, R.; SCHLOSSER, I. J. Water resources and land - water Interface: water resources in agricultural watersheds can be improved by effective multi disciplinary planning. *Science*, v.201, p.229-34, 1978.

KITTRELL, F. W. *A practical guide to water quality studies of streams*. U. S. Department of the Interior Federal Water Pollution Control Administration; 1969, 135p.

KOFFLER, N. F. Carta de declividade da bacia do Rio Corumbataí para análise digital S16). *Geografia*, Rio Claro, v. 19, n. 2, p. 167-082, 1994.

LIMA-JÚNIOR, S.E. *A ictiofauna e a qualidade da água em trechos do rio Corumbataí – SP*. 2003. 231f. (Doutorado). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2003.

MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. Propagação da poluição atmosférica por flúor nas águas subterrâneas e solos de regiões próximas às indústrias de fertilizantes (Rio Grande, RS). *Química Nov.* São Paulo, v. 25. n. 2. abr/maio 2002.

NASCIMENTO, V. M. da C. *Estudo da carga de nutrientes e da comunidade bentônica do córrego da Barrinha*. 2000. 162f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

NEGRI, B. Urbanização e demanda de recursos hídricos na bacia do Rio Piracicaba, SP. In: SEMANA DE DEBATES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 1992, Piracicaba. Anais.... Piracicaba: DAAE / FUNDAP, 1992. p. 27 – 37.

NOLASCO, A.M. Síntese dos trabalhos apresentados no II Seminário de Recuperação Florestal e Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio Corumbataí. Seminário de Recuperação Florestal e Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio Corumbataí, 2, 1997, Piracicaba. *Recuperação Florestal e Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio Corumbataí*, p.56-59.

NUVOLARI, A.; TELLES, D.D.A.; RIBEIRO, J.R.; MIYASHITA, N.J.; RODRIGUES, R.B.; ARAUJO, A. *Esgoto Sanitário. Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. São Paulo: FATEC/CEETEPS; Edgard Blucher. 2003, 520p.

OLIVEIRA, M.A.; FÁVERO, L.P.L. *Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: Séries de Fourier, Wavelets, ARIMA, Modelos Estruturais para Séries de Tempo e Redes Neurais*, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/Semead/6semead/MQI/010MQI%20-Algumas%20Técnicas%20para%20Anal%20de%20Series%20Temporais.doc>> Acesso em: 13 jul. 2006.

PALMA-SILVA, G.M.; TAUKE-TORNISIELO, S.M. Contribución de las áreas urbanas en la polución del río de Corumbataí, SP, Brazil. In: *CONTRIBUCIÓN a la educación y la protección ambiental*. Cuba. 2001. v.2, p. 1-9.

PINTO, A.L.; MAURO, C.A. A importância do Ribeirão Claro para o abastecimento de Água da Cidade de Rio Claro - (SP). *Boletim de Geografia Teórica*, Rio Claro. v. 15, n 29/30, p.115-27, 1985.

PROCHNOW, M.C.R. *A qualidade das águas na bacia do rio Piracicaba*. 1982. 168f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1982.

PORTO, F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L.; BRANCO, S.M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo. EDUSP, 1991, p.27 – 65.

PROCHNOW, M.C.R. Problemas e impactos urbanos e agrícolas. In: SEMANA DE DEBATE SOBRE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 1992, Piracicaba. *Atlas Piracicaba*. Piracicaba: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari; DAAE; FUNDAP, 1992. p.165-9. Etapa Piracicaba.

PROJETO PIRACENA. *Banco de dados – geoprocessamento*. Piracicaba: CENA/USP. Disponível em: <<http://www.cena.usp.br/piracena/>> .Acesso em: 20 jul. 2006.

REDE DAS ÁGUAS. Disponível em: <http://www.rededasaguas.org.br/comite/comite_01.asp>. Acesso em: 21 jul.2006.

REIS, L V S. *Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba – SP*. 2004, 215f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SAHA, S.; BARROW, C. *River basin planning: theory and practice*. New York: John Wiley, 1981. 357p.

SALATI, E. *Diagnóstico ambiental sintético e qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia hidrográfica do rio Corumbataí*, SP. 1996. 199f. Tese (Doutorado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SANCHEZ, P. S. *Fundamentos biológicos do Saneamento Ambiental*. Rio Claro, UNESP; Centro de Estudos Ambientais, 1997. 216p. Apostila.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. *Recursos hídricos: histórico, gestão e planejamento*. São Paulo, 1995. 90p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. *Levantamento e sistematização de dados sobre áreas de risco, áreas degradadas, áreas sujeitas à erosão e informações específicas sobre resíduos sólidos domésticos e sobre atividades agrícolas desenvolvidas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*. São Paulo, 1996. v. 2. Relatório Técnico.

SÃO PAULO. *Legislação Estadual: controle de poluição ambiental – Estado de São Paulo* (atualizada até fev. 2003) – São Paulo: CETESB, 2003.

SÃO PAULO. Plano Estadual de Recursos Hídricos 2000 - 2003. *Programas de Investimentos – Relatório – Síntese*. CRH/CORHI, junho de 2000. Projeto de lei PL – 237/2000. Disponível em: <www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 26 fev. 2005.

SMITH, R.L, A statistical assessment of Buchanan's vote in Palm Beach county. *Statistical Science*, Hay Ward: 17, p. 441-457. 2002.

STOCK, J. H. e WATSON, M. W., Testing for Common Trends. *Journal of the American Statistical Association*, New York, v. 83, p.1097 –1107. 1988.

TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTNER, M.B. Plankton studies in a mangrove II; the standing-stock and some ecological factors. *Boletim Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 24, p.23-41, 1965.

TROPPEMAIR, H. Rio Corumbataí- características naturais. In: SEMANA DE DEBATES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 1992, Piracicaba. *Atlas Piracicaba...* São Paulo: Consórcio Intermunicipal das Bacias do Rio Piracicaba e Capivari. DAAE, FUNDAP, 1992. p. 161-163.

TUNDISI, J.G.; STRAŠKRABA, M. Strategies for building partnerships in the context of river basin management: The role of ecotechnology and ecological engineering. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, v. 1, p. 31 – 38, 1995.

TUNDISI, J. G. *Água no Século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RiMa, I.EE. 2003. p.94 - 109.

VALENTI, A. G.; PEREIRA, J.A.; BORGHETTI, J.R. *Aqüicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável*. Brasília: CNPq: Ministério da Ciência e tecnologia, 2000. 399p. 2001.

VIADANA, A.G. *Análise da qualidade hídrica do alto e médio Corumbataí (SP) pela aplicação de bioindicadores*. 1985. 115f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1985.

VIADANA, A.G. *Perfis ictiobiogeográficos da bacia do Rio Corumbataí, SP*. 1992. 174f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. *Limnological analyses*. New York: Springer – Verlag, 1991. 331p.

ZAINE, M. F.; PERINOTTO, J. A. *Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro – SP*. Rio Claro: Câmara Municipal de Rio Claro; Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 1996. 91p.

.