

“COMPARAÇÃO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO
SOLAR E DOS FATORES QUE DETERMINAM O CLIMA
DE RADIAÇÃO SOLAR SUBAQUÁTICA EM LAGOS E
RESERVATÓRIOS DO BRASIL”

SONIA LUIZ RODRIGUES

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Galizia Tundisi

**São Carlos
2003**

COMPARAÇÃO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO
SOLAR E DOS FATORES QUE DETERMINAM O
CLIMA DE RADIAÇÃO SOLAR SUBAQUÁTICA
EM LAGOS E RESERVATÓRIOS DO BRASIL

Sonia Luiz Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. José Galizia Tundisi

DEDICATÓRIA:

Aos meus entes queridos, que Deus, Misericordioso, me presenteou nesta passagem, para que pudéssemos caminhar e crescer juntos...

“... que vosso amor cresça cada vez mais no pleno conhecimento e em todo o discernimento.”

Paulo (Filipenses, 1:9)

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial, Misericordioso e Bondoso, que sempre nos ilumina e nos ampara.

Ao Professor Dr. José Galizia Tundisi, pela orientação dedicada e incessante durante a elaboração deste trabalho, por seu apoio e entendimento nos momentos mais difíceis de minha caminhada e pelo seu exemplo de seriedade e competência.

À Profa. Dra. Takako Matsumura Tundisi, por sua atenção, colaboração e amizade.

À Profa. Dra. Odete Rocha pela solicitude, apreço e colaboração, disponibilizando recursos para realização de atividades de campo e laboratoriais.

Ao Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato e ao MsC. Daniel Varela Magalhães pelo empenho dedicado na reconstrução e reparo do aparelho Fotômetro Subaquático.

À Profa. Dra. Sylvia Rosalino Panico pelo amizade e apoio na concessão do afastamento do meu cargo na rede oficial de ensino.

Às Prefeituras Municipais de Descalvado e de Itirapina por solicitar o afastamento do meu cargo na rede oficial de ensino, possibilitando dedicação integral a este trabalho.

Ao CNPq, à FAPESP (Projeto Temático 0612-91/5) e ao PROBIO (MMA-BIRD-GEF), pelo apoio, sem o qual este trabalho não poderia ser realizado.

Aos técnicos do Departamento de Biologia Evolutiva (DEBE) da Universidade Federal de São Carlos, Airton Santo Soares e José Valdecir de Lucca por todo apoio dado nas atividades de campo.

A todos os funcionários e técnicos do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), que não mediram esforços em colaborar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e professores do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos e do Departamento de Biologia Evolutiva (DEBE) da Universidade Federal de São Carlos, pela amizade e incentivo.

A todos do IIE, Instituto Internacional de Ecologia, que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

À Cláudia R. Souza da Casa Viva Projetos e Consultoria S/C Ltda por sua dedicação e atenção no fornecimento de dados complementares.

À amiga Maria Helena Rodrigues Gomes que sempre esteve presente nos momentos mais difíceis ora com uma palavra confortadora ora contribuindo na execução deste trabalho. Os amigos William Marcos da Silva, Donato Seije Abe, Corina Sidagis e Walter Decio Fernandes Andrade também colaboraram neste sentido.

Ao Rodrigo e ao Thiago que sempre me apoiaram e me incentivaram, e, a seus pais que em muitos momentos suprimam minha ausência junto a minhas filhas.

À Elza Montoro, que colaborou para que meu ambiente familiar mantivesse harmonioso e sereno.

À Francilla e Julliana, filhas especiais, que sempre me apoiaram e me incentivaram para que eu superasse todos os obstáculos. E ao meu esposo, José Francisco e à minha mãe Amélia, pela compreensão e apoio nas horas difíceis.

A todos aqueles que de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

Aos leitores.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	xxiv
LISTA DE SÍMBOLOS	xxix
RESUMO	xxxii
ABSTRACT	xxxii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivos Principais	5
2.2 Objetivos Específicos	6
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Teoria Básica	7
3.2 Fundamentos de Fotometria	10
3.3 Radiação Solar na Superfície Terrestre	11
3.4 Radiação Solar no Meio Aquático	13
3.4.1 Clima de Radiação Solar Subaquática	16
3.4.2 Profundidade da Zona Eufótica e Transparência da água	17
4 AMBIENTES DE ESTUDO	19
4.1 Considerações Gerais	19
4.2 Reservatórios do [Médio e Baixo Tietê – Estado de São Paulo	19
4.3 Lagos do Sistema de Lagos do Vale do rio Doce – Estado de Minas Gerais	25
4.4 Represa do Lobo-Broa (UHE Carlos Botelho) – Estado de São Paulo	31
4.5 Represa de Barra Bonita – Estado de São Paulo	34
4.6 Outros Sistemas Aquáticos Estudados nas regiões: Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil	37
4.6.1 Ambientes Aquáticos da região sudeste do Brasil	38
4.6.2 Ambientes Aquáticos da região nordeste do Brasil	44
4.6.3 Ambientes Aquáticos da região norte do Brasil	47
5. METODOLOGIA	55
5.1 Considerações Gerais	55
5.2 Metodologia de Campo	57
5.2.1 Estudo quantitativo e qualitativo da penetração da radiação solar em ecossistemas naturais (lagos) e artificiais (reservatórios) .	57

5.2.2 “Varredura” da radiação solar subaquática nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (SP)	64
5.2.3 Espectro de absorção da água superficial em ambientes aquáticos situados nas regiões: Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil	66
5.3 Metodologia de Laboratório e Levantamento de Dados	74
5.3.1 Variáveis climatológicas	74
5.3.2. Variáveis Abióticas: físicas e químicas	74
5.3.2.1 pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura	74
5.3.3.2 Concentração de material em suspensão	75
5.3.3 Dados quantitativos e qualitativos da radiação solar subaquática	76
5.3.3.1 Transparência da água	76
5.3.3.2 Outras medidas	76
5.3.3.3 Espectro de absorção da água coletada	82
5.3.4 Variáveis Bióticas: Pigmentos Totais para Clorofila	83
6 RESULTADOS	87
6.1 Considerações Gerais	87
6.2 Condições Hidrometeorológicas nos Períodos Estudados	88
6.3 Estudo qualitativo e quantitativo da penetração da radiação solar nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) e lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce	100
6.3.1 Variáveis abióticas: físicas e químicas	101
6.3.2 Perfil vertical de clorofila total e de material em suspensão	115
6.3.3 Zona Eufótica: uma abordagem comparativa	128
6.3.4 Atenuação da radiação solar subaquática e sua composição	139
6.3.5 Perfil da Radiação Fotossinteticamente Ativa (R.F.A.)	155
6.4 Estudo da “Varredura da radiação solar subaquática” nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (SP)	181
6.4.1 Variáveis abióticas: físicas e químicas	181
6.4.2 Perfil vertical de clorofila total e de material em suspensão	190
6.4.3. Zona Eufótica: uma abordagem comparativa	196
6.4.5 Perfil da Radiação Fotossinteticamente Ativa (R.F.A.)	212
6.5 Radiação Solar Total e Seletiva: Equipamento Teste – <i>Fotômetro Subaquático</i>	224
6.5.1 Desenvolvimento do equipamento teste	224
6.5.2 Testes comparativos do <i>fotômetro subaquático</i>	227
6.6 Espectrograma da radiação solar na água dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (SP)	250
6.7 Espectro de absorção da água superficial nos ambientes aquáticos situados nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil	255
7. DISCUSSÃO	269
7.1 Clima da radiação solar subaquática	269
7.2 Implicações sobre a atenuação da radiação solar subaquática e sua composição	270

7.3 Profundidade da Zona Eufótica: uma abordagem comparativa.	274
7.3.1 Comparação entre os ecossistemas artificiais	274
7.3.2 Comparação entre os ecossistemas naturais	281
7.3.3 Comparação entre os ecossistemas naturais e artificiais	284
7.4 Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da Radiação Solar Subaquática: Contribuição e Influência na Quantidade e Qualidade Espectral da Radiação Solar Subaquática	293
7.4.1 Coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática Kt, em ecossistemas artificiais e naturais	293
7.4.2 Componentes de Kt e a quantidade e qualidade espectral da radiação solar subaquática	298
7.5 “Varredura da Radiação Solar Subaquática” nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa	309
7.5.1 Profundidade da Zona Eufótica: uma abordagem comparativa ..	310
7.5.2 Coeficiente de Atenuação Total da Radiação Solar Subaquática, Kt, e seus componentes	316
7.5.3 Influências e interferências na penetração da radiação solar em toda extensão dos reservatórios e Barra Bonita e de Lobo-Broa	325
7.6 Aparelho Teste: <i>Fotômetro Subaquático</i>	330
7.7 Espectrograma da Radiação solar na água dos reservatórios de Bonita e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa)	332
7.8 Espectro de absorção da água superficial em ambientes aquáticos situados nas regiões: Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil	332
8. CONCLUSÕES	341
8.1 Energia Radiante Subaquática e Sua Importância	341
8.2 Interferências na Distribuição da Radiação Solar Subaquática	342
8.3 Diferenças entre Lagos e Reservatórios	345
8.4 Padrões das Circulações Vertical e Horizontal e a Penetração da Radiação Solar na Água	347
8.5 Espectro de Absorção da Água Superficial	347
8.6 Espectrograma da Radiação Solar Subaquática	349
8.7 Equipamento Teste	349
9. PERSPECTIVAS	351
BIBLIOGRAFIA	353

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	.Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre comparada com a de um corpo negro a 6000K e ao nível do mar (irradiância espectral expressa em $W.m^{-2}.nm^{-1}$).	8
FIGURA 2 -	Faixa espectral da radiação emitida pelo Sol.	8
FIGURA 3 -	Definição de Irradiância, I.	11
FIGURA 4 -	Posição relativa do Sol, no céu.	12
FIGURA 5 -	Radiação solar refletida e recebida na superfície terrestre	12
FIGURA 6 -	Reflexão e refração da luz na superfície de separação ar-água.	13
FIGURA 7 -	Principais fenômenos que ocorrem com a radiação solar incidente sobre o corpo d'água. 1) Radiação que não é absorvida, é apenas espalhada; 2) Ao incidir sobre um composto ou material em suspensão, parte é absorvida e parte é novamente espalhada; 3) A radiação espalhada pode retornar à atmosfera; 4) A radiação pode passar por processos sucessivos de espalhamento e absorção, até ser totalmente atenuada.	14
FIGURA 8 -	Localização dos sistemas aquáticos estudados no Brasil: (A) Rios lagos do Amazonas; (B) rio Tocantins (Estado de Tocantins); (C) rios e lagos de Natal, Rio Grande do Norte; (D) e (E) lagos do vale do rio Doce e córregos no município de Belo Horizonte, ambos no Estado de Minas Gerais, (F) reservatórios do Alto, Médio e Baixo Tietê e reservatório do Lobo-Broa, Estado de São Paulo.	20
FIGURA 9 -	Localização dos sistemas aquáticos do Estado de São Paulo: Reservatórios do Médio e Baixo Tietê e reservatório do Lobo-Broa.	21
FIGURA 10 -	Localização do sistema de lagos estudados no Parque Estadual e na área da CAF – Companhia Agrícola Florestal no Vale do rio Doce e a capital do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte.	29
FIGURA 11 -	Bacia Hidrográfica do reservatório do Lobo-Broa.	33
FIGURA 12 -	Localização da represa de Barra Bonita no Estado de São Paulo e municípios circunvizinhos.	35
FIGURA 13 -	Localização dos reservatórios do Alto Tietê no Estado de São Paulo.	40

FIGURA 14 -	Localização da Bacia da Pampulha no Município de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais.	43
FIGURA 15 -	Vista aérea de Natal (Estado do Rio Grande do Norte) e a ligação do rio Potengi com o mar.	45
FIGURA 16 -	Região metropolitana de Natal e a localização do rio Potengi.	46
FIGURA 17 -	Localização da Reserva Sustentável de Mamiraúa no Estado do Amazonas, rios Japurá e Solimões e o Município de Tefé.	48
FIGURA 18 -	Localização do rio Tocantins, no Estado de mesmo nome e das Usinas Hidrelétricas previstas. Atualmente em início de funcionamento, a de Lajeado.	52
FIGURA 19 -	Represa de Barra Bonita e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem, P2 e P3 nos rios Tietê e Piracicaba respectivamente.	59
FIGURA 20 -	Represa de Bariri e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem, P2 no rio Jau, P3 nas proximidades do Município de Itapuú e P4, no rio Bauru.	59
FIGURA 21 -	Represa de Ibitinga e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem e P2 no rio Jacaré Guaçu.	60
FIGURA 22 -	Represa de Promissão e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem e P2 nas proximidades do Município Sabino e P3 no rio Tietê entre as barragens de Promissão e Ibitinga.	60
FIGURA 23 -	Represa de Nova Avanhandava e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem e P2 no rio Santa Bárbara.	61
FIGURA 24 -	Represa de Três Irmãos e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem, P2 próximo ao Município de Sud Menucci e P3 próximo ao Município de Santo Antonio de Aracanguá ou simplesmente Aracanguá.	61
FIGURA 25 -	Lago D. Helvécio e a posição dos pontos de coleta: P1 para o estudo da penetração da radiação solar e os demais pontos para determinação da qualidade espectral da água superficial.	62
FIGURA 26 -	Localização dos pontos de coleta para os lagos: Aguapé, Aníbal, Águas Claras, Amarela, Ferrugem e Verde.	63
FIGURA 27 -	Lagoa Carioca e a posição do ponto de coleta: P1.	64

FIGURA 28 -	Pontos de coleta no reservatório de Barra Bonita, com os respectivos transectos traçados em cada ponto de observação indicados pelas letras A, C, e B as quais correspondem respectivamente às margens direita e esquerda e centro da represa, tomando-se como referencial a montante da barragem, no sentido do curso natural do rio.	65
FIGURA 29 -	Pontos de coleta no reservatório do Lobo-Broa, situados na posição central em relação às margens, dada a configuração da represa.	66
FIGURA 30 -	Localização dos pontos de coleta nos lagos do sistema do vale de lagos do Vale do rio Doce: Jacaré, Almecega e Ariranha.	68
FIGURA 31 -	Ilustração da Lagoa Azul, localizada em região pouco explorada pelo homem e de difícil acesso (A); Indicação do ponto em que a água foi coletada nesta lagoa (B).	69
FIGURA 32 -	Ilustração da Lagoa Carvão com Azeite, evidenciando a cobertura vegetal por toda a sua extensão (A); Detalhamento da cobertura vegetal (B)	69
FIGURA 33 -	Trecho do rio Doce (MG), em que foi coletada água superficial a caminho do lago Aníbal, em 11/08/1999. .	70
FIGURA 34 -	Córrego Ressaca próximo ao aterro sanitário de Belo Horizonte (MG).	70
FIGURA 35 -	Córrego Sarandi próximo ao distrito industrial de Contagem (MG).	71
FIGURA 36 -	Junção dos córregos Sarandi e Ressaca (MG).	71
FIGURA 37 -	Vista da lagoa Jacumã, município de Ceará-Mirim, região metropolitana de Natal (RN). A coleta foi realizada nas proximidades de sua margem.	72
FIGURA 38 -	Vista da lagoa de Pitangui, município de Extremoz, região metropolitana de Natal (RN). A coleta foi realizada nas proximidades de sua margem.	72
FIGURA 39 -	Localização geográfica da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (AM). Os pontos vermelhos indicam a região em que foi coletada água superficial.	73
FIGURA 40 -	Localização geográfica do rio Tocantins, (TO) e o ponto de coleta, próximo à montante da UHE Luis Eduardo Magalhães.	73
FIGURA 41 -	Resposta típica do sensor quântico do Quanta-meter LI-COR (LI-185A), em relação ao comprimento de onda e a resposta ideal.	77

FIGURA 42 -	Resposta espectral típica do detector fotocondutivo (PIN-25DP), em relação ao comprimento de onda.	79
FIGURA 43 -	Curva de transmitância da luz no filtro violeta em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 440 nm.	79
FIGURA 44 -	Curva de transmitância da luz no filtro azul em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 480 nm.	80
FIGURA 45 -	Curva de transmitância da luz no filtro verde em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 530 nm.	80
FIGURA 46 -	Curva de transmitância da luz no filtro vermelho em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 610 nm.	81
FIGURA 47 -	Visualização esquemática dos principais métodos e técnicas que foram utilizados nas atividades de campo para o estudo da radiação solar subaquática nos diversos ambientes aquáticos estudados.	86
FIGURA 48 -	Altura pluviométrica (mm) medida nos meses de janeiro e de julho nos anos de 1999 e 2000, em todo o Brasil.	90
FIGURA 49 -	Temperatura média (° C) atingida a cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.	93
FIGURA 50 -	Altura pluviométrica média (mm) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.	94
FIGURA 51 -	Pressão atmosférica média (mbar) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.	95
FIGURA 52 -	Umidade Relativa do Ar média (%) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.	96
FIGURA 53 -	Insolação média (h) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1999 e 2001.	97
FIGURA 54 -	Variação da precipitação (mm) no reservatório de Barra Bonita, Estado de São Paulo, de janeiro de 1992 a outubro de 1996.	98
FIGURA 55 -	Variação na velocidade do vento no reservatório de Barra Bonita, Estado de São Paulo, de janeiro de 1992 a outubro de 1996.	98
FIGURA 56 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Três Irmãos nos três pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.	101

FIGURA 57 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Nova Avanhandava e de Promissão nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.....	102
FIGURA 58 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho e novembro de 1999, período seco.	103
FIGURA 59 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em novembro de 1999, período seco.	104
FIGURA 60 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Três Irmãos e Nova Avanhandava nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	106
FIGURA 61 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Promissão e Ibitinga nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	107
FIGURA 62 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Bariri nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	108
FIGURA 63 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	109
FIGURA 64 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.	111

FIGURA 65 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem, Verde, Carvão com Azeite e Azul nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.	112
FIGURA 66 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	113
FIGURA 67 -	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem, Verde e Azul nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	114
FIGURA 68 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho de 1999, período seco.	115
FIGURA 69 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.	116
FIGURA 70 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho e novembro de 1999, período seco.	117
FIGURA 71 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em novembro de 1999, período seco.	118
FIGURA 72 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada respectivamente em fevereiro de 2000, período chuvoso.	120

FIGURA 73 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	121
FIGURA 74 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	122
FIGURA 75 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	123
FIGURA 76 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.	125
FIGURA 77-	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.	126
FIGURA 78 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	127
FIGURA 79 -	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	128
FIGURA 80 -	Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar (%) nos diferentes pontos de estudo em cada reservatório do Médio e Baixo Tietê, com a indicação da profundidade máxima, para os períodos seco, em julho e novembro de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).	136

FIGURA 81 -	Comparação entre as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ obtidas para cada reservatório do Médio e Baixo Tietê, com a indicação da profundidade máxima nos diferentes pontos de estudo, para os períodos seco, em julho e novembro de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).	137
FIGURA 82 -	Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar (%) em cada lago do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, com a indicação da profundidade máxima nos pontos de estudo, para os períodos seco, em agosto de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).	138
FIGURA 83 -	Comparação entre as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ obtidas para cada lago do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, com a indicação da profundidade máxima nos pontos de estudo, para os períodos seco, em agosto de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).	139
FIGURA 84 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.	157
FIGURA 85 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.	158
FIGURA 86 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho e novembro de 1999, período seco.	159
FIGURA 87 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em novembro de 1999, período seco.	160
FIGURA 88 -	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Três Irmãos, Nova Avanhandava e de Promissão em julho/1999, período seco.	162

FIGURA 89 -	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Ibitinga e de Bariri em respectivamente julho e novembro/1999, período seco.	163
FIGURA 90 -	. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em novembro/99, período seco.	164
FIGURA 91 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada respectivamente em fevereiro de 2000, período chuvoso.	165
FIGURA 92 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	166
FIGURA 93 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	167
FIGURA 94 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	168
FIGURA 95 -	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Três Irmãos, Nova Avanhandava e de Promissão em fevereiro/2000, período chuvoso.	171
FIGURA 96 -	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Ibitinga e de Bariri em fevereiro/2000, período chuvoso.	172
FIGURA 97 -	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em fevereiro/2000, período chuvoso.	173

FIGURA 98 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em Agosto de 1999, período seco.	174
FIGURA 99 -	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.	175
FIGURA 100	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos dos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela, Aníbal, Ferrugem e Verde em agosto/1999, período seco.	176
FIGURA 101	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	178
FIGURA 102	Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.	179
FIGURA 103	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos dos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela, Aníbal, Ferrugem e Verde em fevereiro/2000 - Período Chuvoso.	180
FIGURA 104	Região em que a represa de Barra Bonita (SP) está inserida, com a indicação de cada ponto de estudo da “Varredura da radiação solar subaquática”. Imagem Orbital do Satélite LANDSAT TM 7, data de passagem 23/03/01, composição colorida R5, G4, B3, resolução espacial 15 m.	182

FIGURA 105	Região em que a represa do Lobo-Broa (SP) está inserida, com a indicação de cada ponto de estudo da “Varredura da radiação solar subaquática”. Imagem Orbital do Satélite LANDSAT TM 7, data de passagem 23/03/01, composição colorida R5, G4, B3, resolução espacial 15 m.	183
FIGURA 106	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P5B, em dezembro de 1999, período chuvoso.	184
FIGURA 107	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P6B e P7B, em dezembro de 1999, período chuvoso.	185
FIGURA 108	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P5B, em julho de 2000, período seco.	187
FIGURA 109	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P6B e P7B, em julho de 2000, período seco.	188
FIGURA 110	Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório do Lobo-Broa nos pontos de coleta P1 e P2. (A) Período Chuvoso, em dezembro de 1999 e (B) Período Seco, em agosto de 2000.	189
FIGURA 111	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P3B, em dezembro de 1999, período chuvoso.	190
FIGURA 112	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P4B a P7B, em dezembro de 1999, período chuvoso.	191

FIGURA 113	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P3B, em julho de 2000, período seco.	193
FIGURA 114	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P4B a P7B, em julho de 2000, período seco.	194
FIGURA 115	Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório do Lobo-Broa nos pontos de coleta P1 e P2, em (A) Período chuvoso, dezembro de 1999 e em (B) Período seco, agosto de 2000.	195
FIGURA 116	Visão geral da penetração da radiação solar no reservatório de Barra Bonita através da relação entre as profundidades das zonas eufótica e afótica (%), em cada ponto de estudo nos períodos de alta precipitação em dezembro de 1999 (A), e seco em julho de 2000 (B).	201
FIGURA 117	Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar em cada ponto de estudo (%) do reservatório de Barra Bonita, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em julho de 2000 (B).	201
FIGURA 118	Comparação entre as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ em cada ponto de estudo do reservatório de Barra Bonita, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em julho de 2000 (B).	202
FIGURA 119	Visão geral da penetração da radiação solar no reservatório do Lobo-Broa através da relação entre as profundidades das zonas eufótica e afótica (%), em cada ponto de estudo nos períodos de alta precipitação em dezembro de 1999 (A), e seco em agosto de 2000 (B).	202
FIGURA 120	Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar em cada ponto de estudo (%) do reservatório do Lobo-Broa, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em agosto de 2000 (B).	203

FIGURA 121	Comparação entre as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ em cada ponto de estudo do reservatório do Lobo-Broa, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em agosto de 2000 (B).	203
FIGURA 122	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., em escala logarítmica, nas margens direita e esquerda e no centro de cada um dos oito pontos estudados em toda extensão do reservatório de Barra Bonita, no período chuvoso, em dezembro de 1999.	213
FIGURA 123	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., em escala logarítmica, nas margens direita e esquerda e no centro de cada um dos oito pontos estudados em toda extensão do reservatório de Barra Bonita, no período seco, em julho de 2000.	214
FIGURA 124	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. , em escala logarítmica, no centro de cada um dos quatro pontos estudados em toda extensão do reservatório do Lobo-Broa nos períodos chuvoso, em dezembro de 1999 (A); e seco, em agosto de 2000 (B).	215
FIGURA 125	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nas margens direita e esquerda e no centro dos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso.	217
FIGURA 126	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nas margens direita e esquerda e no centro dos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em julho de 2000, período seco.	218
FIGURA 127	Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água no centro dos pontos de estudo do reservatório do reservatório do Lobo-Broa, em dezembro de 1999, período chuvoso (A); e em agosto de 2000, período seco (B).	219

FIGURA 128	Percentual da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., que atinge determinadas profundidades indicadas na figura, em cada ponto estudado nas margens direita e esquerda e no centro do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso (A), e em julho de 2000, período seco (B).	220
FIGURA 129	Percentual da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A , que atinge determinadas profundidades que estão indicadas na figura, em cada ponto estudado no centro do reservatório do Lobo-Broa em dezembro de 1999, período chuvoso (A); e em agosto de 2000, período seco (B).	222
FIGURA 130	Teste 1. Comparação da atenuação da radiação solar total (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos lagos D. Helvécio e Aguapé, em agosto de 1999, período seco (A); Valores Normalizados (B).	229
FIGURA 131	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (<i>V</i> e <i>mV</i>), nos pontos P1 e P2 do reservatório de Bariri em novembro de 1999, período seco.	230
FIGURA 132	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (<i>V</i> e <i>mV</i>), no ponto P3 do reservatório de Bariri em novembro de 1999, período seco.	231

FIGURA 133	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) no ponto P4 do reservatório de Bariri, em novembro de 1999, período seco (A); Valores Normalizados (B).	232
FIGURA 134	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P3 do reservatório de Barra Bonita, em novembro de 1999, período seco.	233
FIGURA 135	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1B, P4B, P6B e P7B do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso.	234
FIGURA 136	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático), no ponto P3B do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso (A); Valores Normalizados (B).	235
FIGURA 137	Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 a P4 do reservatório do Lobo-Broa em dezembro de 1999, período chuvoso.	236

FIGURA 138	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P3 do reservatório de Três Irmãos em fevereiro de 2000, período chuvoso.	237
FIGURA 139	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas as escalas (V e em mV) no ponto P2 do reservatório de Três Irmãos em fevereiro de 2000, período chuvoso.	238
FIGURA 140	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P2 do reservatório de Promissão em fevereiro de 2000, período chuvoso.	239
FIGURA 141	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 a P4 do reservatório de Bariri em fevereiro de 2000, período chuvoso.	240

FIGURA 142	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 a P3 do reservatório de Barra Bonita em fevereiro de 2000, período chuvoso.	241
FIGURA 143	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (V e mV) nos lagos D. Helvécio e Carioca, em fevereiro de 2000, período chuvoso.	243
FIGURA 144	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (V e mV) nas lagoas Amarela e Verde, em fevereiro de 2000, período chuvoso.	245
FIGURA 145	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nas lagoas Aguapé e Ferrugem, em fevereiro de 2000, período chuvoso (A); Valores Normalizados (B).	246
FIGURA 146	Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos lagos Aníbal e Águas Claras, em fevereiro de 2000, período chuvoso.	247

FIGURA 147	Teste 5. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P3 do reservatório do Lobo-Broa, em agosto de 2000, período seco (A); Valores Normalizados (B).	248
FIGURA 148	Teste 5. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR 185A - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P2 e P4 do reservatório do Lobo-Broa, em agosto de 2000, período seco.	250
FIGURA 149	Espectrograma do reservatório do Lobo-Broa, no ponto localizado no corpo central do mesmo, em junho de 2002, período seco.	252
FIGURA 150	Espectrograma do reservatório do Lobo-Broa, no ponto localizado no corpo central do mesmo em julho de 2002, período seco.	253
FIGURA 151	Espectrograma do reservatório de Barra Bonita, em setembro de 2002, período seco.	254
FIGURA 152	Espectro de absorção da Radiação solar em águas superficiais nos lagos Mamirauá e Tefé e nos rios Solimões e Japurá, no Estado do Amazonas; e rio Tocantins, no Estado de Tocantins, em julho de 1999, períodos chuvoso e seco respectivamente.	255
FIGURA 153	Espectro de absorção da luz em águas superficiais no rio Potengi e nas lagoas Jacumã e Pitanguí, em Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte, em 14 de setembro de 1999, período seco.	256
FIGURA 154	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos córregos Ressaca (próximo ao aterro sanitário) e Sarandi (nas proximidades do Horto Florestal) e na junção entre eles, em Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, em dezembro de 1999, período chuvoso.	257

FIGURA 155	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal, Águas Claras e Azul; e do rio Doce, no Estado de Minas Gerais, em agosto de 1999, período seco (A) e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).	258
FIGURA 156	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce: Verde, Jacaré, Ferrugem, Almecega, Ariranha, Amarela e Carvão com Azeite, no Estado de Minas Gerais, em agosto de 1999, período seco (A) e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).	259
FIGURA 157	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos reservatórios do Alto Tietê: Pedro Beicht, Paulo P. Castro, Billings (Estações 1 e 4), Jundiá, Taiapuê, Ponte Nova e Ribeirão do Campo, no Estado de São Paulo, em agosto de 1999, período seco.	261
FIGURA 158	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê: Três Irmãos, Nova Avanhandava, Promissão e Ibitinga, no Estado de São Paulo, em julho de 1999, período seco (A) e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).	263
FIGURA 159	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê: Bariri e Barra Bonita, no Estado de São Paulo, em novembro de 1999, período seco (A), e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).	264
FIGURA 160	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos pontos de estudo de toda extensão do reservatório de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, em dezembro de 1999, período chuvoso (A) e em julho de 2000, período seco (B).	265
FIGURA 161	Espectro de absorção da luz em águas superficiais nos pontos de estudo do reservatório do Lobo-Broa, no Estado de São Paulo, em dezembro de 1999, período chuvoso e em agosto de 2000, período seco.	267
FIGURA 162	Conjunto de fatores que interferem no estabelecimento do clima de radiação solar subaquática.	273

FIGURA 163	Estratificação térmica e química nos pontos P2 e P4 do reservatório de Bariri e a relação entre as profundidades das zonas eufótica e de mistura em cada um desses pontos, em novembro de 1999, período seco.	277
FIGURA 164	Estratificação térmica e química nos pontos P2 e P4 do reservatório de Bariri e a relação entre as profundidades das zonas eufótica e de mistura em cada um desses pontos, em fevereiro de 2000, período chuvoso.	279
FIGURA 165	Estratificação térmica e química nos lagos D. Helvécio e Aníbal, a relação entre as profundidades das zonas de mistura e eufótica e a delimitação definida ou não da camada metalimnética em cada lago no mês de fevereiro de 2000, período chuvoso. ...	283
FIGURA 166	Comparação da profundidade da zona eufótica dos lagos estudados nos períodos seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	286
FIGURA 167	Representação da coluna d'água e a extensão do metalímnio para lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, em dezembro de 1985. O símbolo T invertido indica a profundidade Secchi.	287
FIGURA 168	Representação dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em um sistema em cascata.	290
FIGURA 169	Comparação da profundidade da zona eufótica dos pontos de estudo do sistema de reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	291
FIGURA 170	Valor do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, Kt, para os pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce nos períodos: seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	294
FIGURA 171	Valor do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, Kt, para os pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	294

FIGURA 172	Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, (K_t): K_w, K_c e K_x nos pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce nos períodos: seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	299
FIGURA 173	Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, (K_t): K_w, K_c e K_x nos pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	299
FIGURA 174	Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c, nos pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, nos períodos: seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	305
FIGURA 175	Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c, nos pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).	305
FIGURA 176	Comparação da profundidade da zona eufótica no centro e nas margens direita e esquerda entre os pontos do reservatório de Barra Bonita, em dezembro de 1999, período chuvoso.	312
FIGURA 177	Comparação da profundidade da zona eufótica no centro e nas margens direita e esquerda entre os pontos do reservatório de Barra Bonita, em julho de 2000, período seco.	313
FIGURA 178	Comparação da profundidade da zona eufótica entre os pontos do reservatório do Lobo-Broa, em dezembro de 1999, período chuvoso (A), e em agosto de 2000, período seco (B).	315
FIGURA 179	Valor do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, K_t, para os pontos em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em julho e agosto de 2000 (B).	317

FIGURA 180	Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c, nos pontos de estudo em toda extensão do reservatório de Barra Bonita, nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em julho de 2000 (B).	319
FIGURA 181	Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c, nos pontos de estudo em toda extensão do reservatório do Lobo-Broa, nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em agosto de 2000 (B).	319
FIGURA 182	Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, (K_t): K_w, K_c e K_x na superfície dos pontos de toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em julho e agosto de 2000 (B).	320
FIGURA 183	Espectro de absorção da luz na água do ponto P3B do reservatório de Barra Bonita em 28/07/2000, período seco, nas profundidades indicadas.	324
FIGURA 184	Espectro de absorção da luz na água do ponto P7B do reservatório de Barra Bonita em 08/12/99, período chuvoso (A) e em 27/07/2000, período seco, nas profundidades indicadas.	324
FIGURA 185	Perfil longitudinal no sentido do rio Ter para a represa Sau. (a) Biomassa e abundância de bactéria. (b) Abundância de nanoflagelados heterotróficos (NFH) e ciliados. (c) Comparação da produção bacteriana e "grazing" para NFH e ciliados.	328
FIGURA 186	Perfil longitudinal no sentido do rio Ter para a represa Sau da concentração de clorofila a e produção primária.	329
FIGURA 187	Comparação do perfil longitudinal em toda a extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa da concentração de clorofila total na superfície e da concentração média de clorofila total na profundidade da zona eufótica, em dezembro de 1999.	330

FIGURA 188	“Índice de Qualidade Espectral da água” – I.Q.E.A para lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce e para córregos situados em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. Lagos em agosto de 1999 no período seco (A); e córregos e lagos em dezembro de 1999 e fevereiro de 2000, respectivamente no período chuvoso (B).	336
FIGURA 189	de Qualidade Espectral da água” – I.Q.E.A para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, Estado de São Paulo em julho e novembro de 1999 no período seco (A); e em fevereiro de 2000 no período chuvoso (B). ..	337
FIGURA 190	. “Índice de Qualidade Espectral da água” – I.Q.E.A em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, Estado de São Paulo em dezembro de 1999 no período chuvoso (A); e em julho e agosto de 2000 no período seco (B).	338
FIGURA 191	“Índice de Qualidade Espectral da água”- I.Q.E.A para os reservatórios do Alto Tietê, Estado de São Paulo, em agosto de 1999.	339
FIGURA 192	“Índice de Qualidade Espectral da água”- I.Q.E.A para lagos e rios do Estado do Amazonas (julho de 1999), do Estado do Rio Grande do Norte (setembro de 1999) e rio Tocantins, Estado de Tocantins (em julho de 1999).	339
FIGURA 193	Representação esquemática do “<i>índice de Qualidade Espectral da Água</i>”, IEQA, apresentando os valores correspondentes na escala de absorbância da radiação solar (%) considerada.	348

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Localização de cada cor no espectro do visível.	9
TABELA 2 - Localização dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê no Estado de São Paulo.	22
TABELA 3 - Valores médios para o tempo de residência da água e para algumas características morfométricas dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no Estado de São Paulo.	25
TABELA 4 - Posição Geográfica e Profundidade (no ponto de coleta) de cada lago estudado no sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais.	30
TABELA 5 - Localização dos reservatórios do Alto Tietê (Estado de São Paulo).	38
TABELA 6 - Localização dos ambientes aquáticos estudados nos Estados: Rio Grande do Norte, Amazonas, Tocantins e Minas Gerais.	38
TABELA 7 - Datas das atividades em campo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo).	58
TABELA 8 - Datas das atividades em campo dos lagos do Vale do rio Doce (Estado de Minas Gerais).	62
TABELA 9 - Data das atividades em campo dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (Estado de São Paulo). ...	64
TABELA 10 - Data das atividades em campo para determinação do espectro de absorção da água superficial em ecossistemas naturais e artificiais do Brasil.	67
TABELA 11 - Especificação do aparelho Horiba U-10, para as medidas de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade e turbidez.	75
TABELA 12 - Valores médios diários das variáveis climatológicas do sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais, no mês de agosto/99 – Inverno: Período Seco. ..	91
TABELA 13 - Valores médios diários das variáveis climatológicas do sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais, nos meses de janeiro e fevereiro/2000 – Verão: Período chuvoso.	92
TABELA 14 - Valores médios diários climatológicas da represa do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, no mês de dezembro/99 – Verão: Período chuvoso.	99
TABELA 15 - Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, no mês de agosto/2000 – Inverno: Período seco.	100

TABELA 16 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê em julho e novembro de 1999 (Primeira Coleta).	131
TABELA 17 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê em fevereiro de 2000 (Segunda Coleta).	132
TABELA 18 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os lagos do Vale do rio Doce em agosto de 1999 (Primeira Coleta).	133
TABELA 19 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os lagos do Vale do rio Doce em fevereiro de 2000 (Segunda Coleta).	134
TABELA 20 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Três Irmãos em julho/99 (Primeira Coleta – Período Seco). .	140
TABELA 21 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Nova Avanhandava em julho/99 (Primeira Coleta – Período Seco).	141
TABELA 22 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Promissão em julho/99 (Primeira Coleta – Período Seco).	141
TABELA 23 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para as represas de Ibitinga em julho/99 e de Bariri em novembro/99 (Primeira Coleta – Período Seco).	142
TABELA 24 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Barra Bonita em novembro/99 (Primeira Coleta – Período Seco).	143
TABELA 25 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Três Irmãos em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).	144
TABELA 26 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Nova Avanhandava em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).	145
TABELA 27 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Promissão em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).	146

TABELA 28 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Ibitinga em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).	147
TABELA 29 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Bariri em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).	148
TABELA 30 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Barra Bonita em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).	149
TABELA 31 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para os lagos D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal e Águas Claras em agosto/99 (Primeira Coleta – Período Seco).	151
TABELA 32 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para lagos Carvão com Azeite, Amarela, Ferrugem e Verde em agosto/99 (Primeira Coleta – Período Seco).	152
TABELA 33- Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para os lagos D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal e Águas Claras em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso). ...	153
TABELA 34 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para os lagos Carvão com Azeite, Amarela, Ferrugem e Verde em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso). ...	155
TABELA 35 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa em dezembro de 1999 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).	197
TABELA 36 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa em julho e agosto de 2000, respectivamente (Segunda Coleta – Período Seco).	198
TABELA 37 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P1B, P2B, P3B e P4B, em dezembro/99 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).	206
TABELA 38 - Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P5B, P6B, e P7B, em dezembro/99 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).	207

TABELA 39 -	Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa do Lobo-Broa, em dezembro/99 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).	207
TABELA 40	Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P1B, P2B, P3B e P4B, em julho/2000 (Segunda Coleta – Período Seco).	209
TABELA 41	Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P5B, P6B, e P7B, em julho/2000 (Segunda Coleta – Período Seco).	210
TABELA 42 -	Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para a represa do Lobo-Broa, em agosto/2000 (Primeira Coleta – Período Seco).	211
TABELA 43 -	Comparação da profundidade da zona eufótica (%) nos lagos Aguapé, Águas Claras e Aníbal, nos períodos seco e chuvoso.	284
TABELA 44 -	Semelhanças e diferenças das características ópticas entre o reservatório de Ibitinga, ponto P1 e a lagoa Carioca, no período seco e entre o reservatório de Promissão, ponto P1 e a lagoa Aníbal no período chuvoso.	295
TABELA 45	Coeficiente de atenuação total da radiação fotossinteticamente ativa, K_t, em águas interiores (KIRK, 1977).	297
TABELA 46	Coeficiente de atenuação vertical (K_t), concentrações médias sazonais de clorofila <i>a</i> e material em suspensão nas regiões norte, centro, sul e oeste no lago Okeechobee, Flórida (ALDRIDGE, et al. 1995).	297
TABELA 47	Coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática K_t, em horários diferentes do mesmo dia, para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, no inverno (agosto e Setembro de 1996) e no verão (fevereiro a março de 1996). (RODRIGUES, 1997).	298
TABELA 48	Percentual dos quanta fotossinteticamente absorvidos devido ao material em suspensão (frações particulada e dissolvida) contido na água de lagos e represas (KIRK, 1980).	301
TABELA 49	Profundidade da Zona eufótica e os componentes K_w, K_c e K_x na atenuação da radiação fotossinteticamente ativa para cinco reservatórios brasileiros entre 25 e 27 de julho de 1989 (TUNDISI, et al. 1983).	301

TABELA 50	Coefficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, K_t, e seus componentes K_w, K_c e K_x para o reservatório de Barra Bonita no verão (23/02/96 – 15:00h) e no inverno (01/08/96 – 09:00h) (RODRIGUES, 1997).	302
TABELA 51	Componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática K_c (valor médio) e a concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área na região da profundidade da zona eufótica para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, em agosto/99 (inverno) e em fevereiro/2000 (verão).	306
TABELA 52	Componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática K_c (valor médio) e concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área na região da profundidade da zona eufótica para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em julho e novembro de 1999 (inverno) e em fevereiro de 2000 (verão).	306
TABELA 53	Concentração de clorofila a para reservatórios do Estado de São Paulo (média de quatro amostragens em diferentes estações do ano) durante o ano de 1979 (TUNDISI, 1983).	307
TABELA 54	Componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática K_c (valor médio) e Concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área na região da profundidade da zona eufótica em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), em dezembro de 1999 (verão) e em julho e agosto de 2000 (inverno).	318
TABELA 55	“Índice de Absorção Espectral da Água”, IAEA, determinado comparativamente dentre os ambientes aquáticos estudados.	334

LISTA DE SÍMBOLOS

A	absorbância da luz (sem unidade)
<i>a</i>	coeficiente de absorção da luz, (m^{-1})
<i>c</i>	velocidade da luz, ($v = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)
dA	elemento infinitesimal de área
d ω	elemento infinitesimal de um ângulo sólido
E	energia de uma onda eletromagnética, (J, $W.s^{-1}$)
<i>h</i>	constante de Planck, ($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)
I, I_z	Irradiância (300 nm - 750 nm) a uma dada profundidade e na profundidade z de um corpo d'água, ($\mu\text{Einstein.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
I_0	Irradiância incidente (300 nm - 750 nm) numa superfície de água, ($\mu\text{Einstein.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
IR	Intensidade Radiante emitida por uma fonte de luz ($\text{quanta.s}^{-1}.\text{sr}^{-1}$ ou W ou $\text{J.s}^{-1}.\text{sr}^{-1}$)
IAEA	índice de absorção espectral da água
K _w	coeficiente de atenuação devido a água e compostos dissolvidos, (m^{-1})
K _c	coeficiente de atenuação devido a clorofila, (m^{-1})
\bar{K}_c	valor médio do coeficiente de atenuação devido a clorofila, (m^{-1})
K _x	coeficiente de atenuação devido ao material em suspensão (frações orgânica e inorgânica), (m^{-1})
K _t	coeficiente de atenuação total da radiação solar, (m^{-1}), na faixa fotossinteticamente ativa
nm	nanometro (unidade de comprimento de onda, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
<i>r</i>	trajetória percorrida pela luz em uma camada de água, (m)
R.F.A.	radiação fotossinteticamente ativa, ($\mu\text{Einstein.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, $\text{Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, $\text{Cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)
V	Volt
mV	miliVolt (10^{-3} V)

z	profundidade, (m)
Z_{eu}	profundidade de penetração da luz solar, na faixa espectral do visível a 1% do nível de incidência: zona eufótica, (m)
$Z_{m\acute{a}x.}$	profundidade máxima do corpo d'água no ponto de estudo
$Z_{mix.}$	profundidade na qual ocorre circulação completa e temperatura homogênea: profundidade da zona de mistura, (m)
ZDS	profundidade que o disco de Secchi desaparece: profundidade Secchi, (m)
Z_{eu}/ZDS	relação entre a profundidade da zona eufótica e a profundidade Secchi, (sem unidade)
$Z_{eu}/Z_{m\acute{a}x.}$	relação entre a profundidade da zona eufótica e a profundidade máxima (sem unidade)
$Z_{eu}/Z_{mix.}$	relação entre a profundidade da zona eufótica e a profundidade da zona de mistura (sem unidade)
\bar{Z}_{eu}	valor médio da profundidade da zona eufótica, no ponto de estudo, (m)
λ	comprimento de uma onda do espectro eletromagnético na faixa do visível, (nm)
ν	freqüência de uma onda eletromagnética, (s^{-1})
Φ	Fluxo radiante de uma fonte de luz ($quanta \cdot s^{-1}$ ou W ou $J \cdot s^{-1}$)
θ	ângulo entre a normal à superfície dS e a direção da Irradiância

RESUMO

RODRIGUES, S.L. (2003). “*Comparação da atenuação da radiação solar e dos fatores que determinam o clima de radiação solar subaquática em lagos e reservatórios do Brasil*”. São Carlos, 2003. 363p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O estudo da penetração da radiação solar no meio aquático foi desenvolvido em quatro partes. Na primeira delas, voltada para a atenuação da radiação solar na coluna d’água, foram discutidos fatores de interferência e suas inter-relações. Neste sentido, foi feita uma comparação da penetração da radiação solar em ecossistemas continentais naturais e artificiais, analisando as diferenças e similaridades. O estudo comparativo da atenuação da radiação solar subaquática em toda extensão de reservatórios constituiu a segunda parte deste trabalho. A comparação foi feita entre reservatórios que apresentam proximidades de localização, mas com diferenças marcantes nos usos e ocupações nas regiões em que os mesmos estão inseridos. Na terceira parte foram apresentados dois recursos de grande utilização na obtenção das respostas imediatas do ambiente aquático, do ponto de vista óptico, diante dos impactos sofridos. O primeiro recurso foi a determinação do espectrograma da radiação solar, indicando a atenuação da radiação solar subaquática na faixa fotossinteticamente ativa (400 nm - 700 nm). O outro recurso foi a obtenção do espectro de absorção da água superficial, que permitiu o estabelecimento do “Índice de Absorção Espectral da Água”, I.A.E.A., que facilmente possibilita a detecção de fontes pontuais de poluição e contaminação. Como quarta e última parte foi proposto o desenvolvimento de um aparelho a partir da reconstrução do hidrofotômetro (Modelo Nº 268 WA 310 GM MFG & Instrument Corp. Bronx. N.Y. 10 451), onde foi introduzido e adaptado o detector fotocondutivo (PIN - 250DP) em substituição às fotocélulas anteriormente danificadas. Durante o trabalho de campo, este aparelho foi testado e foi feita a comparação com os obtidos do Quanta-meter LI-COR (LI - 185A) também utilizado neste trabalho.

Palavras-chave: lagos, reservatórios, radiação solar subaquática, coeficiente de atenuação, espectro de absorção e espectrograma.

ABSTRACT

RODRIGUES, S. L. (2003). “*Comparison of solar radiation attenuation and factors that determine underwater solar radiation climate in lakes and reservoirs of Brazil*”. São Carlos, 2003. 363p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The study of solar radiation penetration in aquatic environment was developed in four parts. The first one, directed to solar radiation attenuation in the water column, interference factors and their inter-relations were discussed. In this sense, a penetration comparison of the solar radiation in natural and artificial continental ecosystems was carried out, analyzing differences and similarities. The second part of this work consisted of a comparative study of underwater solar radiation in the entire reservoir. The comparison was done between reservoirs that are near to one another, but with marked differences in use and occupation within the regions where they are located. In the third part, two resources of great utilization in obtaining immediate response from the aquatic environment, from an optical point of view of the impacts experienced, were presented. The first resort was the spectrogram determination of solar radiation, which indicated the underwater solar radiation attenuation in the active photosynthetic range (400 nm - 700 nm). The other resort was the superficial water absorption spectrum, which allowed establishing the “Water Spectral Absorption Index”, I.A.E.A. that easily makes possible detection of accurate sources of pollution and contamination. The fourth and last part proposed to develop an apparatus from the construction of an underwater hydrophotometer (Model 268 WA 310 GM MFG & Instrument Corp. Bronx N.Y. 10451), where the photoconductor detector was adapted and introduced (PIN - 250DP) substituting the previously damaged photocells. During field work, this apparatus was tested and comparison was performed with data obtained from Quanta-meter LI-COR (LI - 185A), also used in this work.

Keywords: lakes, reservoirs, underwater solar radiation, attenuation coefficient, absorption spectrum and spectrogram

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é de grande importância na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, uma vez que toda energia que dirige e controla o seu metabolismo é diretamente derivada da energia solar utilizada na fotossíntese. Além disso a radiação solar não fotossinteticamente ativa tem outras influências no balanço térmico de sistemas aquáticos.

Segundo MARGALEF (1991) a penetração diferenciada da radiação solar em ecossistemas aquáticos e o clima de radiação solar subaquático podem ser responsáveis, dentre outros fatores, pela geração de complexidades estruturais e espaciais nos ecossistemas aquáticos, devido às características diversas dos componentes da radiação solar que atinge diferentes profundidades. Esta complexidade pode ser observada tanto em sistemas dinâmicos como estáveis. Isto justifica a escolha de lagos e reservatórios para comparação neste trabalho.

Organismos aquáticos podem se adaptar com as condições fóticas do ambiente como a *Daphnia* que migra diurnamente de regiões mais profundas para a superfície e é adaptada à vida com mudanças fóticas e apresenta receptores visuais controlados por quatro picos espectrais: 370 nm, 435 nm, 570 nm e 685 nm.

Similarmente ocorre entre peixes, aqueles que habitam regiões mais profundas, condições ambientais na faixa espectral do azul, apresentam receptores visuais controlados na faixa de 485 nm, e sendo esta mais ampla para peixes de águas mais rasas (WETZEL, 2001).

Para o estudo da radiação solar no meio aquático a que este trabalho se reporta, inicialmente é necessário a exposição de conceitos físicos envolvidos.

O termo genérico “Óptica”, freqüentemente é usado para definir a parte da Física que está relacionada com a luz e como esta é afetada pela natureza do meio através do qual ela atravessa (KIRK, 1983).

A *Óptica aquática* envolve estudos sobre a propagação da luz em meios aquáticos e também discute a passagem da luz entre meios adjacentes. Portanto, a propagação da luz através da atmosfera e a sua interação com a matéria sólida existente nos corpos d’água, podem ser incorporados nestes estudos (BUKATA et al., 1995).

Estudos desta natureza, podem ser divididos em *Óptica Oceanográfica* (águas marinhas) e *Óptica Limnológica* (águas interiores). Segundo BUKATA et al. (1995), a primeira, tem sido considerada como parte integrante da Oceanografia, com grandes avanços no desenvolvimento de instrumentos ópticos subaquáticos sofisticados e técnicas computacionais interpretativas. Já a *Óptica Limnológica*, não tem apresentado o mesmo desenvolvimento, embora os conhecimentos aplicados na *Óptica Oceanográfica* possam ser igualmente aplicáveis para ambientes limnológicos e costeiros.

Neste sentido, desenvolveram-se estudos sobre o comportamento da radiação solar em ecossistemas aquáticos de águas interiores, que apresentam diferenças no tocante a localização, interação e impactos das bacias hidrográficas, cujos dados obtidos podem fornecer subsídios comparativos do regime radiação solar subaquática em cada ambiente estudado.

A radiação solar incidente sobre uma superfície de água, não a penetra totalmente, pois uma parte significativa desta é refletida. Esta radiação, não disponível para o sistema aquático, pode ainda sofrer reflexão ou “backscattering”, através da atmosfera e vizinhanças (WETZEL & LIKENS, 1991).

A porção da radiação que atravessa um corpo d'água tem sua intensidade reduzida e sua qualidade espectral é alterada como resultado da absorção diferenciada, pelos componentes do meio aquático. A atenuação da luz é acentuada com a profundidade devido a presença de material que ocasiona espalhamento (“scattering”) dentro da água, com o desvio da trajetória do feixe luminoso, sendo posteriormente absorvido. Desta forma, a atenuação da radiação solar subaquática é devido aos mecanismos de absorção e de espalhamento (KIRK, 1980).

Existem ainda outros fatores que podem influenciar na penetração da radiação solar em ambientes aquáticos, dentre eles podem-se citar os parâmetros ambientais, como altitude solar, cobertura de nuvens, época do ano e hora do dia. As condições hidrometeorológicas e os usos e ocupações da bacia hidrográfica, constituem também fatores de interferência na qualidade e quantidade da radiação solar subaquática, considerando a entrada de material particulado e dissolvido no sistema.

A partir destas considerações, estudou-se como ocorre a penetração da radiação solar, na faixa fotossinteticamente ativa, para os diferentes ecossistemas continentais naturais (lagos) e artificiais (reservatórios), estabelecendo padrões de penetração de radiação fotossinteticamente ativa.

Os estudos sobre Óptica Limnológica no Brasil são ainda relativamente escassos, principalmente no que diz respeito às relações ente os componentes ópticos e o funcionamento dos sistemas aquáticos.

Este trabalho tem por objetivo contribuir para ampliar o conhecimento da penetração da energia radiante em sistemas aquáticos continentais naturais e artificiais e de analisar os fatores que determinam a sua absorção e o clima de radiação subaquática nesses ecossistemas e também a relação com as características limnológicas e funcionais destes ecossistemas.

Foram escolhidos ambientes naturais (lagos) e artificiais (reservatórios) com a finalidade de comparar processos que interferem no clima de radiação solar subaquática.

2. OBJETIVOS

Dada a importância fundamental da radiação solar nos ecossistemas aquáticos, do ponto de vista da energia disponível para a produtividade primária do fitoplâncton, macrófitas e perifiton, e sua influência marcada no comportamento dos organismos aquáticos, é de grande relevância o estudo do clima de radiação solar estabelecido nestes ambientes aquáticos, que apresentam diferenças quanto a localização, interação e impactos das bacias hidrográficas em que estão inseridos.

2.1 Objetivos Principais

- O objetivo principal deste trabalho foi fazer uma comparação entre ecossistemas aquáticos naturais (lagos) e artificiais (reservatórios) do Brasil, do ponto de vista das propriedades ópticas, obtendo-se matrizes ópticas diferenciadas, as quais por sua vez, foram utilizadas para caracterizar cada um desses ecossistemas com uma “assinatura óptica”, relacionando qualidade espectral da radiação solar subaquática com as condições de contaminação e poluição e os usos da bacia hidrográfica. As causas da atenuação da radiação solar que atinge a superfície de lagos e represas, bem como os fatores que interferem nesta atenuação foram também objetos deste trabalho.
- A comparação assim estabelecida, pode contribuir para o refinamento dos métodos de análise de impactos e descrever seus efeitos nos sistemas

aquáticos. O conjunto de informações obtido pode ser aplicado para resolver problemas práticos de identificação de fontes poluidoras e de contaminação nos ecossistemas aquáticos, e dar condições para aprimorar o gerenciamento de bacias hidrográficas, lagos e reservatórios.

- O clima de radiação solar subaquática foi estudado comparativamente entre lagos e represas, incluindo-se a interação entre este clima de radiação e os mecanismos de funcionamento.

2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivos principais desta pesquisa fossem atingidos, os estudos desenvolvidos em vários sistemas aquáticos do Brasil foram norteados por:

- Comparação da quantidade e qualidade espectral da radiação solar fotossinteticamente ativa em ecossistemas aquáticos com diferentes níveis de interação e impactos das bacias hidrográficas.
- Determinação do “*Índice de absorção espectral da água*”, IAEA. Este índice possibilitou estabelecer condições comparadas mediante identificação de águas superficiais com baixa, média e alta absorbâncias.
- Contribuição para tecnologias de gerenciamento de lagos e represas, seja pela manipulação da profundidade da zona eufótica ou pela detecção de impactos dos usos das bacias hidrográficas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Teoria Básica

A energia radiante emitida pelo Sol (radiação solar) fornece praticamente toda a energia para os processos naturais sobre a superfície da Terra e sua atmosfera.

A temperatura na superfície do Sol é cerca de 6000K (KIRK, 1983) e a sua superfície emite $68 \times 10^6 \text{ W.m}^{-2}$. A Terra encontra-se a $150 \times 10^6 \text{ km}$ de distância, de forma que a radiação que chega à órbita terrestre é apenas 1360 W.m^{-2} (denominada de constante solar).

Segundo KIRK (1983), a intensidade e a distribuição espectral da radiação solar recebida pela Terra são funções tanto das características de emissão como da distância que o Sol está da Terra. A figura 1 ilustra a distribuição espectral da radiação solar até atingir a superfície terrestre.

A luz chega como um campo pulsante de força eletromagnética, composta de uma faixa contínua de ondas eletromagnéticas vindas do Sol a uma velocidade praticamente constante e igual a $3 \times 10^5 \text{ km.s}^{-1}$. Existe uma infinidade de raios individuais dentro da radiação solar, cada qual possuindo comprimento de onda (λ) e frequência (ν) características.

Um vasto espectro eletromagnético é formado por toda a gama de ondas irradiadas pelo Sol (figura 2), mas apenas uma pequena fração atinge a superfície terrestre, que corresponde à luz solar. Neste conjunto estão incluídas a faixa do visível, radiação ultravioleta e infravermelho, abrangendo

aproximadamente uma faixa espectral entre 10^0 nm e 10^6 nm. Dentro desta faixa, as ondas que podem ser detectadas pelo olho humano, se encontram aproximadamente entre 380 nm e 780 nm, sendo esta definida como “luz”, enquanto que os raios com comprimentos de onda fora desta faixa são denominados “radiação” (COLE, 1979).

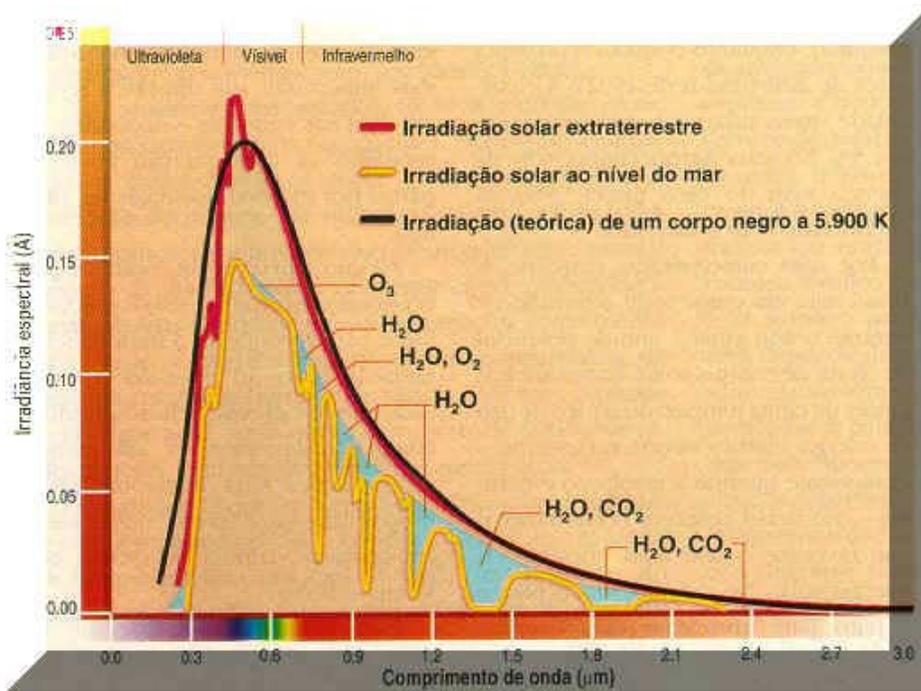


FIGURA 1. Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre comparada com a de um corpo negro a 6000K e ao nível do mar (irradiância espectral expressa em $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$).

Fonte: Adaptado de Valley, S.L., Ed. Handbook of Geophysics and Space Environments, Air Force Cambridge Research Laboratories, McGraw-Hill, N.Y. (1965).

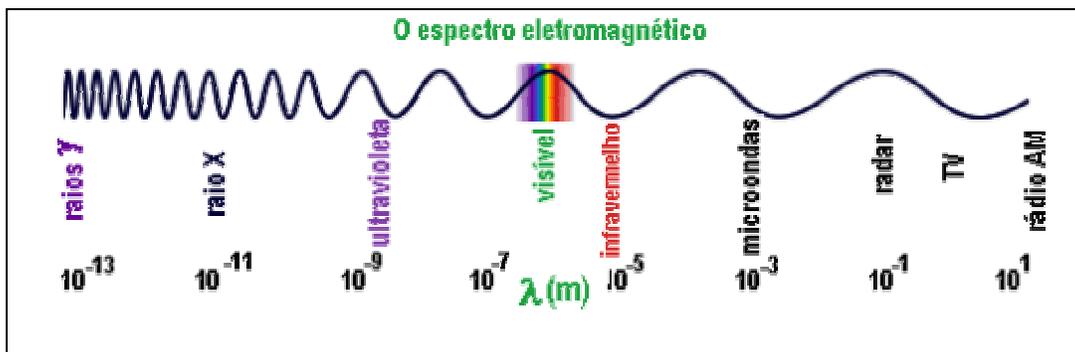


FIGURA 2. Faixa espectral da radiação emitida pelo Sol.

Fonte: GEOCITES (2003).

A região espectral do visível é composta por sete cores (violeta, azul escuro ou anil, azul claro, verde, amarelo, laranja e vermelho), na qual cada uma delas corresponde a uma faixa ou intervalo de comprimento de onda. A tabela 1, ilustra a faixa espectral correspondente a cada cor do espectro do visível.

TABELA.1. Localização de cada cor no espectro do visível.

Cor	Comprimento de onda ($10^9 \text{ m} = 1\text{nm}$)
violeta	390 – 445
Azul escuro	445 – 488
Azul claro	488 - 505
verde	505 – 575
amarelo	575 – 585
laranja	585 – 620
vermelho	620 – 740

Fonte: BUKATA, et al. (1995)

A luz contém “quantas” de energia, que varia segundo o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν), onde pela teoria quântica de Planck, tem-se:

$$E = h \cdot \nu \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Onde:

E → energia de um fóton (ou quantum de radiação)

ν → frequência da onda eletromagnética

λ → comprimento da onda eletromagnética

c → velocidade da luz ($c = 3 \times 10^5 \text{ km.s}^{-1}$)

h → constante de Planck, $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Esta energia é transportada pelas ondas eletromagnéticas do Sol até a Terra, onde, para os fenômenos de propagação, a luz assume comportamento ondulatório (dotada de comprimento de onda e frequência). Enquanto que ao se tratar de sua interação com a matéria, nos processos de emissão e absorção,

assume caracter corpuscular (dotada de velocidade).

3.2 Fundamentos de Fotometria

Fotometria é a parte da Óptica que investiga os métodos e processos de medida das grandezas associadas à luz. Luz é a energia radiante avaliada de acordo com a sua capacidade de produzir sensação visual (STEEB, E.S.J & FORSYTHE, W.E., 1967).

As principais grandezas e unidades de medida utilizadas neste estudo são:

- **Fluxo radiante, Φ**

É a quantidade de fluxo de energia eletromagnética por tempo, expressa em $\text{quanta}\cdot\text{s}^{-1}$ ou W ou $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$.

- **Intensidade Radiante, I_R**

É a relação do fluxo radiante Φ por unidade de ângulo sólido em uma direção específica. Pode-se expressar a intensidade radiante de uma fonte em um ponto no espaço como o fluxo radiante emitido pela mesma nesse ponto em uma direção específica contendo um cone infinitesimal, dividido pelo elemento de ângulo sólido. A unidade de medida utilizada é $\text{quanta}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$ ou $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$ ou $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$.

$$I_R = d\Phi/d\omega$$

- **Irradiância, I (ou densidade de fluxo)**

É o fluxo radiante incidente sobre um elemento infinitesimal de uma superfície contendo o ponto em consideração, dividido pela área deste elemento, como ilustra a figura 3. Sem muito rigor, a irradiância pode ser definida como o fluxo radiante por unidade de área de uma superfície. É

expressa em $\text{quanta} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ou $\mu\text{Einstein} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$I = d\Phi/dA$$

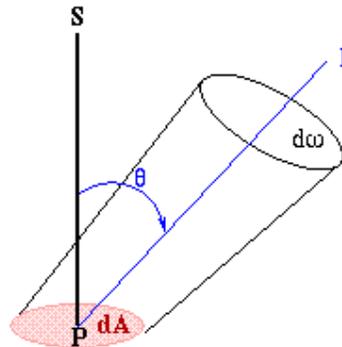


FIGURA 3. Definição de Irradiância, I.

A irradiância fotossintética é a densidade de fluxo da energia radiante da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., incidente por unidade de área e tempo, na faixa espectral entre 400 nm e 700 nm.

Os aparelhos utilizados para se efetuar medidas de grandezas associadas à luz são os fotômetros. Os mais atuais, fotoelétricos, baseiam-se em fotocélulas e, sendo calibrados, nos permitem leitura direta da grandeza, é o exemplo dos luxímetros, luminânciômetros e, especificamente em limnologia, fotômetros subaquáticos.

3.3 Radiação Solar na Superfície Terrestre

O recebimento de energia em qualquer localidade do planeta, depende da posição do Sol no céu, independentemente de sua latitude e é esta posição que define a altura do Sol em relação aos observadores na superfície da Terra, como ilustra a figura 4.

Mesmo quando o céu está claro, a intensidade da radiação solar é significativamente reduzida durante sua passagem pela atmosfera (figura 5). Esta redução na intensidade é devida ao espalhamento por moléculas de ar e por partículas de poeira e também devida a absorção por vapor d'água, oxigênio,

ozônio e dióxido de carbono contido na atmosfera (KIRK, 1983).

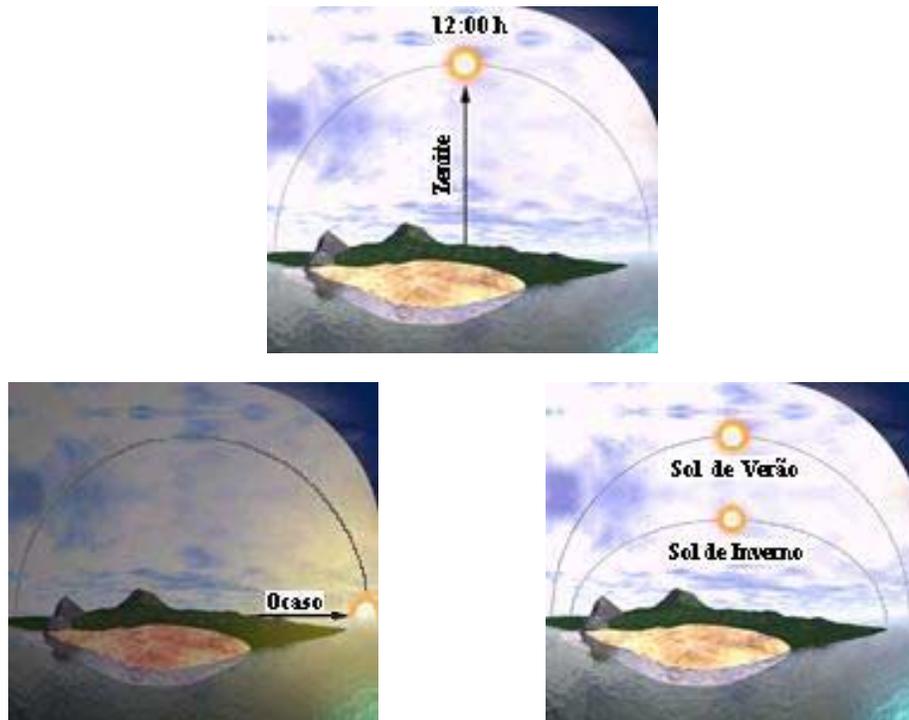


FIGURA 4. Posição relativa do Sol, no céu.
Fonte: CPTEC. INPE



FIGURA 5. Radiação solar refletida e recebida na superfície terrestre.
Fonte: CPTEC. INPE

Assim, a radiação solar resultante disponível no ecossistema aquático, é aquela que atravessou a atmosfera e pode encontrar meios de penetrar na interface ar-água (BUKATA et al., 1995).

3.4 Radiação Solar no Meio Aquático

Quando a radiação solar atinge o meio aquático, os fenômenos mencionados ocorrem simultaneamente. KIRK (1983), esclarece sobre tais fenômenos que ocorrem no meio aquático, como ilustra a Figura 6. Em (a) a luz incide sobre a superfície de água (do ar para a água) e em seguida é refratada dentro da água, e uma pequena parcela é refletida para o ar. Em (b), a luz parte da água sendo parcialmente refratada e passa para o ar, e pequena fração desta é refletida em direção a interface ar-água, voltando para a água. Em (c), a luz incide a partir da massa de água e ocorre reflexão interna completa a partir da superfície de separação água-ar, retornando para a água.

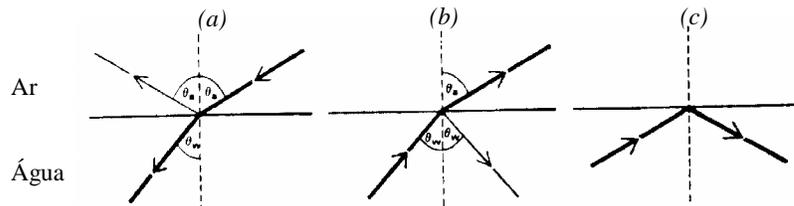


FIGURA 6. Reflexão e refração da luz na superfície de separação ar-água.
Fonte: KIRK, (1983).

Em suma, a radiação solar ao atravessar um corpo d'água está sujeita a modificações tanto em sua direção como em sua intensidade, devido a ocorrência dos fenômenos ópticos (reflexão e refração) e ao resultado da absorção e espalhamento de vários componentes do meio aquático, como mostra a Figura 7,

de modo que a atenuação da radiação solar subaquática é decorrente dos processos de absorção e de dispersão (ou espalhamento).

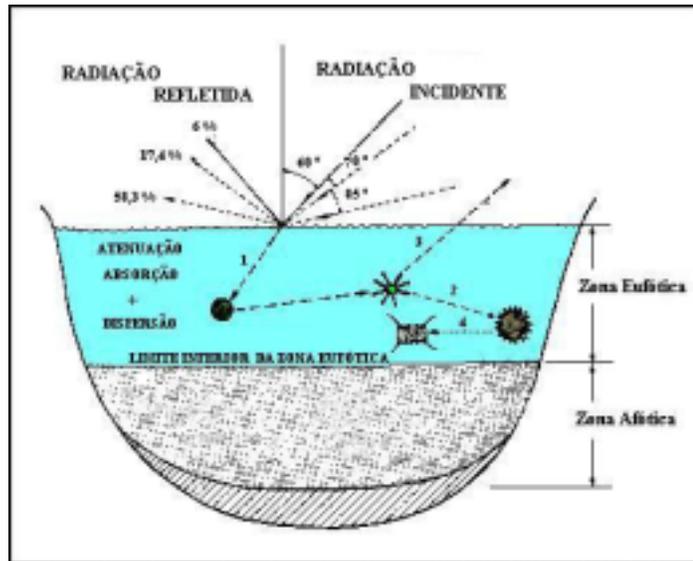


FIGURA 7. Principais fenômenos que ocorrem com a radiação solar incidente sobre o corpo d'água. 1) Radiação que não é absorvida, é apenas espalhada; 2) Ao incidir sobre um composto ou material em suspensão, parte é absorvida e parte é novamente espalhada; 3) A radiação espalhada pode retornar à atmosfera; 4) A radiação pode passar por processos sucessivos de espalhamento e absorção, até ser totalmente atenuada.
Fonte: ESTEVES, F. (1988)

Segundo KIRK (1983), o coeficiente de absorção da água quantifica a extinção da luz ao atravessar uma camada infinitesimal da água, este valor pode ser obtido pela absorbância A, de uma camada com uma dada espessura. O coeficiente de absorção da água pode ser escrito como:

$$a = 2.303 \cdot A/r$$

Onde:

- a → coeficiente de absorção da luz devido a água
- A → absorbância da luz devido a água
- r → trajetória da luz através do sistema

As medidas para a absorvência podem ser obtidas com a utilização de um espectrofotômetro que registra os valores das intensidades de luz incidente sobre o sistema (I_0) e a transmitida para o mesmo (I):

$$A = \log_{10} \cdot \frac{I_0}{I}$$

Basicamente toda a absorção da radiação solar que atinge um corpo d'água é atribuída a quatro componentes do meio aquático: a água propriamente, compostos dissolvidos, biota fotossintética (fitoplâncton e macrófitas presentes) e material particulado (frações orgânica e inorgânica) (KIRK, 1980).

A contribuição da água propriamente dita para a atenuação da radiação fotossinteticamente ativa por absorção é importante apenas acima de 550 nm (KIRK, 1983). A matéria orgânica dissolvida é constituída em parte da decomposição de organismos aquáticos, sendo uma componente inerente em águas naturais (BUKATA, 1995). A entrada de matéria orgânica devido a ocorrência de chuvas, drenagem do solo, descargas em rios e finalmente em estuários e mares, na forma de substâncias húmicas dissolvidas apresentam maior absorção na faixa do azul (KIRK, 1983).

A absorção do material particulado, segundo KIRK (1983), é baixa ou ausente na faixa espectral do vermelho, aumentando para comprimentos de onda menores. Considerando sua origem a partir de material particulado húmico ou mineral, quando presentes em altas concentrações em águas túrbidas, podem apresentar mais absorção que aquela devida a compostos dissolvidos. Nestas águas, a luz verde é rapidamente absorvida.

Segundo BUKATA et al. (1995), a absorção da clorofila ocorre nas faixas espectrais do azul e do vermelho. Para KIRK (1983), a absorção deste componente depende não somente da quantidade desses pigmentos, mas também do tamanho e forma das células algais ou colônias, em que estão localizados, sendo ampla a faixa espectral de sua absorção, sendo confirmado por

WETZEL (2001) estabelecendo que a absorção da clorofila a se encontra entre 405 nm e 640 nm, enquanto que a clorofila b entre 440 nm e 620 nm.

3.4.1 Clima de Radiação Solar Subaquática

A propriedade do campo de radiação subaquática mais frequentemente medida é a irradiância, que fornece informações de como a radiação solar é disponível para a fotossíntese e como se dá sua transferência na água (WETZEL & LIKENS, 1991).

O transporte da luz solar através da coluna d'água é governado pelos mecanismos de absorção e de espalhamento, discutidos anteriormente, onde cada ambiente aquático apresenta características diferentes. O coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, segundo COLE (1979), quantifica a extinção da luz que atravessa uma camada de água, que de acordo com WETZEL (1975), tem-se:

$$I_z = I_o \cdot e^{-Kt \cdot z}$$

Ou:

$$Kt = \frac{\ln I_o - \ln I_z}{z}$$

Onde:

Kt → coeficiente de atenuação total da luz solar subaquática

I_o → Irradiância na superfície

I_z → Irradiância na profundidade z

z → profundidade z

Segundo WETZEL & LIKENS (1975), embora o coeficiente de atenuação total da luz solar subaquática, K_t , seja constante para um determinado comprimento de onda, na água, o campo de radiação solar é constituído de vários comprimentos de onda. Logo, a equação acima mencionada para K_t , é imperfeita para as condições naturais, e, apresenta composição policromática da radiação e várias características da água afetam sobremaneira a atenuação.

A absorção da radiação no meio aquático ocorre devido a quatro componentes: a própria água, compostos dissolvidos, fitoplâncton e material particulado (partes orgânica e inorgânica) (KIRK, 1980).

O coeficiente de atenuação total da luz subaquática foi determinado de acordo com SMITH (1980) e WETZEL (1975), em função de seus componentes:

$$K_t = K_w + K_c + K_x$$

Onde:

K_w → coeficiente de atenuação devido a água e compostos dissolvidos

K_x → coeficiente de atenuação devido ao material em suspensão (orgânico e inorgânico)

K_c → coeficiente de atenuação devido a clorofila

K_t → coeficiente de atenuação total da luz

A componente K_c é dada por $C \times 0,016$, onde C é a concentração de clorofila e $0,016$ é a atenuação específica da clorofila (DUBINSKY & BERMAN, 1979; YENTSCH, 1980).

Estes componentes, assim especificados, constituem os maiores constituintes para a atenuação da radiação solar subaquática, sendo possível estabelecer que contribuição cada uma deles fornece para todo o processo. O resultado final do conjunto de contribuições para o sistema aquático é a determinação do clima de radiação solar subaquática, e conseqüentemente sobre o seu funcionamento.

3.4.2 Profundidade da Zona Eufótica e Transparência da Água

A penetração de radiação solar nos sistemas aquáticos ocorre de conformidade com o clima de radiação solar subaquática estabelecido, de forma que a parte iluminada da coluna d'água, denominada de zona eufótica (Zeu), pode variar. O limite inferior desta, é geralmente considerado como sendo a profundidade na qual a radiação fotossinteticamente ativa corresponde a 1% da que atinge a superfície (COLE, 1979).

Um dos métodos mais simples da medida da profundidade da zona eufótica é através da utilização do disco de Secchi. Segundo MARGALEF (1983), ajustes empíricos foram realizados por diversos autores, sendo aceito o fator 3,0, para relacionar a profundidade da zona eufótica com a profundidade Secchi, onde:

$$\text{Zeu} = 3 \times \text{ZDS}$$

Outra estimativa que pode ser feita, com a medida da profundidade Secchi, ZDS, é para o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática. Com base na observação empírica de POOLE & ATKINS (1929), obteve-se:

$$\text{Kt} = 1,7/\text{ZDS},$$

e KIRK (1983), considerou ser melhor aplicado o valor:

$$\text{Kt} = 1,44/\text{ZDS}.$$

Para este último autor, o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, assim formulado, abrange ampla faixa espectral que corresponde grosseiramente à curva de sensibilidade espectral do olho humano.

4. AMBIENTES DE ESTUDO

4.1 Considerações Gerais

Neste trabalho foram desenvolvidos estudos sobre a penetração da radiação solar nos ecossistemas aquáticos: reservatórios do Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo) e lagos do Vale do rio Doce (Estado de Minas Gerais), que apresentam diferenças quanto a localização, interação e impactos das bacias hidrográficas, cujos dados obtidos podem fornecer subsídios comparativos do regime de radiação subaquática em cada ambiente estudado. Para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (Estado de São Paulo) a penetração da radiação solar foi estudada em vários pontos de modo a percorrer toda a extensão dos mesmos.

Além destes, foram realizados estudos comparativos do espectro de absorção da água superficial para diferentes ambientes aquáticos do Brasil, a saber: Alto, Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo), Lagos do Vale do rio Doce e de Belo Horizonte (Estado de Minas Gerais), rios e lagos de Natal (Estado do Rio Grande do Norte) e do Estado do Amazonas e rio Tocantins (Estado de Tocantins). A figura 08 mostra a localização dos ambientes aquáticos estudados no Brasil.

4.2 Reservatórios do Médio e Baixo Tietê - Estado de São Paulo

O rio Tietê corta o Estado de São Paulo, desde a Serra do Mar até o rio Paraná, no extremo oeste do estado e possui um comprimento total de 1150 km (IBGE, 1996). Entre os tributários de grande porte, podem ser citados os rios Piracicaba, Pinheiros, do Peixe, Jacaré-Pepira, Dourado, Ribeirão Lageado, entre outros.

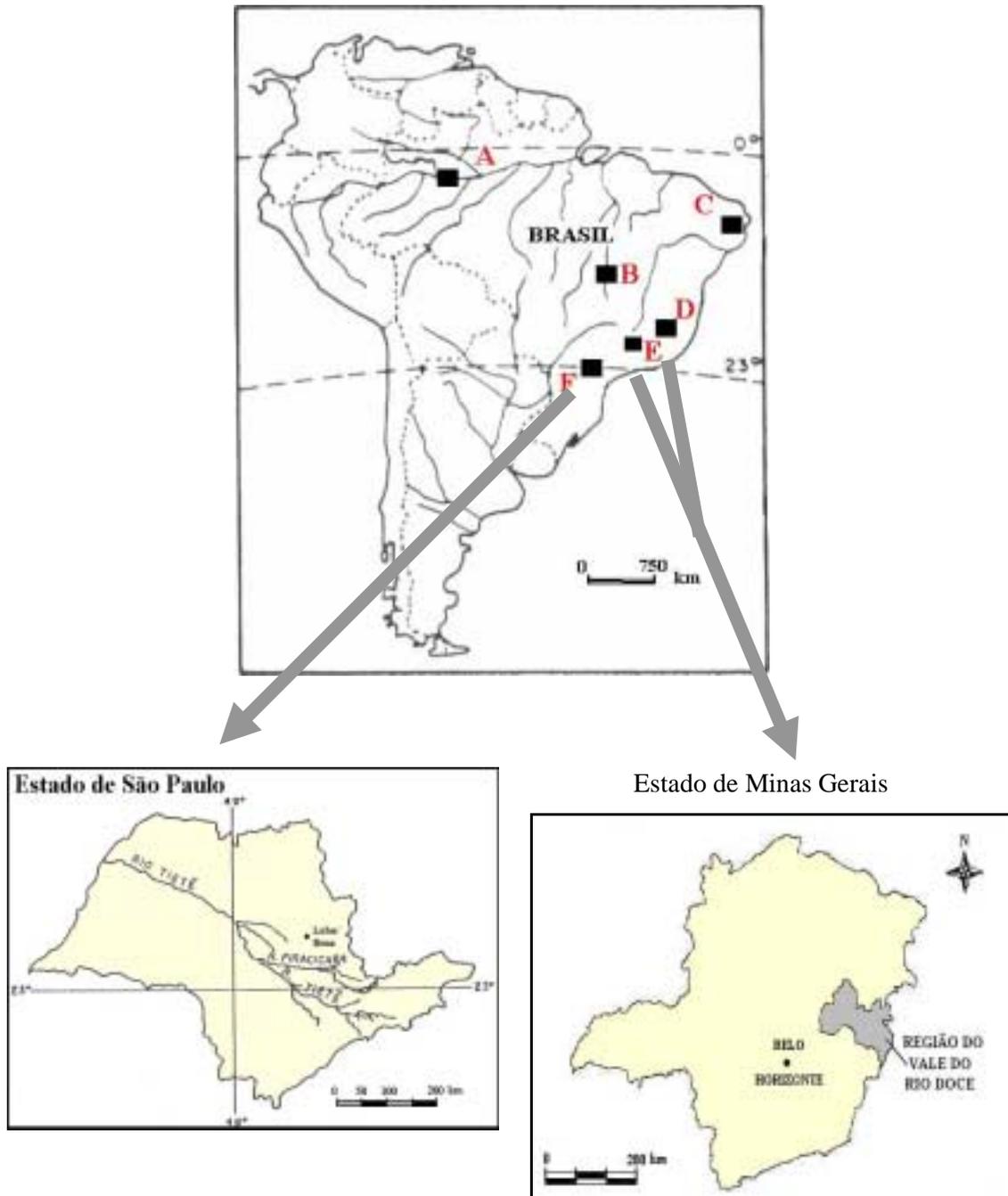


FIGURA 08. Localização dos sistemas aquáticos estudados no Brasil: (A) Rios lagos do Amazonas; (B) rio Tocantins (Estado de Tocantins); (C) rios e lagos de Natal, Rio Grande do Norte; (D) e (E) lagos do vale do rio Doce e córregos no município de Belo Horizonte, ambos no Estado de Minas Gerais, (F) reservatórios do Alto, Médio e Baixo Tietê e reservatório do Lobo-Broa, Estado de São Paulo.

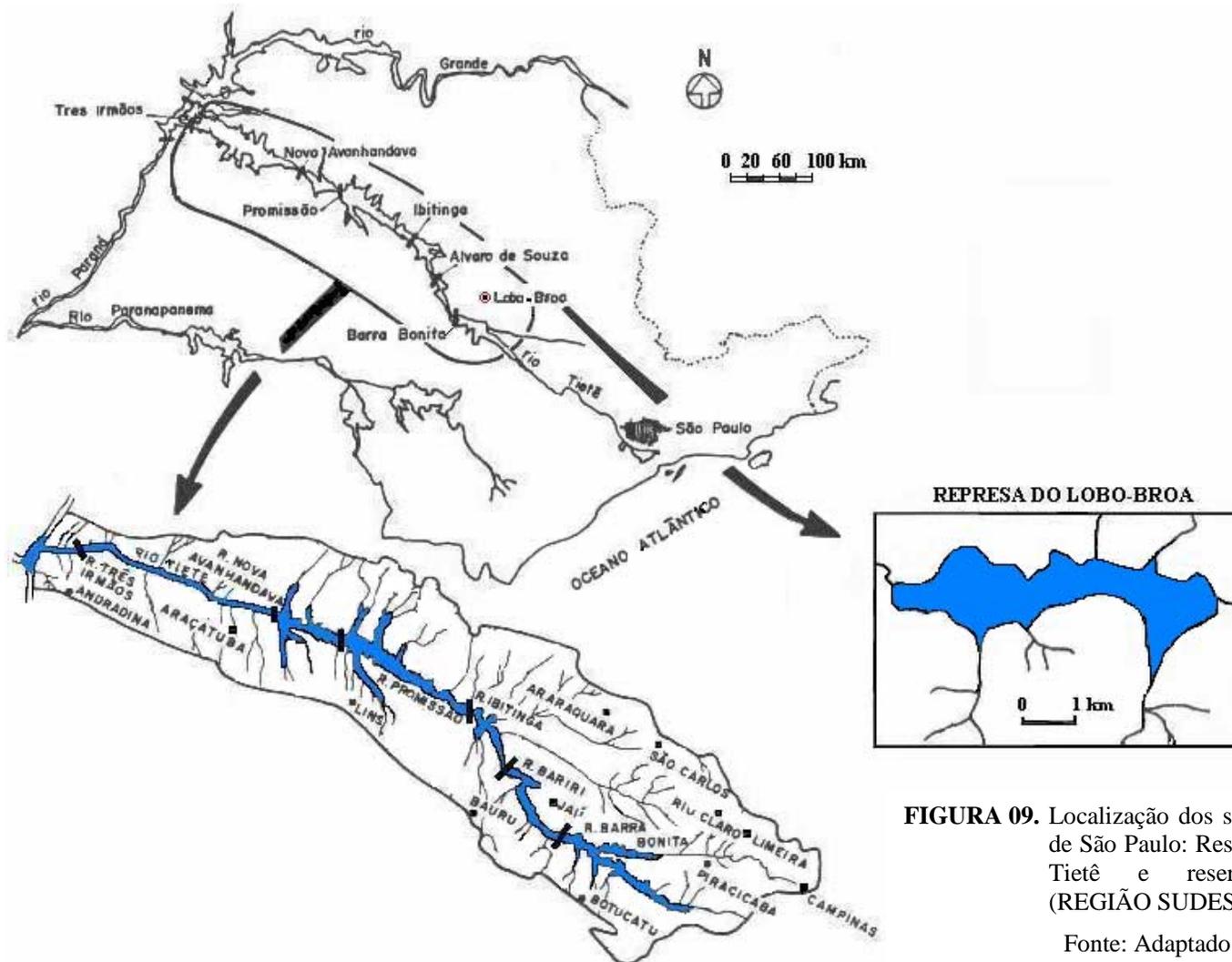


FIGURA 09. Localização dos sistemas aquáticos do Estado de São Paulo: Reservatórios do Médio e Baixo Tietê e reservatório do Lobo-Broa. (REGIÃO SUDESTE)

Fonte: Adaptado de TUNDISI (1997)

O rio Tietê está dividido em quatro trechos: *Alto Tietê*, *Médio Tietê-Superior*, *Médio Tietê Inferior* e *Baixo Tietê*. O estudo da penetração da radiação solar foi realizado nos reservatórios situados nos trechos *médio* e *baixo* do rio Tietê, onde se encontram as usinas hidrelétricas: **Barra Bonita**, **Bariri** (Álvaro de Souza Lima), **Ibitinga**, **Promissão** (Mário Lopes Leão), **Nova Avanhandava** e **Três Irmãos**, cuja figura 09 mostra a posição de cada um deles no Estado de São Paulo, formando um complexo em cascata, e os valores para latitude e longitude dos mesmos são apresentados na tabela 02.

TABELA 02. Localização dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê no Estado de São Paulo.

Reservatórios	Municípios	Latitude	Longitude
Barra Bonita	Barra Bonita	22° 29' S	48° 34' W
Bariri	Bariri	22° 01' S	48° 04' W
Ibitinga	Ibitinga	21° 45' S	48° 59' W
Promissão	Promissão	21° 18' S	49° 47' W
Nova Avanhandava	Buritama	21° 07' S	50° 17' W
Três Irmãos	Pereira Barreto	20° 39' S	51° 18' W

No sentido do curso natural do rio, neste trabalho foi considerado o reservatório de Barra Bonita o primeiro do sistema em cascata e na seqüência os demais da série.

No trecho onde estão localizados os reservatórios de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga, a bacia de drenagem é formada principalmente por solos de texturas argilosas ou muito argilosas do tipo latossolo vermelho escuro, latossolo roxo e terra roxa estruturada, além de pontos de latossolo vermelho amarelo de textura média e argilosa e de brunizem avermelhado de textura argilosa (IPT, 1981).

O trecho do rio Tietê onde estão situados os reservatórios de Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos, apresenta característica arenosa (Formação Adamantina e Santo Anastácio), com zonas de solos de origem basáltica (Formação Serra Geral), (GÜNTZEL, 2000).

O clima da região pode ser considerado CW', segundo a classificação de Köepen (STRAHLER, 1981), com temperatura mínima de 18°C e a máxima de 22°C. Os reservatórios do Médio e Baixo Tietê localizam-se em região de transição entre os climas tropical e subtropical, caracterizada pela ocorrência de

um inverno seco, com chuvas escassas ou ausentes, que abrange os meses de abril a setembro, e por um verão chuvoso, que vai de outubro a março.

♦ ***Bacia do Médio Tietê-Superior***

A bacia do Médio Tietê-Superior tem uma área de drenagem de 7070 km² e uma extensão de 367 km, da saída do reservatório de Pirapora até a barragem de Barra Bonita (IBGE, 1996).

A esta bacia pertencem quinze municípios, dos quais apenas seis possuem sistema de tratamento de esgotos, segundo a CETESB (1993). A água da bacia é utilizada para o abastecimento urbano, industrial e como corpo receptor de efluentes domésticos, industriais e agrícolas. Os efluentes industriais correspondem a 80% da carga orgânica lançada na bacia (CETESB, 1993).

Dentre os usos e ocupações desta bacia, destacam-se indústrias têxteis, alimentícias, de papel e celulose, abatedouros, engenhos e usinas de açúcar e álcool, petroquímica e química, das quais 10% são consideradas como fontes poluidoras. A área rural é ocupada com plantações de cana-de-açúcar, café, cítricas, hortaliças e frutas (22%), pastagens cultivadas (31%) e pastagens naturais (22%), além de matas, capoeiras, áreas de reflorestamento e atividade granjeira na área restante, segundo GÜNTZEL (2000).

Nesta bacia situa-se o reservatório da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita, com uma área de aproximadamente 310 km² e tempo médio de residência da água de 90,3 dias (CESP, 1998). Os seus principais tributários são os rios Tietê e Piracicaba.

♦ ***Bacia do Médio Tietê-Inferior***

A bacia do Médio Tietê-Inferior possui uma área de drenagem de 23.730 km² e uma extensão de 258 km, desde a barragem de Barra Bonita até o reservatório de Promissão (IBGE, 1996). Recebe afluentes dos rios Jaú, Jacaré-Pepira, Jacaré-Guaçu, São Lourenço, dos Porcos e ribeirão Barra Mansa, localizados na margem direita, e dos Lençóis, Bauru, Batalha e Dourado, na margem esquerda.

Pertencem a esta bacia sessenta e cinco municípios, dentre os quais apenas quinze deles possuem sistema de tratamento de esgotos. A água é utilizada para abastecimento público e industrial e para a irrigação de plantações. Recebe os efluentes domésticos gerados pelos municípios, onde neste trecho do rio Tietê, 79,8% de carga orgânica despejada nas águas tem origem doméstica e 20,2% provém de indústrias da região (CETESB, 1993).

Nesta bacia situam-se os reservatórios: Bariri (Álvaro Souza Lima), Ibitinga e Promissão (Mário Lopes Leão). O reservatório de Bariri (22° 01' S e 48° 04' W) possui uma área de 63 km² e tempo de residência médio de 14,2 dias (CESP, 1998). É o segundo reservatório do sistema em cascata e recebe a água oriunda do reservatório de Barra Bonita, com baixa concentração de oxigênio e altos níveis de material orgânico, principalmente no verão. Os principais tributários, neste trecho são os rios Lençóis, Jaú e Bauru, com o recebimento de efluentes domésticos e industriais.

O terceiro reservatório da série é o de Ibitinga (21° 45' S e 48° 59' W), com área de 56 km² e tempo de residência médio de 21,6 dias. Os tributários mais importantes são os rios Claro, Jacaré-Guaçú e Jacaré-Pepira.

O reservatório de Promissão (Mário Lopes Leão) é o quarto da série (21° 18' S e 49° 47' W), possui área de 530 km² e tempo de residência médio de 134,5 dias (CESP, 1998). Os tributários mais importantes são rios Dourado, Cervo Grande e Batalha e o ribeirão dos Porcos.

♦ *Bacia do Baixo Tietê*

A bacia do Baixo Tietê possui uma área de 13.655 km², do limite do rio Tietê Médio-Inferior, na barragem do reservatório de Promissão (Mário Lopes Leão) até a sua foz, no rio Paraná (IBGE, 1996). São pertencentes a esta bacia, trinta e dois municípios, com vinte e dois deles possuindo algum sistema de tratamento de esgotos. A água da bacia é utilizada para o abastecimento público, industrial, irrigações, navegação e recepção de efluentes domésticos e industriais.

A esta bacia pertencem os reservatórios de Nova Avanhandava e de Três Irmãos. A tabela 03 apresenta algumas das características morfométricas e o tempo médio de residência da água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

TABELA 03. Valores médios para o tempo de residência da água e para algumas características morfométricas dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no Estado de São Paulo.

Reservatórios do Médio e Baixo Tietê	Tempo de residência (dias)	Área (km²)	Volume (m³x10⁶)	Profundidade (m)
Barra Bonita	90,3	310	3.135	10,1
Bariri	14,2	63	5.425	8,6
Ibitinga	21,6	56	981	8,6
Promissão	134,1	530	7.408	14,0
Nova Avanhandava	45,7	210	2.720	13,0
Três Irmãos	217,9	817	14.000	17,2

Fonte: CESP (1998); BARBOSA et al. (1999).

O reservatório de Nova Avanhandava (21° 07' S e 50° 17' W), ocupa a área de 210 km² e tempo médio de residência de 45,7 dias, sendo este o quinto reservatório da série de reservatórios, com nove tributários, dos quais os mais importantes são os ribeirões dos Patos, dos Ferreiros, Bonito e Lageado.

O reservatório de Três Irmãos (20° 39' S e 51° 18' W), é o sexto e último do sistema Tietê, com área de 817 km² e tempo médio de residência de 217,9 dias, recebe a contribuição de onze tributários, destacando-se os ribeirões do Mato, Azul e Macaúbas.

4.3 Lagos do Sistema de Lagos do Vale do Rio Doce - Estado de Minas Gerais

A penetração da radiação solar também foi estudada em alguns lagos do Sistema de Lagos do Vale do rio Doce, a saber: Lago D. Helvécio, Lagoa Carioca e Lagoa Aníbal pertencentes ao Parque Estadual do Vale do rio Doce. As lagoas Aguapé, Águas Claras, Ferrugem, Verde e Amarela estão localizadas em propriedade particular da CAF - Companhia Agrícola Florestal, caracterizada por extensas áreas de florestamento artificial de *Eucalyptus* sp, apresentando

extensas áreas de corte, cultivo de eucalipto abandonado, entremeado por espécies nativas oportunistas (MORETTO, 2001).

A figura 10 mostra a localização dos lagos estudados situados no Parque Estadual e nas propriedades da CAF - Companhia Agrícola Florestal na região do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais.

Esta região é de grande importância para o desenvolvimento econômico do Estado de Minas Gerais, por possuir um extenso pólo industrial denominado Zona Metalúrgica do “Vale do Aço”, onde se encontram importantes usinas siderúrgicas, como a Usina Siderúrgica de Minas Gerais (USEMINAS), a Aços Especiais Itabira S.A. (Acesita) e a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira (MELLO, 1997).

Outra área importante desta região é a denominada Zona da Mata, onde está localizada a Zona Geográfica do Rio Doce, constituída por uma rica drenagem e por remanescentes de Mata Atlântica. É nesta zona que se encontra inserido o sistema de lagos do Vale do rio Doce, constituído por centenas de corpos lacustres, muitos deles dentro do Parque Estadual do rio Doce. O rio Doce recebe um grande número de tributários ao longo de sua bacia de drenagem, destacando-se os rios Piracicaba, Santo Antônio, Matipó e Casca.

Na área onde se encontra o Parque Estadual do rio Doce, as lagoas estão preservadas e a paisagem no entorno praticamente inalterada, sendo que dezenas de lagoas foram assoreadas por processos naturais. A área faz fronteiras a centros urbanos, áreas agropastoris e extensos cultivos de eucalipto da CAF - Companhia Agrícola Florestal cuja maioria dos corpos d'água que compõem o sistema de lagos tem sofrido algum tipo de impacto, seja pelo uso da água ou pela modificação da paisagem.

Segundo BARBOSA (1979), o sistema do Vale do rio Doce situa-se na grande área fisiográfica denominada “depressão interplanáltica do rio Doce”, de orientação geral NE - SW (19°10'S e 42°1'W), confinada entre as elevações correspondentes ao planalto do reverso da Serra do Mar, na altitude média de

300 m, sobre um embasamento de gnaisses variados, micaxistes, quartizitos e granitos (De MEIS, 1977).

Estudos sobre a origem do sistema de lagos foram realizados por PFLUGG (1968, 1969); De MEIS (1977, 1979) E MOURA et al. (1978), concluindo que provavelmente foram formados durante um ciclo semi-árido, com um processo de pediplanização ao qual se seguiu um sistema de incisão a partir do rio e uma dissecação do pediplano por um sistema de tributários. Depósitos de aluvião, barraram os tributários, dando origem aos inúmeros lagos da região (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1981).

Para SAIJO e TUNDISI (1997), os lagos do Vale do rio Doce são bem característicos, com profundidades que variam de 30 m a lagos muito rasos. Estão localizados na região da Mata Atlântica, com temperatura média anual 21,8°C e precipitação média anual de 1.517 mm. A estação chuvosa vai de outubro a abril, seguida por um período muito seco de aproximadamente seis meses.

A cobertura vegetal é de floresta tropical úmida, do tipo “Mata Atlântica”, hoje grandemente devastada e substituída por culturas de essências exóticas, como *Eucaliptus* e *Pinus* e ainda, áreas de culturas, que contribuem provavelmente, com grande quantidade de material alóctone para o sistema de lagos aí existente (BARBOSA, 1979).

Os solos da região, para CAMARGO et al. (1966) são predominantemente do tipo latossolos vermelho-amarelos e podzólicos vermelho amarelos com relevo ondulado e montanhoso.

Segundo BARBOSA (1979), o sistema é constituído de aproximadamente 130 lagos, nos mais variados estágios de eutrofização, de barramento dos filetes de drenagem, da bacia do rio Doce (De MEIS, 1977).

De acordo com TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1981), as características acima descritas, tem uma série de conseqüências limnológicas importantes quanto ao funcionamento dos ecossistemas lacustres da região, devido ao clima, (temperatura do ar, precipitação, ventos) e à morfometria dos

lagos, que se encontram em vales profundos em forma de V o que ocasiona uma baixa circulação de água, com pouca ação dos ventos e tem como consequência um padrão térmico peculiar: apresentam estratificação e desestratificação estacional (Outubro) e diurna (principalmente camadas superiores da coluna d'água entre 2 m e 5 m).

Além disso, a presença de uma área com Mata Atlântica, inclui dentro do sistema de lagos uma contribuição considerável de material alóctone, a qual também pode ser aumentada pela própria situação fisiográfica da região (“mares de morros”), o que facilita transporte de grande quantidade de material da vegetação (serrapilheira) para os lagos principalmente à época de intensas precipitações (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1981).

Segundo OKANO (1980), o lago D. Helvécio está situado em um vale relativamente profundo, e circundado por uma densa floresta tropical. Estes fatos, têm provavelmente grande importância no sistema de circulação e de estratificação e de desestratificação do lago, bem como, na entrada de material alóctone (TUNDISI, et al. 1978). Este lago permanece estratificado térmica e quimicamente a maior parte do ano, apresentando apenas uma circulação, a do inverno, o que caracteriza, conforme classificação dada por HUTCHINSON (1967), como lago monomítico quente (OKANO, 1980).

As suas principais características morfométricas, dadas por TUNDISI & MUSSARA(1986), são:

Superfície	867,23 ha
Volume	831 495 x 10 ⁴ m ³
Contorno da margem	45 000 m
Índice de desenvolvimento da margem	5,45
Profundidade máxima	32,5 m
Perímetro	36 000 m

ESTADO DE MINAS GERAIS

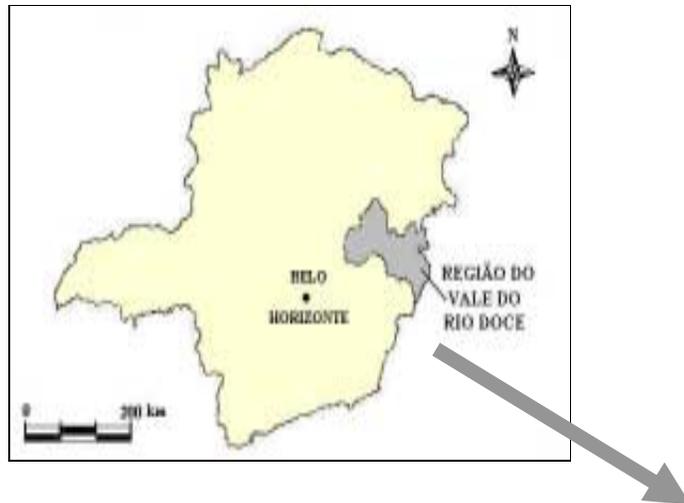
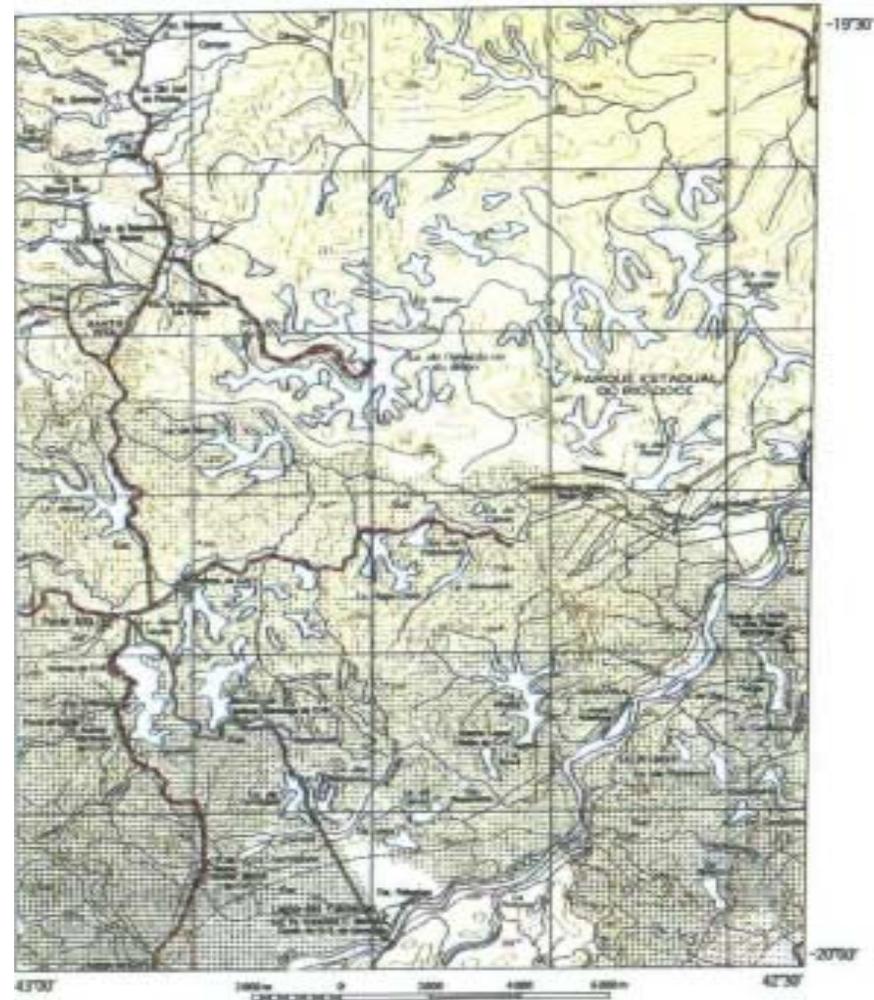


FIGURA 10. Localização do sistema de lagos estudados no Parque Estadual e na área da CAF - Companhia Agrícola Florestal no Vale do rio Doce e a capital do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte. (REGIÃO SUDESTE)
Fonte: Adaptação de CETEC (1994); IBGE (1980).



Segundo BARBOSA (1979), a lagoa Carioca se encontra em situação intermediária no que diz respeito à eutrofização natural, sendo por este autor citadas as suas características morfométricas principais:

Comprimento máximo	576,3 m
Largura máxima	329,8 m
Largura média	229,5 m
Perímetro	1 718,6 m
Área	13,2 ha
Volume	365 352,6 m ³
Profundidade máxima	11,8 m
Profundidade média	2,7 m

Para SAIJO et al. (1997) a área e a profundidade máxima das lagoas Jacaré e Amarela são respectivamente 1,03 km²; 9,8 m e 0,12 km²; 2,9 m. Poucas informações são encontradas na literatura quanto às características morfométricas dos lagos deste sistema. A tabela 4, fornece a profundidade no ponto de coleta e a posição geográfica em cada lago estudado.

TABELA 04. Posição Geográfica e Profundidade (no ponto de coleta) de cada lago estudado no sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais.

Ambiente Aquático (Lagos)	Profundidade (m)	Latitude	Longitude
Aguapé	5,0	19°51'00" S	42°38'39" W
Águas Claras	8,0	19°49'02" S	42°35'47" W
Amarela	2,5	19°49'16" S	42°34'35" W
Almecega *	8,0	19°51'43" S	42°37'41" W
Aníbal	10,0	19°45'40" S	42°31'30" W
Ariranha *	7,0	19°49'07" S	42°34'50" W
Carioca	10,0	19°45'20" S	42°37'15" W
D. Helvécio	20,0	19°47' S	42°36' W
Ferrugem	2,25	19°52'13" S	42°36'38" W
Jacaré *	6,0	19°48'22" S	42°38'50" W
Verde	18,0	19°49'43" S	42°37'56" W

* Apenas coleta de água superficial

Como os lagos deste sistema são, predominantemente permanentes e fechados, isto é, não recebem e nem exportam água de tributários, o ciclo hidrológico é regido pelo aporte de água das chuvas diretamente ou pelo escoamento na bacia de drenagem e do lençol freático, e pela perda de água pelo processo físico de evaporação e pela transpiração das macrófitas. Dessa forma, as principais alterações na qualidade destes sistemas ocorrem devido a variações nas características físicas, químicas e biológicas do material alóctone que é carregado do sistema terrestre (MORETTO, 2001).

4.4 Represa do Lobo-Broa - (UHE Carlos Botelho) - Estado de São Paulo

Na represa do Lobo e na represa de Barra Bonita foi estudado o perfil da radiação solar subaquática por toda a extensão dos reservatórios, cuja caracterização de cada um deles é descrita nos itens **4.4** e **4.5** respectivamente.

A represa do Lobo (ou Broa), ou represa da Usina do Lobo, ou ainda UHE Carlos Botelho, localiza-se entre os municípios de Brotas e Itirapina, na região central do Estado de São Paulo (Latitude 22°15' S e Longitude 047°49' W), como ilustra a figura 09.

Hoje inserida em área de proteção ambiental, além de recreação, a represa do Lobo-Broa está sendo usada para pesquisa científica experimental e aplicada.

A bacia hidrográfica do reservatório é formada por uma rede de pequenos rios com padrão dendrítico. Ao longo desses rios tem-se a presença de mata galeria com alta diversidade da fauna e acúmulo de matéria orgânica (TUNDISI, 1986).

As características gerais da bacia são:

Área	227,7 km ²
Densidade de drenagem	0,75 km/km ²
Declividade da bacia	0,00575 m/m
Altitude máxima	940 m
Altitude média	770 m
Altitude mínima	680 m

O clima da região é controlado pelas massas de ar equatorial e tropical com períodos seco (maio a outubro) e úmido (novembro a março ou abril). Algumas influências das frentes frias do sul são típicas, principalmente durante o outono e inverno. O inverno (junho a setembro) é seco com chuvas escassas ou ausentes. De acordo com a classificação de Köppen, o clima pode ser considerado como Cwai-Awi, ou seja, quente com um período seco (TUNDISI, 1986).

A bacia hidrográfica do reservatório do Lobo-Broa é originada pela captação artificial dos ribeirões do Lobo e Itaqueri e pelos córregos do Geraldo e das Perdizes, como mostra a figura 11. Suas águas percolam uma vasta área de sedimentos holocênicos, apresentando em alguns pontos intrusão de basalto.

Nessa região afloram rochas da formação Serra Geral (Basalto, Arenito, Intertrap e Diabásico), da formação Botucatu-Pirambóia e do grupo Bauru (Arenitos, Siltitos e Conglomerados), situada na região Centro-Leste do Estado de São Paulo. Assim, o solo dessa bacia pode ser classificado em oito tipos diferentes: Hidromórficos, Orgânicos, Latossolos (amarelo e vermelho), Regossolos, Litólicos, "terra-roxa" (solo derivado do Basalto), Podzólicos e arenosos (originados do Quartzo).

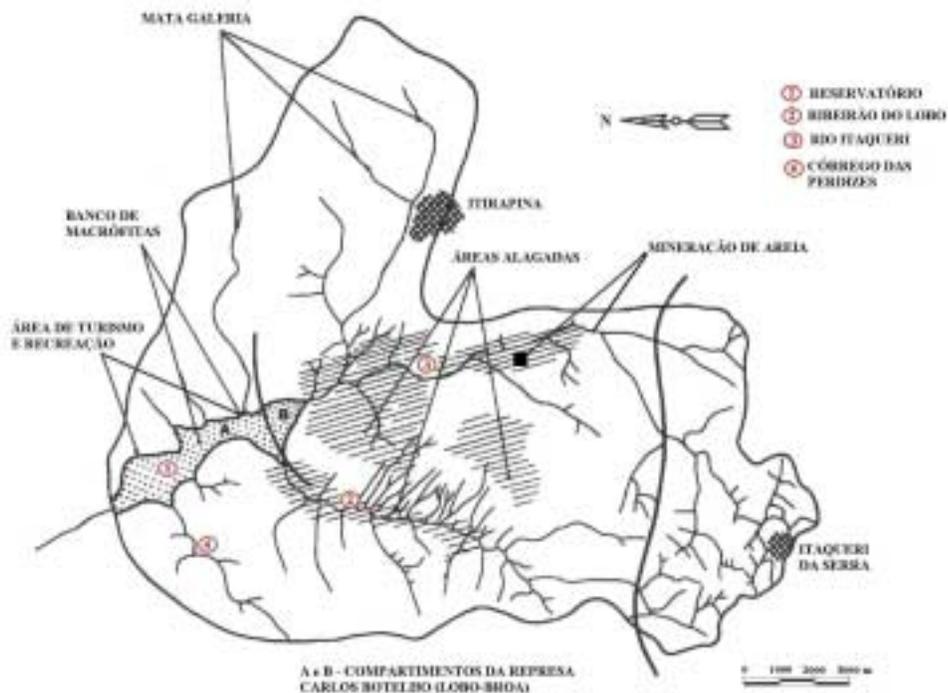


FIGURA 11. Bacia Hidrográfica do reservatório do Lobo-Broa.
(Fonte: Modificado de TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1995).

A vegetação predominante nessa região é o cerrado, sendo substituído por mata galeria nas áreas de solos mais úmidos e férteis e, por pântanos na porção superior dos rios. Ocorrem áreas de reflorestamento com *Pinus* sp e *Eucalyptus* sp, além de atividade agrícola permanente e ocasional (TUNDISI, 1986).

O reservatório é polimítico devido à ação constante de ventos na direção ao eixo principal (sul para norte), produzindo turbulência durante todo ano. É um ecossistema tropical raso, oligomesotrófico, com elevada insolação, turbulento, instável termicamente, deficiente em alguns nutrientes, e com a zona eufótica atingindo grande parte da coluna d'água.

Essa represa está localizada em uma região de solos pobres em nitrogênio e fósforo (solos de cerrado). Para HENRY et al. (1983), o "input" de nitrogênio e fósforo devido às atividades agrícolas é removido por um extenso crescimento de macrófitas na região superior da represa.

O tempo médio de residência da água no reservatório é de, aproximadamente, 20 dias.

As suas características morfométricas são:

Comprimento máximo	8 km
Largura máxima	2 km
Largura média	0,9 km
Perímetro	21,0 km
Área de superfície.....	6,8 km ²
Volume	22,0 x 10 ⁶ m ³
Profundidade máxima	12,0 m
Profundidade média	3,0 m

As variações sazonais na temperatura da água e a radiação solar, dentre outros fatores podem também influenciar o crescimento das macrófitas. De forma que, para este reservatório raso e turbulento, pode-se fazer um estudo, relacionando as variáveis ecológicas com as propriedades ópticas do mesmo.

Para CALIJURI & TUNDISI (1990), as alterações ambientais detectadas devidas às atividades antrópicas são desflorestamento, despejos domésticos e de fertilizantes em áreas agrícolas e também aquelas relacionadas com recreação.

4.5 Represa de Barra Bonita - Estado de São Paulo

O reservatório de Barra Bonita é o primeiro da seqüência de reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê, que estão sendo estudados neste trabalho, como mostra a figura 09.

A represa está inserida na Bacia do Médio Tietê Superior, entre os municípios de Barra Bonita e de Igarapu (Latitude 22°29' S e Longitude 048°34' W), a uma altitude de 430 m e distante 250 km, em linha reta, da capital do Estado de São Paulo, conforme mostra a figura 12.

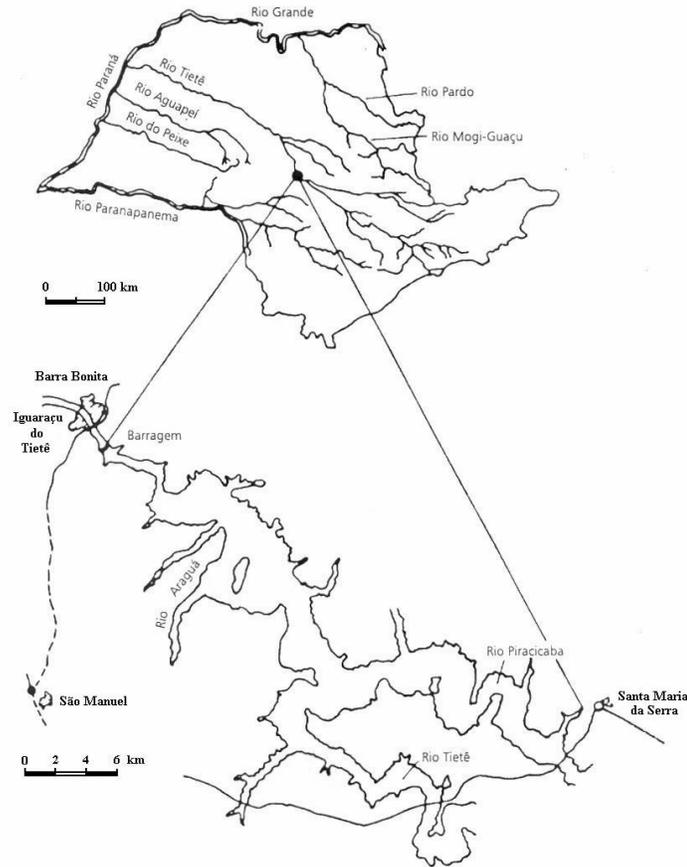


FIGURA 12. Localização da represa de Barra Bonita no Estado de São Paulo e municípios circunvizinhos.

Localiza-se, a represa de Barra Bonita, na região mais populosa e desenvolvida do interior do estado, delimitada pela parte do Vale do Tietê compreendida entre as seções das barragens de Pirapora e de Barra Bonita. Ela é formada principalmente pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, mas conta também com a participação de inúmeros tributários de maior ou menor importância.

Além de ser um importante recurso hídrico-energético, a represa de Barra Bonita é destinada a múltiplos fins, tais como transporte fluvial, irrigação, piscicultura, recreação, abastecimento e ao desenvolvido complexo industrial da região, com a presença de uma das maiores indústrias de álcool do mundo

(1,7 milhões de litros por dia) que descarrega seus resíduos no Rio Tietê causando grandes impactos.

O reservatório de Barra Bonita está localizado em uma região de transição entre os climas tropical e subtropical, onde as estações anuais não são bem definidas. As mudanças sazonais são pouco pronunciadas, sendo as diferenças mais nítidas entre o verão (época de maior precipitação pluviométrica) e inverno (período seco, com chuvas escassas ou ausentes).

O tipo de rocha predominante na região é o Basalto e, de acordo com o levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo (realizado pelo Instituto Agrônomo - Divisão de Solos - Seção de Pedologia - 1982), a bacia de drenagem de Barra Bonita é constituída predominantemente por latossolo roxo, eutrófico (LRe) e distrófico (LRd), de textura argilosa, aparecendo em alguns pontos, Brunizem avermelhado (BV) textura argilosa.

A vegetação predominante na região de Barra Bonita é uma monocultura intensiva de cana-de-açúcar (cerca de 1.140 km²), com a presença de uma das maiores indústrias de álcool do mundo.

Localizado em uma bacia hidrográfica com superfície de 32.330 km², o reservatório de Barra Bonita apresenta as seguintes características morfométricas:

Profundidade média	10,2 m
Área inundada	324,84 km ²
Perímetro	525 km
Volume total do reservatório	3160 x 10 ⁶ m ³
Volume útil do reservatório	2600 x 10 ⁶ m ³
Descarga total do vertedouro	4200 m ³ .s ⁻¹

O tempo de residência da água nesse reservatório dependerá do ciclo hidrológico, sofrendo variações tanto com as mudanças climáticas como os fatores geográficos. A frequência de chuva e o volume de precipitação vão reger

a operação da barragem. O tempo de residência varia de 30 dias a 6 meses (TUNDISI et al., 1988).

O reservatório de Barra Bonita é um ecossistema polimítico, com profundidade moderada dentro do Estado de São Paulo, nos quais os ventos predominantes são o Leste e o Sudeste.

Para HENRY et al. (1985 e 1988), o nitrogênio e fósforo não são fatores limitantes nesse reservatório, na qual a alta contribuição de nutrientes durante a estação chuvosa é devido ao "input" de nutrientes por drenagem de áreas agrícolas. O efeito limitante da penetração da radiação solar na atividade fotossintética é muito maior do que o de nutrientes. De modo que se torna relevante um estudo das propriedades ópticas deste reservatório e, também, uma análise quantitativa e qualitativa da radiação solar subaquática.

4.6 Outros Sistemas Aquáticos Estudados nas Regiões: Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil

O estudo comparativo do espectro de absorção da água superficial foi realizado nos ambientes aquáticos: reservatórios do Alto, Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo), Lagos do Vale do rio Doce e de córregos no Município de Belo Horizonte (Estado de Minas Gerais), rios e lagos de Natal (Estado do Rio Grande do Norte) e do Estado do Amazonas e rio Tocantins (Estado de Tocantins), cujas posições geográficas encontram-se indicadas nas tabelas 02, 04 e 05 para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, lagos do Vale do rio Doce e reservatórios do Alto Tietê, respectivamente. Estas posições para os demais ambientes aquáticos citados estão indicadas na tabela 06.

TABELA 05. Localização dos reservatórios do Alto Tietê (Estado de São Paulo).

Reservatórios	Municípios	Latitude	Longitude
Pedro Beicht	Cotia	23° 43' S	46° 58' W
Paiva Castro (Est.1)	Mairiporã	23° 20' S	46° 39' W
Águas Claras	Mairiporã	23° 24' S	46° 40' W
Billings (Est.1)	S.Bernardo Campo	23° 47' S	46° 33' W
Billings (Est.4)	S.Bernardo Campo	23° 45' S	46° 31' W
Jundiá	Mogi das Cruzes	23° 39' S	46° 12' W
Taiapuê	Mogi das Cruzes	23° 35' S	46° 17' W
Ponte Nova	Salesópolis	23° 36' S	45° 57' W
Ribeirão Campo (Est.1)	Salesópolis	23° 39' S	45° 50' W

TABELA 06. Localização dos ambientes aquáticos estudados nos Estados: Rio Grande do Norte, Amazonas, Tocantins e Minas Gerais.

Ambientes de Estudo	Estado do Brasil	Latitude	Longitude
rio Potengi	RIOGRANDE	05° 47' S	35° 15' W
lagoa Pitanguí	DO	05° 38' S	35° 15' W
lagoa Jacumã	NORTE	05° 42' S	35° 17' W
lagoa Mamirauá		02° 18' S	66° 02' W
lago Tefé	AMAZONAS	03° 21' S	64° 41' W
rio Solimões		03° 57' S	48° 26' W
rio Japurá		02° S	67° W
rio Tocantins	TOCANTINS	09° 45' S	48° 22' W
Belo Horizonte	MINAS GERAIS	19° 55'09" S	43° 56'47" W

4.6.1 Ambientes aquáticos da região sudeste do Brasil

♦ Estado de São Paulo: reservatórios do Alto, Médio e Baixo Tietê

As considerações sobre os reservatórios do Médio e Baixo Tietê foram feitas no item 4.2, os reservatórios estudados do Alto Tietê estão localizados desde a cabeceira do rio Tietê, no município de Salesópolis, até a barragem do reservatório de Pirapora, como ilustra a figura 13, numa extensão de 133 km, correspondendo a 6.657 km² de área.

Segundo relatório da CETESB (1999) a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê foi subdividida em bacias hidrográficas dada a

complexidade dos sistemas de abastecimento e de drenagem da Região Metropolitana de São Paulo, cujos reservatórios estudados ficaram assim distribuídos:

- *Bacia do Alto Tietê - Cabeceiras*: Compreendendo os reservatórios Ribeirão do Campo (rios Claro e Guaratuba), Ponte Nova (rio Tietê), Jundiaí (rio Jundiaí) e Taiapuêba (rio Taiapuêba Mirim);
- *Bacia do Alto Tietê - Zona Metropolitana*: reservatório Juqueri ou Paiva Castro (rio Juqueri);
- *Bacia do reservatório Billings*: reservatório Billings Riacho Grande (rio Grande) e Billings Estoril;
- *Bacia do rio Cotia*: reservatório Pedro Beicht.

O regime de chuvas foi avaliado e apresentado no relatório acima citado, o qual indica que o período de estiagem na região abrange o período de abril a setembro, o período chuvoso de outubro a março, o mês mais seco é agosto e mais chuvoso é janeiro. A pluviosidade média anual foi de 1525 mm, e o número médio de dias chuvosos anual foi de 151,8 dias.

A bacia do Alto Tietê - Cabeceiras possui área de drenagem de 1.889 km², desde a nascente do rio Tietê até as proximidades da cidade de São Paulo, na divisa com o município de Itaquaquecetuba, numa extensão de 74 km, com a contribuição dos rios Claro, Paraitinga, Biritiba-Mirim, Jundiaí e Taiapuêba-Mirim. As atividades desenvolvidas nesta região são hortifrutigranjeiras, pastagens naturais e cultivadas nas zonas rurais dos municípios de Mogi das Cruzes, Suzano e Itaquaquecetuba. A área urbana com densa ocupação demográfica, além de industrialização significativa, próximo à capital e a Mogi das Cruzes, destaca-se ainda extração mineral, principalmente areia (CETESB, 1999). Próximo ao município de Mogi das Cruzes a piora da qualidade da água, em relação a contaminação fecal, do rio Tietê se deve pelo recebimento de parte dos lançamentos tanto de origem doméstica quanto industrial deste município.

A bacia do Alto Tietê - Zona Metropolitana com área de drenagem de 3.327 km², tendo como principal o rio Tietê, desde a sua entrada na cidade de São Paulo, na divisa com o município de Itaquaquecetuba, até a barragem de Pirapora, numa extensão de 86 km, e os tributários: rios Baquirivu-Guaçu, Guarapira, Tamanduateí, Pinheiros e Juqueri e córregos Aricanduva e Cabuçu de Baixo. Esta região compreende a área mais conturbada, devido o mais amplo e dinâmico complexo urbano-industrial do país (regiões do ABCD, Guarulhos e Osasco), além do destaque para o setor de prestação de serviços.

A sub-bacia do rio Juqueri apresenta áreas de vegetação natural e de reflorestamentos, pastagens naturais e cultivadas, e atividades hortifrutigranjeiras (CETESB, 1999).

Segundo relatório da CETESB (1999), os resultados mostraram uma inconformidade para mercúrio no reservatório Paiva Castro e resultados de fenóis em desacordo com o padrão de qualidade no reservatório e próximo à foz do rio Juqueri. Supõe-se que este efeito possa estar associado ao carreamento de substâncias tóxicas para o interior do reservatório, devido à existência de depósitos inadequados de resíduos em suas margens.

A bacia do reservatório Billings apresenta área de drenagem de 560 km², cujos rios principais constituintes são: Grande, Pequeno, Bororé e Taquacetuba, entre outros. A evolução do uso do solo da região tem se caracterizado pela substituição da vegetação natural e da pequena atividade agrícola por um processo de intensa urbanização. Apesar das condições físicas desfavoráveis (relevo acidentado, várzeas e fundos de vale), que acabam ocasionando problemas como escorregamento, erosão e assoreamento e da existência da Lei de Proteção aos Mananciais, a ocupação da área vem se acelerando, sobretudo nos últimos anos. A região atualmente caracteriza-se por grandes contrastes, associando chácaras de recreio com favelas e loteamentos irregulares e clandestinos (CETESB, 1999).

Os relatórios dos ensaios de toxicidade (CETESB, 1999) para este reservatório, em 1999, mostraram em algumas amostras efeitos que variaram de

Crônico e Agudo. Esses efeitos causam problemas à biota aquática, e podem estar associados à elevada produtividade primária, que por conseguinte está relacionado ao crescimento de algas cianofíceas, com liberação de toxinas na água.

A bacia do rio Cotia, com área de drenagem 250 km², cujo rio principal é o rio Cotia, apresenta trechos com características próprias, com área denominada Alto Cotia que está coberta por matas naturais da Reserva Estadual de Morro Grande; e a área denominada Baixo Cotia (próximo à foz do rio Cotia) que apresenta urbanização com cerca de 400 indústrias e trechos florestados (CETESB, 1999). Com relação aos testes de toxicidade, foi constatado efeito Agudo, o que pode-se considerar a existência de lançamentos de substâncias tóxicas na bacia do Cotia, que devem estar associados a atividades antrópicas, segundo o relatório citado anteriormente.

♦ **Estado de Minas Gerais: Sistema Lagos do vale do rio Doce e córregos situados no Município de Belo Horizonte**

A caracterização dos ambientes aquáticos estudados no Vale do rio Doce está descrita no item 4.3, do Estado de Minas Gerais tendo como capital a cidade de Belo Horizonte, cujas localizações estão ilustradas na figura 10. No município de Belo Horizonte encontra-se a represa da Pampulha, inserida na sub-bacia do ribeirão do Onça, nas coordenadas geográficas 19° 55'09" S e 43° 56'47" W (figura 14).

O clima da região metropolitana de Belo Horizonte é classificado como tropical com déficit hídrico moderado, apresentando duas estações distintas: uma quente e chuvosa, de novembro a março, e a outra seca e fria de abril a outubro.

Os solos residuais constituintes da superfície da bacia são provenientes de rochas granito-gnaissicas, o que lhes confere homogeneidade morfológica e suscetibilidade à erosão (Programa de Recuperação e de Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha - PROPAM, 1998).

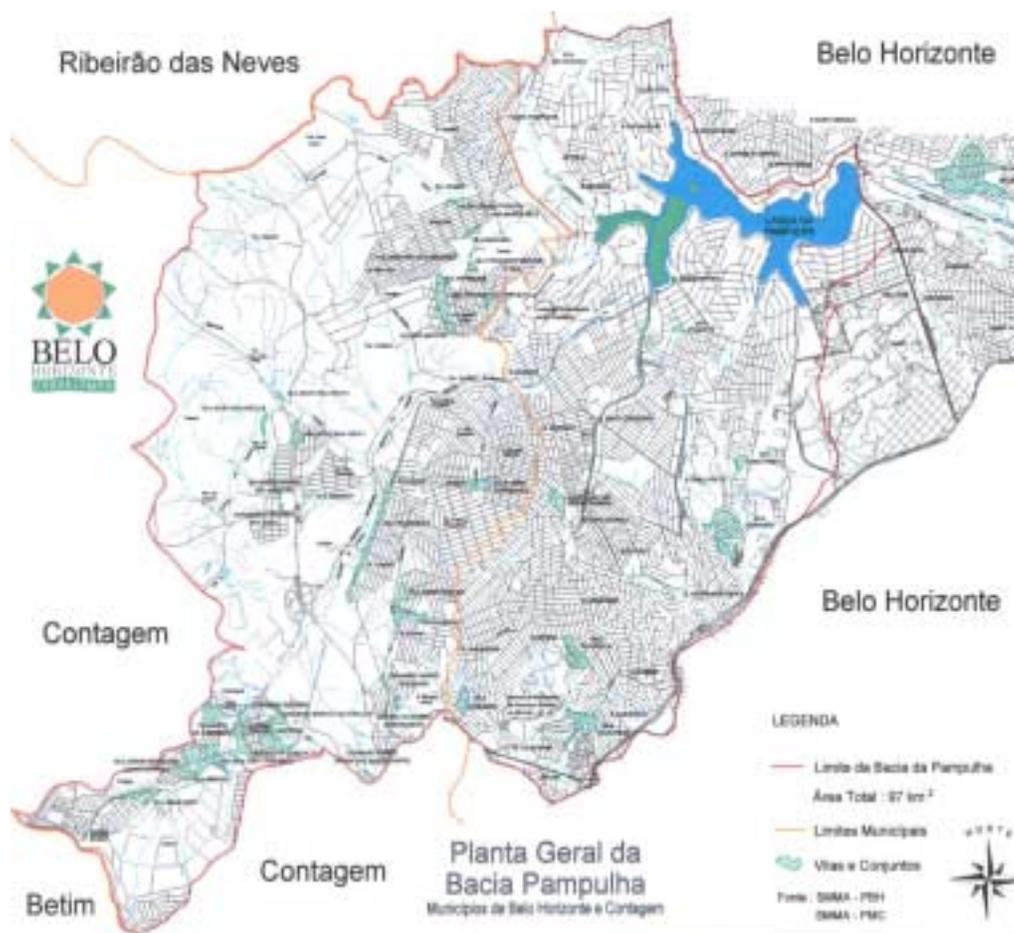


FIGURA 14. Localização da Bacia da Pampulha no Município de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais.

Quanto a vegetação, restam apenas algumas manchas de matas situadas nas sub-bacias da Ressaca (Parque Ursulina de Andrade Melo), na região central do vale do Sarandi, na região da Fazenda Bela Vista (sub-bacia Água Funda) (PROPAM).

A represa da Pampulha foi construída em 1938 pelo represamento do Ribeirão Pampulha e apresenta as seguintes características:

Área	2,6 km ²
Volume	12.960.000 m ³
Profundidade máxima	16 m
Profundidade média	5 m

Originalmente seus objetivos eram o de contenção de cheias, abastecimento de água, recreação e harmonia paisagística. Porém, a ocupação humana desordenada de sua bacia de drenagem, levando à ocorrência de inúmeros focos de erosão, juntamente com o recebimento de esgotos domésticos e industriais, conduziram a uma acelerada degradação da qualidade de água, evidenciada através dos fenômenos de assoreamento e eutrofização fazendo com que o uso da represa como manancial abastecedor fosse então abandonado (FEAM, 1998).

A bacia da Pampulha, ilustrada na figura 14, possui cerca de 97 km² de área, estendendo-se os municípios de Contagem, Belo Horizonte, Betim e Ribeirão das Neves, área metropolitana de Belo Horizonte.

A represa da Pampulha tem como principais tributários os córregos Sarandi e Ressaca, que juntos possuem uma área de drenagem de 6,152 hectares. Os pontos de coleta de água superficial estão situados no Horto Florestal (córrego Sarandi), próximo ao aterro sanitário (córrego Ressaca) e na junção dos dois córregos. Estes tributários, além de serem contaminados com esgoto sanitário, recebem efluentes de centenas de indústrias de pequeno e médio portes do Distrito Industrial de Contagem e chorume do aterro sanitário de Belo Horizonte. Segundo BARBOSA et al. (1998), estes tributários são responsáveis por grande transporte de nitrogênio e fósforo que entram na represa.

4.6.2 Ambiente aquático da região nordeste do Brasil

♦ Estado do Rio Grande do Norte: Natal

A natureza foi generosa com o Rio Grande do Norte, principalmente com sua capital Natal, tendo o rio Potengi, o Oceano Atlântico e cercada por dunas, hoje transformadas num parque ecológico com uma área de 1.172 hectares, considerado o segundo maior do Brasil localizado em área urbana. A figura 15 mostra a ligação do rio Potengi com o Oceano Atlântico onde está localizado o Forte dos Reis Magos, cuja construção teve início em 06/01/1598 objetivando

assegurar a posse de Portugal e afastar os franceses que comerciavam com os indígenas (os índios potiguares).

A região metropolitana de Natal foi criada em 16 de janeiro de 1997 através da Lei Complementar N° 6.998, sendo constituída pelos municípios de Natal, São Gonçalo do Amarante, Extremóz, Ceará-Mirim, Macaíba e Parnamirim, localizada no litoral oriental do Rio Grande do Norte entre as latitudes de 5° 38'04" S e 5° 51'30" S e as longitudes 35° 15'46" W e 35° 25'32" W (PREFEITURA MUNICIPAL NATAL, 2002), como ilustra a figura 16.

A região metropolitana assim constituída apresenta uma superfície de 1.915,0 km² e ocupa 5,31% do território estadual e abriga uma população de 826.208 habitantes (Censo - 1991), correspondendo a 34,20% da população do Estado.

Esta região apresenta características tipicamente urbanas, sendo o principal pólo industrial e de serviços, além de centralizar as atividades administrativas, por incluir, em sua área, a capital do Estado. Natal é o município sede e ocupa uma área de 172 km² e população estimada em 800.000 habitantes (PREFEITURA MUNICIPAL NATAL, 2002).



FIGURA 15. Vista aérea de Natal (Estado do Rio Grande do Norte) e a ligação do rio Potengi com o mar. (REGIÃO NORDESTE)
Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL NATAL (2002).



FIGURA 16. Região metropolitana de Natal e a localização do rio Potengi. (REGIÃO NORDESTE)
 Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL NATAL (2002).

Dada a proximidade com a linha do Equador e a sua configuração geográfica, Natal tem temperatura média de 28°C, apresentando dias com até 15 horas de sol. Sua precipitação pluviométrica é regular, com chuvas mais intensas nos meses de março a junho. O seu clima é tropical e altitude média de 31 m. Natal é famosa pelas suas lindas praias, pontos turísticos, lagoas, dunas, ótimo clima e ar puro (GEOCITIES, 2002). No município de Extremóz está localizada a lagoa de Pitanguí e no município de Ceará-Mirim está situada a lagoa Jacumã, que foram utilizadas como ambientes de estudo e também um ponto do rio Potengi na ligação com o mar. Estes municípios distam respectivamente 32 km e 43 km de Natal (SAMNET, 2002).

4.6.3 Ambientes aquáticos da região norte do Brasil

♦ Estado do Amazonas

O Estado do Amazonas pertence a região Norte do Brasil, com a linha do Equador atravessando este estado fazendo predominar o clima equatorial, caracterizado por temperaturas médias entre 24°C e 26°C e chuvas abundantes durante todo o ano.

O relevo do Estado do Amazonas apresenta três patamares de altitude - igapós, várzeas e baixos platôs ou terra firme - definidos pelo volume de água dos rios, em função das chuvas. Os igapós são áreas permanentemente inundadas, com vegetação adaptada a permanecer com as raízes sempre debaixo d'água. As várzeas encontram-se em terreno mais elevado e são inundadas apenas na época das cheias dos rios. Os baixos platôs ou terra firme estão localizados nas partes mais elevadas e fora do alcance das cheias dos rios.

A vegetação típica do Estado é a floresta equatorial, que se divide em três tipos: matas de terra firme, matas de igapó e matas de várzea. Nas matas de terra firme encontram-se as grandes árvores de madeira de lei da Amazônia; as matas de igapó localizam-se nos terrenos mais baixos, próximos aos rios, mantendo-se permanentemente alagadas. As matas de várzea localizam-se entre terra firme e a mata de igapós variando de acordo com a proximidade dos rios, nelas podem ser encontradas árvores de grande porte como a seringueira, as palmeiras e o jatobá (CITY BRAZIL, 2002)

As variações anuais do nível d'água do rio Amazonas, de grande amplitude em seu trecho médio, diminuem gradativamente em direção à sua foz, devido à maior regularização das vazões, em razão das extensas planícies de inundação, e, ainda, às maiores seções de escoamento. Na confluência do rio Juruá, verificam-se variações de até 20 m no nível das águas durante o ano; em Manaus, na desembocadura do rio Negro, uma média de 10 m; em Santarém (na confluência com o rio Tapajós) de 6 a 7 m; na desembocadura do rio Xingu, 4 m (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

Águas superficiais foram coletadas nos rios Japurá e Solimões, no lago Tefé e na Lagoa Mimirauá, cujos lagos situam-se na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mimirauá (RDSM), ilustrados na figura 17.

Esta reserva foi criada em 1990 como Estação Ecológica pelo Governo do Estado do Amazonas. Em 1996, coincidindo com a conclusão do Plano de Manejo da reserva, ela foi transformada na categoria, então inédita, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, também pelo Governo Estadual, cujo objetivo é proteger as várzeas da confluência dos rios Solimões e Japurá, no coração do Estado do Amazonas, próximo a Tefé, com área total de 1.124.000 hectares, e até 80 km de floresta da reserva são completamente alagadas entre aqueles dois importantes rios (VIVERDE, 2002).



FIGURA 17. Localização da Reserva Sustentável de Mimirauá no Estado do Amazonas, rios Japurá e Solimões e o Município de Tefé.

Fonte: Modificado de MAMIRAUÁ: plano de manejo (1996).

Em MAMIRAUÁ: plano de manejo (1996), a RDSM, repousa num longo trecho onde a pluviosidade varia numa faixa de 2.200 a 2.400 mm. No mês de junho são observados os níveis de água mais alto, já o ponto mais baixo nos meses de outubro e novembro, período em que as maiores temperaturas atingem médias mensais de 30°C a 33°C.

♦ **Estado de Tocantins**

A bacia hidrográfica do rio Tocantins ocupa uma área de 813.674 km², envolvendo superfícies dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Pará, Maranhão e, também, já próximo ao divisor das águas, do Distrito Federal.

O rio Tocantins, principal formador desta bacia, nasce no Planalto de Goiás, numa altitude em torno de 1.000 m, formado pela junção dos rios das Almas e Maranhão. Seus principais tributários, até a sua confluência com o rio Araguaia, pela margem direita, são os rios Bagagem, Tocantinzinho, Paranã, Manoel Alves da Natividade, do Sono, Manoel Alves Grande e Farinha; e pela margem esquerda, o afluente mais importante é o rio Santa Teresa. Da junção dos rios das Almas e Maranhão, até a sua confluência com o Araguaia, o rio Tocantins tem cerca de 1.400 km de comprimento, e daí à foz, outros 560 km (com desnível de aproximadamente 70 m), totalizando aproximadamente 1.960 km. Na altura do paralelo 06° S, junta-se com o rio Araguaia, e, ao final, recolhe contribuição do rio Itacaiunas, pela margem esquerda (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

Segundo a Agência Nacional das Águas (2002), as vazões médias de longo período para os rios Tocantins e Araguaia são:

- 5.500 m³.s⁻¹ na foz do rio Araguaia;
- 5.000 m³.s⁻¹ no rio Tocantins na seção de confluência com o rio Araguaia;
- 11.000 m³.s⁻¹ na foz do rio Tocantins.

As condições climáticas, que prevalecem nesta bacia, estão diretamente relacionada com sua configuração alongada, no sentido sul-norte (Latitude), com grande extensão de área, além da constância das massas de ar equatorial continental, quentes e úmidas, associadas à zona intertropical de convergência.

Estes fatores determinam uma relativa regularidade climatometeorológica, caracterizada por estações que se repetem, ano após ano, com

pequenas variações na distribuição das temperaturas, da velocidade dos ventos, da umidade do ar, da insolação e, em geral, dos demais parâmetros climáticos (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

Ao norte do paralelo 06° S, o clima é quente e úmido. As temperaturas médias anuais variam entre 24°C e 28°C. As temperaturas máximas ocorrem de agosto a setembro (38°C), e a mínima média mensal, em julho (22°C), e, a temperatura média anual nesta área, é de aproximadamente 26° C. Ao do paralelo 06° S, as temperaturas médias anuais diminuem gradativamente, com a latitude (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

As máximas coincidem com o rigor da seca em fins de setembro e começo de outubro, ocasião em que o ar seco e, também, a fumaça proveniente das queimadas, contribuem para o aumento da temperatura que, excepcionalmente, chega aos 40°C (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

O período chuvoso, na parte sul da bacia, compreende os meses de outubro a abril, e, o seco, os meses de julho a agosto. São mais chuvosos os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, na parte central e sul da bacia, e de janeiro, fevereiro e março, na região norte da bacia. A zona menos chuvosa de toda a bacia, corresponde à parte noroeste do rio Paranã (TO/GO), afluente do rio Tocantins pela margem direita. De sul para norte, as precipitações pluviais crescem de 1.500 mm, até mais de 2.400 mm (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

Os solos de maior evidência na Bacia são latossolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro, com texturas variáveis de média a argilosa, associados comumente a Solos Concrecionais, a Areias Quartzosas, a Solos Podzólicos Vermelho Amarelo e, eventualmente, a outros solos. Os *latossolos* ocorrem quase sempre nos chapadões ou superfícies de erosão estabilizadas mais antigas, assim como, também, nas pediplanícies e fluvioplanícies interiores.

Latossolo Roxo, Terra Roxa e Brunizem, sempre associados com rochas básicas e calcárias, ocorrem, em áreas mais extensas, no vale do Parabã, ao norte de Brasília, e na área do Estado de Tocantins, entre Araguatins (TO), no

rio Araguaia e Estreito (MA), no rio Tocantins, na Microrregião de Mato Grosso e Goiás e partes das regiões sul e sudeste, no Estado de Goiás (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

O médio curso do rio Tocantins estende-se até a confluência com o rio Araguaia percorrendo terrenos rebaixados pela depressão conformada entre o Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão e o Planalto Dissecado do Sul do Pará. O relevo é constituído de patamares escalonados, com altitudes médias entre 200 m e 500 m. Na parte central da bacia, são encontradas superfícies aplainadas dissecadas em colinas, com altitudes entre 200 m e 300 m. Nos divisores de água, os terrenos chegam até 600 m ou 700 m, formando serras como as do Estrondo e Paraíso, entre os rios Tocantins e Araguaia, ou chapadas sedimentares, como as do divisor entre os rios Tocantins e São Francisco.

A bacia do rio Tocantins apresenta dois tipos de vegetação: a floresta amazônica de terra firme, ou Floresta Ombrófila, e o cerrado. Os cerrados são formações típicas em todas a extensão na bacia do Médio rio Tocantins, exceção feita às margens dos rios. Nas cabeceiras dos rios das Almas, Maranhão e Paranã ocorrem formações de matas, que se tornam mais esparsas à medida que se caminham para a região central. A partir do paralelo 12° S, aproximadamente, começam a surgir agrupamentos de babaçus e em alguns trechos dos rios Paranã e Tocantins ocorrem campos de várzea de maior extensão.

O processo de ocupação desta região esteve associado às atividades extrativistas (ouro e diamante), à pecuária extensiva e ao transporte fluvial do rio Tocantins. Nos séculos XVIII e XIX surgiram as primeiras cidades, destacando-se Porto Nacional e Monte do Carmo. Em meados do século XX, com a construção da rodovia Belém-Brasília, outros núcleos urbanos foram surgindo, nos locais dos antigos acampamentos de obra. Com o término das obras uma parcela de trabalhadores fixou residência nestes núcleos e outras pessoas foram atraídas para a área. A nova rota de ligação através da rodovia redirecionou a organização espacial da região. Alguns centros importantes se consolidaram ao longo da estrada e, ao mesmo tempo, verificou-se o

declínio do transporte fluvial no rio Tocantins. As cidades à beira do rio foram perdendo importância regional e muitas foram se esvaziando. No final da década de 80, com a criação do Estado de Tocantins e a implantação de Palmas, sua capital à margem direita do rio de mesmo nome, alterou-se substancialmente o espaço regional, atraindo trabalhadores de várias partes do país (REIS PEREIRA, 2002).



FIGURA 18. Localização do rio Tocantins, no Estado de mesmo nome e das Usinas Hidrelétricas previstas. Atualmente em início de funcionamento, a de Lajeado. (REGIÃO NORTE)
 Fonte: Modificado de REIS PEREIRA (2002).

A principal atividade econômica da região é a pecuária de corte extensiva e no geral, de baixa produtividade. A agricultura é pouca expressiva e é composta por lavouras comerciais e de subsistência, principalmente de arroz, milho e soja.

Segundo REIS PEREIRA (2002), de acordo com o Censo Agropecuário de 1985, pequenas áreas são destinadas a lavouras temporárias e grande parte para pastagens naturais e plantadas. A economia urbana está calcada fundamentalmente no comércio e serviços, cujos principais centros urbanos são Palmas e Porto Nacional.

A área de influência da Usina Hidrelétrica Lajeado - Luiz Eduardo Magalhães (Médio Tocantins) engloba os municípios de Lajeado, Miracema do Tocantins, Palmas, Porto Nacional, Brejinho de Nazaré e Tocantínia, todos pertencentes à região central do Estado do Tocantins. Em maio de 2001 foi iniciado o enchimento da represa, cujos dados foram coletados no rio Tocantins, próximo ao município de Lajeado, na fase ainda de rio em julho de 1999. A figura 18 mostra a localização do rio Tocantins, a Usina Hidrelétrica de Lajeado - Luis Eduardo Magalhães já produzindo 850 MW e as demais Usinas Hidrelétricas previstas.

5. METODOLOGIA

5.1 Considerações Gerais

Este trabalho foi desenvolvido em ecossistemas naturais e em ecossistemas artificiais, segundo o estabelecido:

- i) Estudo quantitativo e qualitativo da radiação solar subaquática na faixa fotossinteticamente ativa em reservatórios do Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo) e em lagos do Vale do rio Doce (Estado de Minas Gerais). Primeiramente, foram estabelecidos os pontos de estudo, em cada um dos ambientes estudados, nos quais foram realizadas medidas em campo e as devidas coletas de material para posteriores análises laboratoriais.
- ii) “Varredura da radiação solar subaquática” nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, ambos no Estado de São Paulo. A designação do termo: “varredura” foi atribuída devido ao fato de se realizar um estudo da penetração da radiação solar subaquática, análogo ao item anterior, porém, por toda a extensão destes reservatórios estudados, com a delimitação de transectos passando por pontos localizados no centro e margens direita e esquerda, separados entre si por uma distância de aproximadamente 10 km para o reservatório de Barra Bonita, e de 2 km para o reservatório do Lobo-Broa, neste último, apenas para as posições centrais dada a sua configuração.
- iii) Estudo comparativo do espectro de absorção da água superficial para diferentes ambientes aquáticos do Brasil, a saber:

- ◆ Região Sudeste:
 - Reservatórios do Alto, Médio e Baixo Tietê - Estado de São Paulo.
 - lagos do Sistema de lagos do vale do rio Doce e córregos do Município de Belo Horizonte - Estado de Minas Gerais.
- ◆ Região Nordeste:
 - rio e lagos da região metropolitana de Natal - Estado do Rio Grande do Norte.
- ◆ Região Norte:
 - rios e lagos na região da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá - Estado do Amazonas.
 - rio Tocantins - Estado de Tocantins.

Para cada estação de estudo pertencentes aos dois primeiros itens, foram efetuadas medidas da transparência da água, da radiação solar subaquática, na faixa do visível, e em determinadas faixas espectrais: do verde, vermelho, azul e violeta, segundo diferenciação do comprimento de onda do filtro de luz utilizado, para diferentes profundidades dos mesmos e os respectivos espectros de absorção da radiação solar subaquática. Simultaneamente foram avaliadas as variáveis abióticas (físicas e químicas), material em suspensão, bióticas (clorofila total), e climatológicas envolvidas. Nos ambientes aquáticos contidos no último item, foi determinado o espectro de absorção da água superficial.

O estabelecimento das profundidades de coleta da água para as análises laboratoriais, foram baseadas nas leituras da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., correspondentes a 100%, 50%, 25%, 10% e 1% da leitura da mesma obtida na superfície da água.

As amostras de água foram coletadas segundo este critério, com a garrafa de "Van Dorn", de PVC, com 5 litros de capacidade. Estas amostras foram transportadas para o laboratório em bujões de plástico, sendo uma parte

imediatamente filtrada e acondicionada para posteriores análises laboratoriais que consistem na determinação das concentrações de material em suspensão (frações orgânica e inorgânica) e de clorofila total contida na água. A outra parte da amostra foi utilizada para a determinação do espectro de absorção da água coletada.

As coletas e as respectivas medidas foram realizadas em dois períodos típicos do ano: o período seco (julho e agosto) e o de alta precipitação (novembro a fevereiro).

5.2 Metodologia de Campo

Dada a complexidade de dados envolvidos no desenvolvimento deste trabalho, a diversidade de ambientes aquáticos estudados e os respectivos pontos de coleta determinados em cada situação, foi elaborada uma subdivisão para as atividades desenvolvidas em campo segundo o estudo da radiação solar subaquática estabelecido, a saber:

5.2.1 Estudo quantitativo e qualitativo da penetração radiação solar em ecossistemas naturais (lagos) e artificiais (reservatórios)

O estudo quantitativo e qualitativo da penetração da radiação solar foi desenvolvido nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê de **Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e de Três Irmãos**; e no sistema de lagos do Vale do rio Doce, cujos lagos foram: **D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal, Águas Claras, Amarela, Ferrugem e Verde**.

Os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, compreendem a série dos seis reservatórios mencionados, que vai desde a represa de Barra Bonita até a represa de Três Irmãos, dispostos em cascata como se observa na figura 09. Os pontos de coleta em cada reservatório estão indicados nas figuras 19 a 24, e cujas datas de sua realização são apresentadas na tabela 07.

TABELA 07. Datas das atividades em campo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo)

Ambientes de Estudo		Datas das Atividades em Campo	
		Período Seco	Período Chuvoso
Três Irmãos	P1 (Barragem)	06/07/1999	24/02/2000
	P2 (Araçatubinha)	07/07/1999	24/02/2000
	P3 (Lambari)	07/07/1999	23/02/2000
Nova	P1 (Barragem)	08/07/1999	23/02/2000
Avanhandava	P2 (rio Santa Bárbara)	08/07/1999	23/02/2000
Promissão	P1 (Barragem)	11/07/1999	22/02/2000
	P2 (Sabino)	11/07/1999	21/02/2000
	P3	12/07/1999	21/02/2000
Ibitinga	P1 (Barragem)	12/07/1999	20/02/2000
	P2 (rio Jacaré-Guaçu)	12/07/1999	20/02/2000
Bariri	P1 (Barragem)	04/11/1999	19/02/2000
	P2 (rio Jaú)	04/11/1999	19/02/2000
	P3 (Itapuú)	04/11/1999	19/02/2000
	P4 (rio Bauru)	04/11/1999	19/02/2000
Barra Bonita	P1 (Barragem)	05/11/1999	18/02/2000
	P2 (rio Tietê)	05/11/1999	18/02/2000
	P3 (rio Piracicaba)	05/11/1999	18/02/2000



FIGURA 19. Represa de Barra Bonita e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem, P2 e P3 nos rios Tietê e Piracicaba respectivamente. Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.

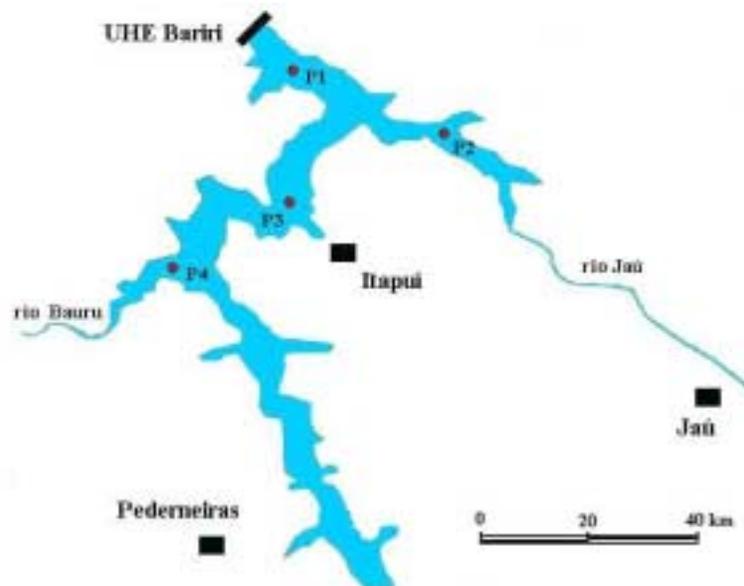


FIGURA 20. Represa de Bariri e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem, P2 no rio Jau, P3 nas proximidades do Município de Itapuí e P4, no rio Bauru. Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.

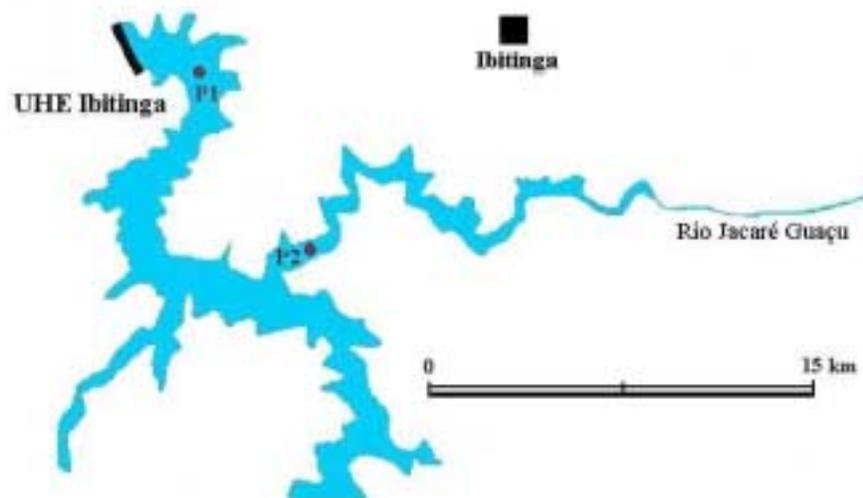


FIGURA 21. Represa de Ibitinga e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem e P2 no rio Jacaré Guaçu.
 Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.

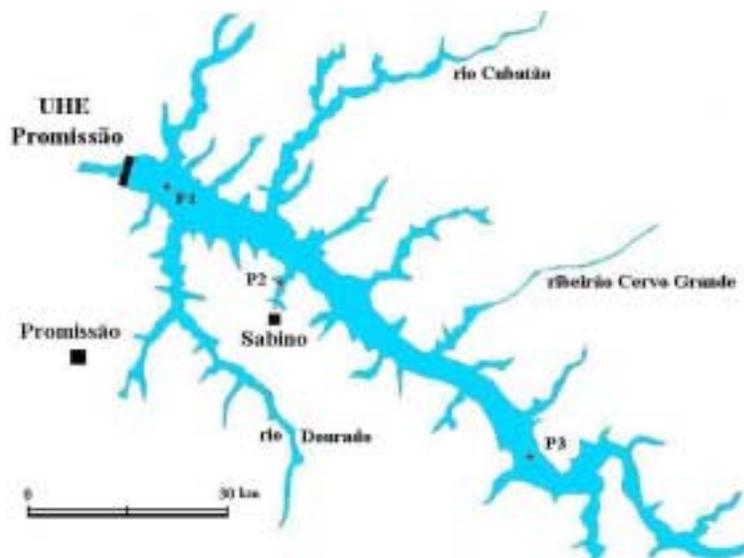


FIGURA 22. Represa de Promissão e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem e P2 nas proximidades do Município Sabino e P3 no rio Tietê entre as barragens de Promissão e Ibitinga.
 Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.

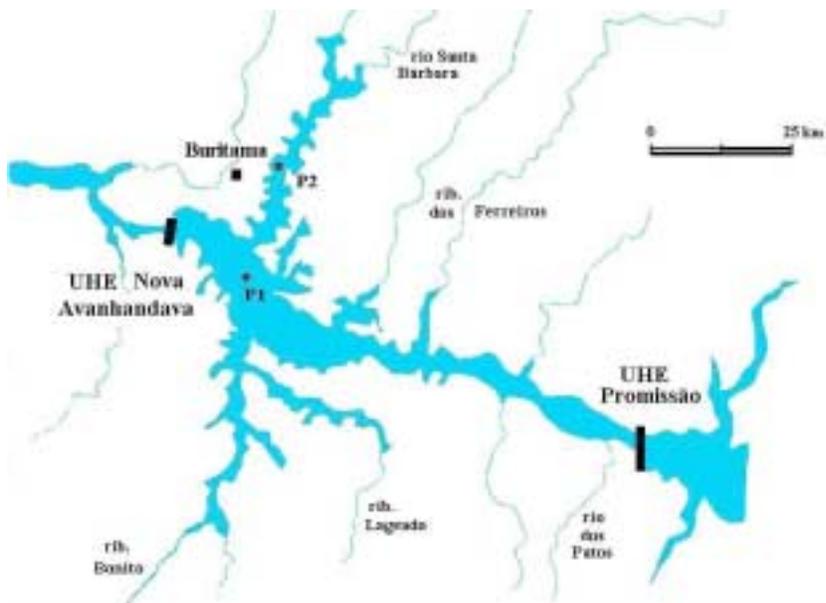


FIGURA 23. Represa de Nova Avanhandava e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem e P2 no rio Santa Bárbara.
 Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.



FIGURA 24. Represa de Três Irmãos e a posição dos pontos de coleta: P1 situado nas proximidades da Barragem, P2 próximo ao Município de Sud Menucci e P3 próximo ao Município de Santo Antonio de Aracanguá ou simplesmente Aracanguá.
 Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.

Os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce em que foi estudada a penetração da radiação solar estão ilustrados na figura 10, sendo estes os lagos: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal, Águas Claras, Amarela, Ferrugem e Verde. Nestes lagos as coletas foram realizadas, em vários pontos, os quais estão

indicados nas figuras 25 a 27, as datas das mesmas e os pontos de coleta para o estudo da penetração da radiação solar estão indicadas na tabela 08. Os pontos indicados nestas figuras e que não constam da tabela correspondem à coleta de água superficial.

TABELA 08. Datas das atividades em campo dos lagos do Vale do rio Doce (Estado de Minas Gerais).

Ambientes de Estudo		Datas das Atividades em Campo	
		Período Seco	Período Chuvoso
Lago D. Helvécio	P1	09/08/1999	04/02/2000
Lagoa Carioca	P1	10/08/1999	06/02/2000
Lagoa Aguapé	P1	10/08/1999	05/02/2000
Lagoa Aníbal	P3	11/08/1999	05/02/2000
Lagoa Águas Claras	P1	11/08/1999	07/02/2000
Lagoa Amarela	P1	12/08/1999	09/02/2000
Lagoa Ferrugem	Centro	13/08/1999	09/02/2000
Lagoa Verde	P3 (Centro)	13/08/1999	09/02/2000

Obs.: Os pontos indicados nesta tabela ao lado de cada lago são relativos aos pontos de coleta para o estudo quantitativo e qualitativo da penetração da radiação solar nos mesmos.

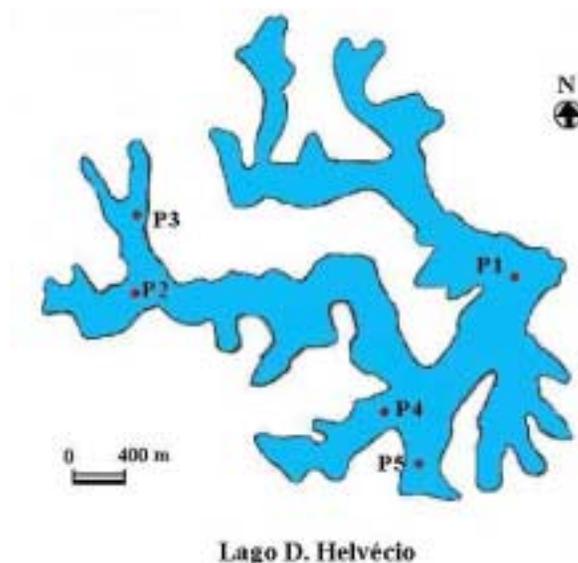


FIGURA 25. Lago D. Helvécio e a posição dos pontos de coleta: P1 para o estudo da penetração da radiação solar e os demais pontos para determinação da qualidade espectral da água superficial.

Fonte: Adaptado de IBGE, 1980.

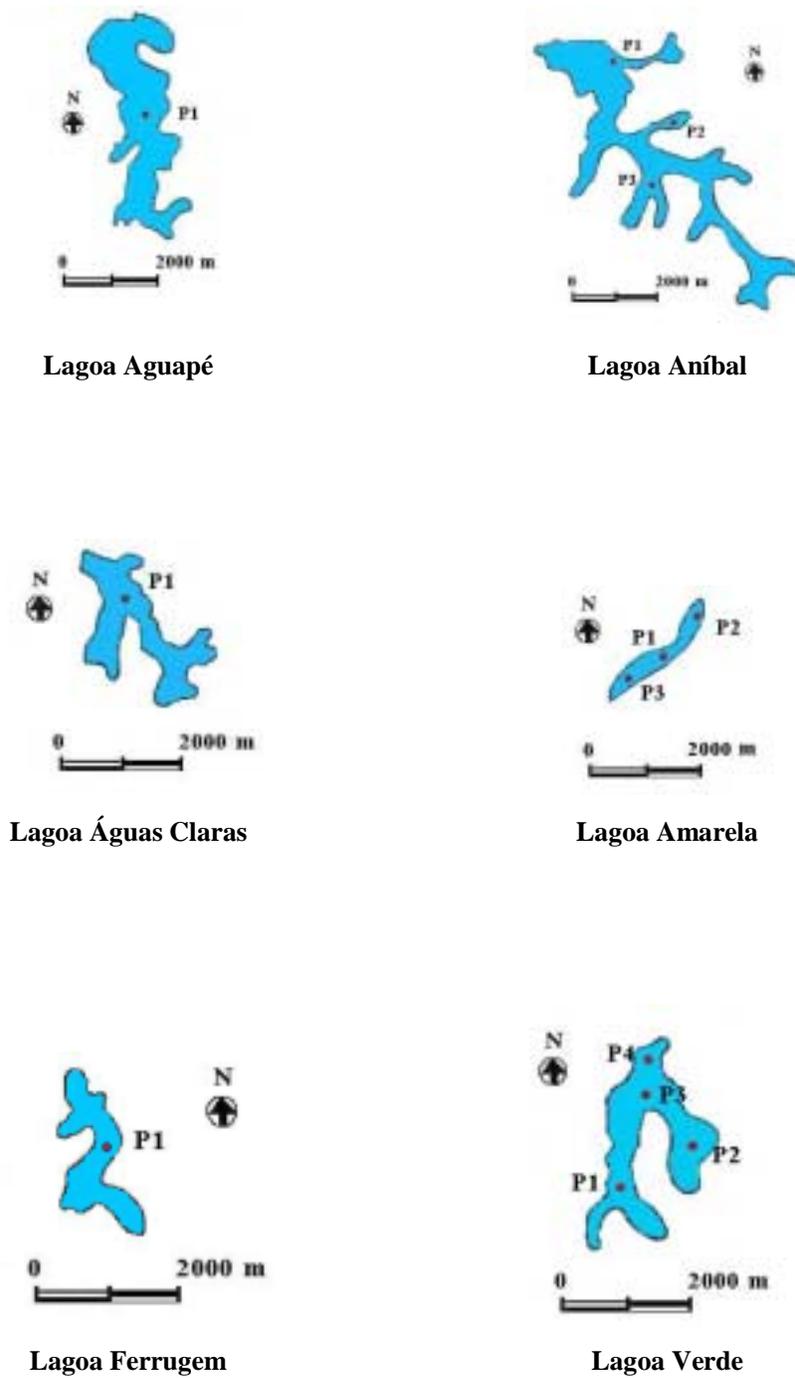


FIGURA 26. Localização dos pontos de coleta para os lagos: Aguapé, Aníbal, Águas Claras, Amarela, Ferrugem e Verde.
 Fonte: Adaptado de IBGE, 1980.

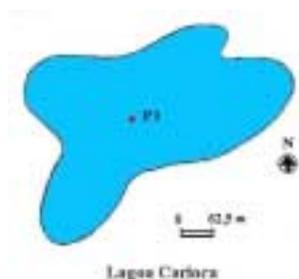


FIGURA 27. Lagoa Carioca e a posição do ponto de coleta: P1.
 Fonte: Adaptado de IBGE, 1980.

5.2.2 “Varredura” da radiação solar subaquática nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (SP)

O estudo da penetração da radiação solar por toda a extensão dos corpos d’água foi realizado na represa de Barra Bonita e do Lobo-Broa, no Estado de São Paulo. A tabela 09 indica as datas das atividades em campo para estas represas e as figuras 28 e 29 mostram os pontos de coleta nos respectivos reservatórios.

TABELA 09. Datas das atividades em campo dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (Estado de São Paulo).

Ambientes de Estudo		Datas das Atividades em Campo	
		Período Chuvoso	Período Seco
Reservatório Barra Bonita	P1 (Barragem)	07/12/1999	29/07/2000
	P2 (Barragem)	07/12/1999	28/07/2000
	P3 (Barragem)	09/12/1999	28/07/2000
	P4 (riosTietê/Piracicaba)	09/12/1999	28/07/2000
	P5 (riosTietê/Piracicaba)	08/12/1999	27/07/2000
	P6 (rio Tietê)	08/12/1999	27/07/2000
	P7 (rio Piracicaba)	08/12/1999	27/07/2000
	P8 (riosTietê/Piracicaba)	09/12/1999	28/07/2000
Reservatório Lobo	P1	10/12/1999	07/08/2000
	P2	10/12/1999	07/08/2000
	P3	10/12/1999	07/08/2000
	P4	10/12/1999	07/08/2000

A figura 28, mostra a delimitação dos transectos considerados na represa de Barra Bonita, para a “varredura da radiação solar subaquática”, cujas posições dos pontos de observação indicados pelas letras A, C e B correspondem respectivamente às margens direita e esquerda e centro da represa, à montante da barragem tomando-se como referência o curso natural do rio.

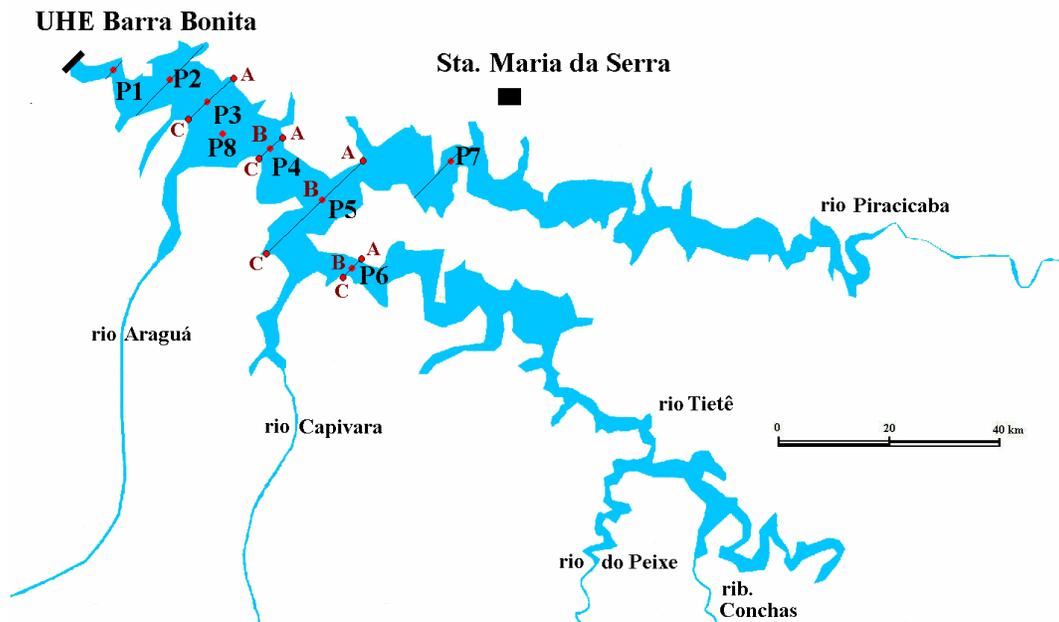


FIGURA 28. Pontos de coleta no reservatório de Barra Bonita, com os respectivos transectos traçados em cada ponto de observação indicados pelas letras A, C, e B as quais correspondem respectivamente às margens direita e esquerda e centro da represa, tomando-se como referencial a montante da barragem, no sentido do curso natural do rio.
 Fonte: Modificado de GÜNTZEL, 2000.

Analogamente, a figura 29 mostra os pontos de estudo para “varredura da radiação solar subaquática” para a represa do Lobo-Broa, situados em pontos aproximadamente equidistantes das margens e ao longo do seu corpo central, dada a sua configuração.

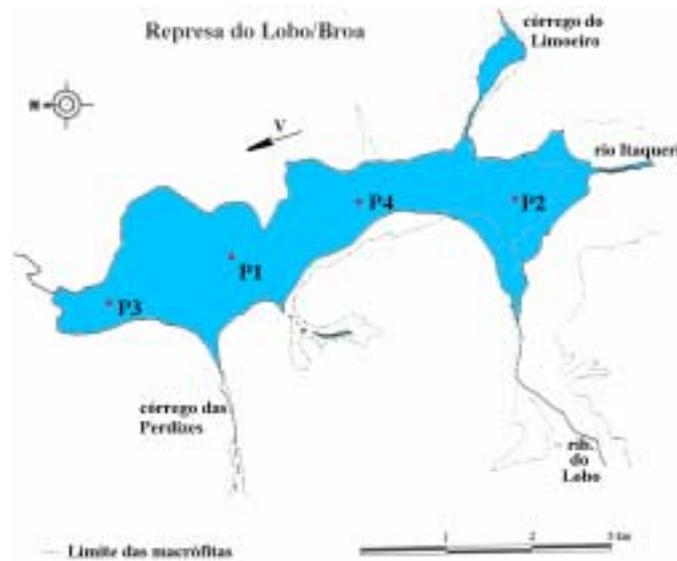


FIGURA 29. Pontos de coleta no reservatório do Lobo-Broa, situados na posição central em relação às margens, dada a configuração da represa.
 Fonte: Modificado de TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 1995.

5.2.3 Espectro de absorção da água superficial em ambientes aquáticos situados nas regiões: Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil

Para se efetuar a comparação entre os espectros de absorção em águas superficiais foram coletadas águas nos ambientes aquáticos do Brasil: reservatórios do Alto, Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo), lagos do Vale do rio Doce e de córregos no Município de Belo Horizonte (Estado de Minas Gerais) - REGIÃO SUDESTE, rios e lagos de Natal (Estado de Rio Grande do Norte) - REGIÃO NORDESTE e do Estado do Amazonas e rio Tocantins (Estado de Tocantins) - REGIÃO NORTE. A tabela 10, indica as datas referentes às atividades em campo para cada um dos ambientes aquáticos citados.

Para o caso dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê foram considerados os dados obtidos nas águas superficiais dos mesmos em todos os pontos de estudo realizados para o perfil da radiação solar. Para os lagos do Vale do rio Doce, as figuras 25 a 27 indicam todos os pontos que foram coletadas águas superficiais e a figura 30 mostra estes pontos para os lagos: Almecega, Ariranha e Jacaré, os quais não foram enquadrados no estudo do perfil da radiação solar subaquática.

TABELA 10. Datas das atividades em campo para determinação do espectro de absorção da água superficial em ecossistemas naturais e artificiais no Brasil.

Ambiente de Estudo		Data	Ambiente de Estudo		Data
Reservatórios do Alto Tietê (SP)	Pedro Beicht (Cotia)	23/08/1999	Natal (RN)	rio Potengi	14/09/1999
	Paulo P. Castro (Est.1)	24/08/1999		Lagoa Pitangui (Extremoz)	14/09/1999
	Águas Claras (Mairiporã)	24/08/1999		Lagoa Jacumã (Ceará Mirim)	14/09/1999
	Billings (Est. 1)	25/08/1999	Lagos do Vale do rio Doce (MG)	Lago D. Helvécio	09/08/1999
	Billings (Est. 4)	25/08/1999		P1, P2, P3, P4 e P5	04/02/2000
	Jundiá	26/08/1999		Lagoa Carioca	10/08/1999
	Taiapuê	26/08/1999		P1	06/02/2000
	Ponte Nova	27/08/1999		Lagoa Aguapé	10/08/1999
Ribeirão Campo	27/08/1999	P1		05/02/2000	
Reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP)	Três Irmãos	06/07/1999		Lagoa Aníbal	11/08/1999
		24/02/2000		P1, P2 e P3	05/02/2000
	Nova Avanhandava	07/07/1999		Lagoa Águas Claras	11/08/1999
		23/02/2000		P1	07/02/2000
	Promissão	11/07/1999	Lagoa Amarela	12/08/1999	
		22/02/2000	P1, P2 e P3	09/02/2000	
	Ibitinga	12/07/1999	Lagoa Carvão com Azeite	12/08/1999	
		20/02/2000	Lagoa Ferrugem	13/08/1999	
Amazonas (AM)	Bariri	04/11/1999	Centro	09/02/2000	
	Barra Bonita	19/02/2000	Lagoa Verde	13/08/1999	
		05/11/1999	P1, P2, P3 e P4	09/02/2000	
		18/02/2000	Lagoa Ariranha	12/08/1999	
			P1, P2 e P3	07/02/2000	
Tocantins (TO)	Lagoa Mamirauá (Base2)	30/07/1999	Lagoa Amecega	13/08/1999	
	Lagoa Mamirauá (Base1)	31/07/1999	P1	08/02/2000	
	Lago Tefé	31/07/1999	Lagoa Jacaré	13/08/1999	
	Rio Solimões	31/07/1999	P1	08/02/2000	
	Rio Japurá	31/07/1999	rio Doce	11/08/1999	
Belo Horizonte (MG)	Rio Tocantins	28/07/1999	Lagoa Azul	11/08/1999	
				05/02/2000	
Belo Horizonte (MG)	Córrego Ressaca (Aterro Sanitário)	07/12/1999			
	Junção (Córregos Sarandi e Ressaca)	06/12/1999			
	Córrego Sarandi (Horto Florestal)	06/12/1999			

Pontos de Estudo em Águas Superficiais de Outros Lagos do Vale do Rio Doce (MG)

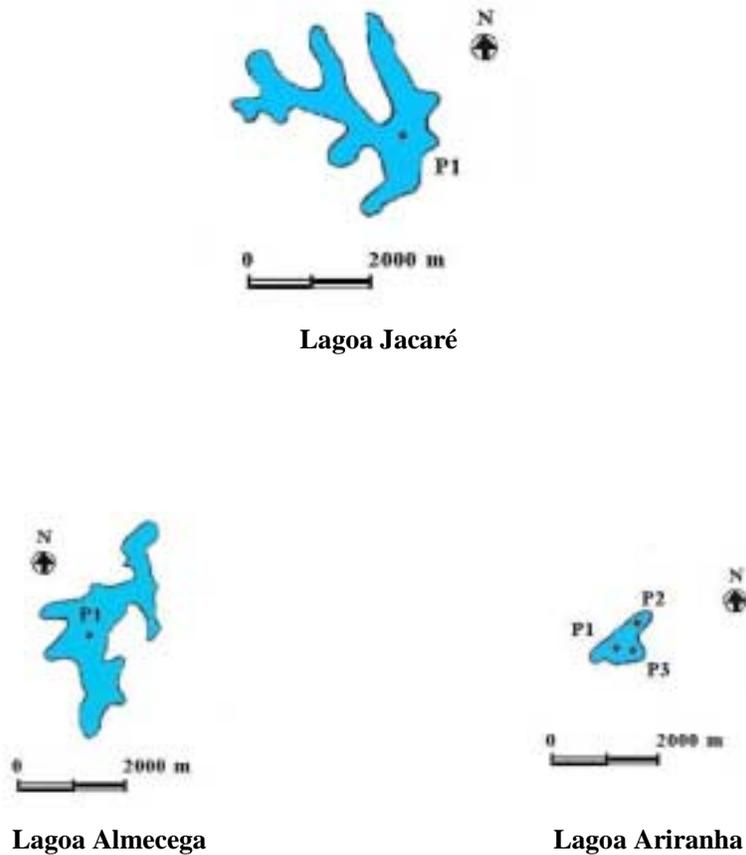


FIGURA 30. Localização dos pontos de coleta nos lagos do sistema do vale de lagos do Vale do rio Doce: Jacaré, Almecega e Ariranha.

Fonte: Adaptado de IBGE, 1980.

Ainda no sistema de lagos do Vale do rio Doce, foram visitadas as Lagoas Azul e Carvão com Azeite, que apresentam algumas peculiaridades, nas quais foram também coletadas águas superficiais. A Lagoa Azul se encontra numa região pouco explorada pelo homem, de difícil acesso, sendo somente possível atingi-la por meio de caminhada mata adentro, cuja figura 31 mostra esta lagoa e seu entorno. Já a lagoa Carvão com Azeite apresenta em toda sua

extensão a cobertura de vegetação ilustrada na figura 32. A caminho do lago Aníbal (em 11/08/1999), foi possível coletar água superficial num trecho rio Doce, cujo local da coleta pode se observar na figura 33.



FIGURA 31. Ilustração da Lagoa Azul, localizada em região pouco explorada pelo homem e de difícil acesso (A); Indicação do ponto em que a água foi coletada nesta lagoa (B).

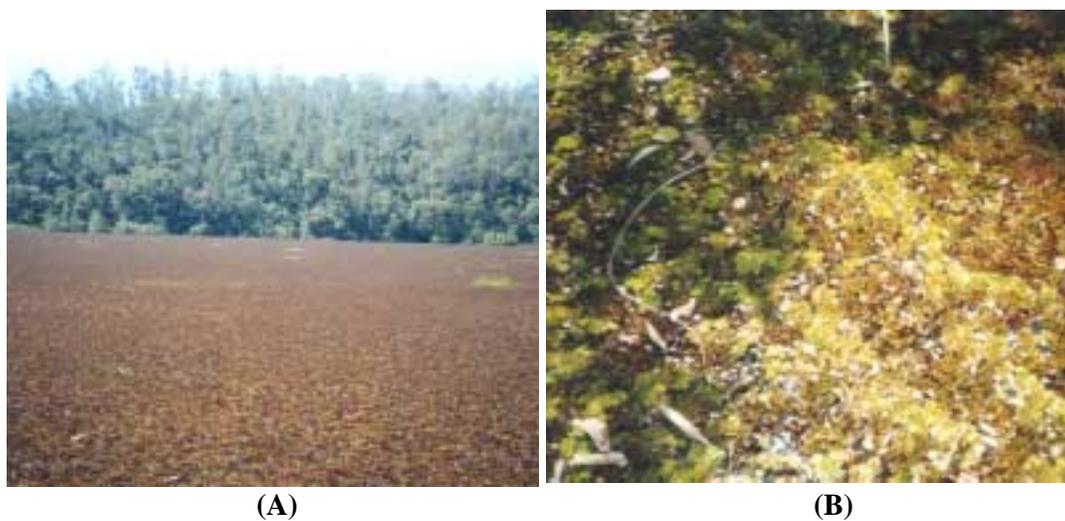


FIGURA 32. Ilustração da Lagoa Carvão com Azeite, evidenciando a cobertura vegetal por toda a sua extensão (A); Detalhamento da cobertura vegetal (B).



FIGURA 33. Trecho do rio Doce (MG), em que foi coletada água superficial a caminho do lago Aníbal, em 11/08/1999.

No Estado de Minas Gerais foram também efetuadas coletas de água superficial em dois córregos de Belo Horizonte, sua capital, assim distribuídas: córrego Ressaca, na região do aterro sanitário de Belo Horizonte; córrego Sarandi situado no Horto Florestal, próximo ao distrito industrial de Contagem e na junção dos córregos Sarandi e Ressaca, como ilustram as figuras 34 a 36.



FIGURA 34. Córrego Ressaca próximo ao aterro sanitário de Belo Horizonte (MG).
Fonte: Foto cedida por Giselle Paulino Lopes (2002)



FIGURA 35. Córrego Sarandi próximo ao distrito industrial de Contagem (MG).
Fonte: Foto cedida por Giselle Paulino Lopes (2002)



FIGURA 36. Junção dos córregos Sarandi e Ressaca.
Fonte: Foto cedida por Giselle Paulino Lopes (2002)

No Estado do Rio Grande do Norte a coleta de água superficial foi realizada na região metropolitana de Natal, no rio Potengi (figura 15) e nas Lagoas Jacumã e Pitangui. A primeira localizada no município de Ceará-Mirim e ilustrada na figura 37 e a última no município de Extremoz como mostra a figura 38.



Lagoa Jacumã (RN)

FIGURA 37. Vista da lagoa Jacumã, município de Ceará-Mirim, região metropolitana de Natal (RN). A coleta foi realizada nas proximidades de sua margem.
Fonte: SAMNET (2002).



Lagoa de Pitangui (RN)

FIGURA 38. Vista da lagoa de Pitangui, município de Extremoz, região metropolitana de Natal (RN). A coleta foi realizada nas proximidades de sua margem.
Fonte: SAMNET (2002).

A coleta de água superficial no Estado do Amazonas foi realizada em dois pontos da Lagoa Mimirauá, um ponto no Lago Tefé, rio Solimões e rio Japurá, indicados com pontos vermelhos na figura 39.

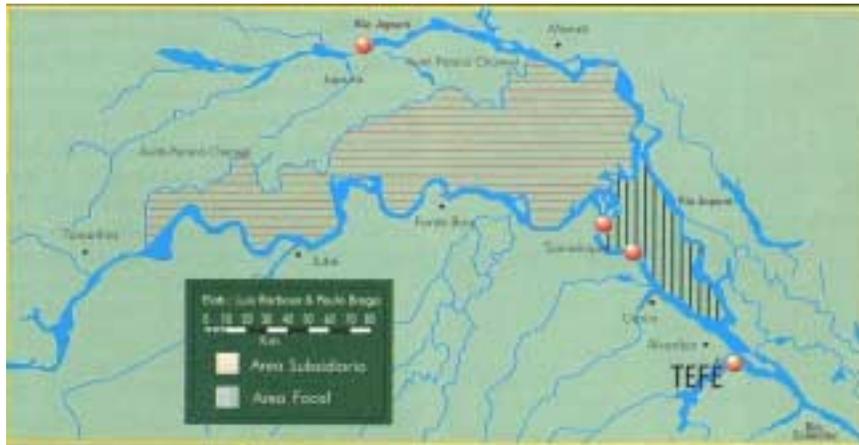


FIGURA 39. Localização geográfica da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (AM). Os pontos vermelhos indicam a região em que foi coletada água superficial.
 Fonte: Modificado de MAMIRAUÁ: plano de manejo (1996).

A figura 40 mostra o ponto de coleta efetuada no rio Tocantins, Estado de Tocantins, próximo ao município de Lajeado. Na época da coleta este trecho se encontrava em fase de rio, atualmente a área foi alagada com a construção da Usina Hidrelétrica de Lajeado, ora denominada UHE Luis Eduardo Magalhães.

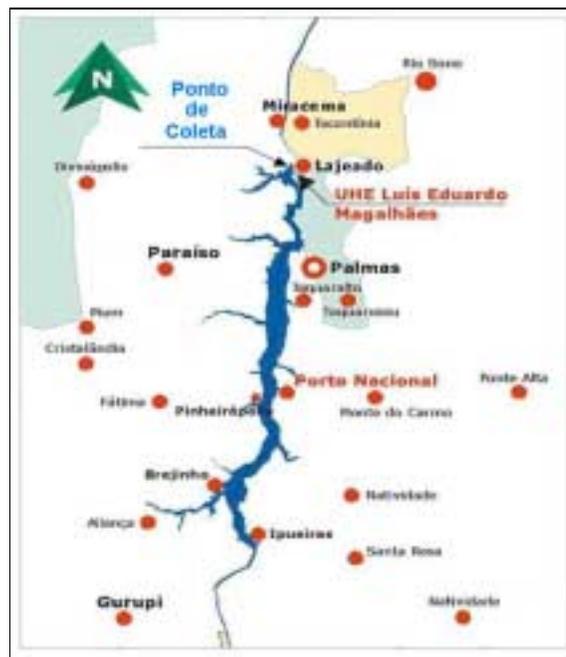


FIGURA 40. Localização geográfica do rio Tocantins, (TO) e o ponto de coleta, próximo à montante da UHE Luis Eduardo Magalhães.
 Fonte: Modificado de INVESTICO (2002).

5.3 Metodologia de Laboratório e Levantamento de Dados

5.3.1 Variáveis climatológicas

As variáveis climatológicas envolvidas no estudo do regime de radiação solar subaquática foram: temperatura do ar, temperatura da água do reservatório, precipitação pluviométrica, intensidade dos ventos (velocidade do vento), pressão atmosférica, umidade relativa, na superfície terrestre.

Estes dados foram obtidos nas estações meteorológicas, em que os ambientes estudados estão vinculados e que as mesmas se encontravam em funcionamento na época desejada.

Para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê em que estes dados não estavam disponíveis, foram feitas pesquisas via internet, obtendo-se dados relativos a temperatura, precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e insolação referente a todo o Estado de São Paulo. Em pesquisa bibliográfica foram obtidos dados de precipitação e de velocidade do vento para o reservatório de Barra Bonita. Em ambos os casos foi fornecida a série histórica para cada parâmetro, sendo que no primeiro refere-se ao período de 1995 a 2001 e no segundo de 1992 a 1996.

5.3.2 Variáveis abióticas: físicas e químicas

5.3.2.1 pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura da água

As leituras na coluna d'água, para estas variáveis, foram realizadas de 50 em 50 centímetros, concomitantemente com a medidas de radiação solar subaquática. O aparelho utilizado para efetuar tais medidas foi o denominado Horiba U-10 N-8F Digital, cujas especificações são dadas na tabela 11.

TABELA 11. Especificações do aparelho Horiba U-10, para as medidas de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade e turbidez

Especificações	pH	Tempe- ratura	Oxigênio Dissolvido	Condutividade	Turbidez
Unidade	---	°C	mg/L	mS/cm	NTU
Faixa	0 - 14	(0 - 50)°C	(0 - 19,9)mg/L	(0 - 100)mS/cm	(0 - 800)NTU
Escala	i) Padrão	1°C	0,1mg/L	(0 - 1):0,01mS/cm	10NTU
	ii) Expandido	0,1°C	0,01mg/L	(10 - 100):1mS/cm	1NTU
	Precisão	± 0,05pH	± 0,3°C	± 0,1mg/L	± 1%F.S.

5.3.2.2 Concentração de material em suspensão

Para a determinação do material em suspensão foi utilizado o método gravimétrico, segundo técnica descrita por TEIXEIRA et al (1965) e TUNDISI (1969), ligeiramente modificada, com base em WETZEL & LIKENS (1991).

Para a amostra de água coletada, foi determinado o volume de água a ser filtrada em Filtros Whatmann GF/C, previamente calcinados em mufla a 460°C por uma hora, e pesados (P_0) em balança digital (Mettler). Filtrada a amostra, foi colocada em estufa a 65°C por 24 horas para posteriormente ser mantida no dessecador. Eliminada a umidade, foi efetuada nova pesagem dos filtros, cujo valor subtraído de P_0 fornecerá o material em suspensão total (material orgânico e inorgânico), P_1 . Por meio de outra calcinação dos filtros foi encontrado P_2 , correspondente ao peso dos filtros sem matéria orgânica. Pela diferença entre P_1 e P_2 se obteve a fração de matéria orgânica.

Através do volume filtrado conhecido, foram obtidos os valores de material em suspensão total e de suas frações (orgânica e inorgânica) por volume de água no reservatório em questão. Os cálculos foram expressos em mg/L.

5.3.3 Dados quantitativos e qualitativos da radiação solar subaquática

5.3.3.1 Transparência da água

Esta medida foi obtida com a utilização do Disco de Secchi, que consiste de um disco branco com praticamente 30 cm de diâmetro. Este disco será mergulhado na água, através de um cordão graduado (com escalas marcadas em metros ou centímetros) até a profundidade de desaparecimento do mesmo, denominada profundidade Secchi.

A penetração de luz no corpo d'água (profundidade da zona eufótica), corresponde aproximadamente ao triplo da profundidade Secchi, de acordo com MARGALEF (1983). A determinação da profundidade Secchi, portanto, possibilita fazer-se uma estimativa da extensão da zona eufótica no ponto de estudo do corpo d'água. Assim:

$$Z_{eu} = 3 \cdot ZDS$$

Onde:

Z_{eu} → Zona eufótica (1% da Radiação solar na superfície)

ZDS → Profundidade do Disco de Secchi

5.3.3.2 Outras Medidas

As medidas quantitativas e qualitativas relacionadas com a penetração da radiação solar em ambientes aquáticos foram obtidas com a utilização dos instrumentos:

a) Quanta-meter:

A radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., ocorre aproximadamente entre 380 nm e 700 nm, constituindo cerca de 46 a 48% da energia total que

incide sobre a superfície terrestre (WETZEL & LIKENS, 1991). A quantidade de energia que chega na superfície de um corpo d'água por unidade de área em um determinado intervalo de tempo (Irradiância) pode ser expressa pelas unidades de medida: $J. m^{-2}.s^{-1}$, $Cal.cm^{-2}.s^{-1}$, $\mu Einstein. m^{-2}.s^{-1}$.

Sensores quânticos que medem a radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., contém filtros que possibilitam a medida na faixa da luz visível. Para a determinação desta radiação foi utilizado o instrumento denominado "Quanta-meter" LI-COR (LI-185A), de configuração 4π que permite captação de radiação em todas as direções, na faixa do espectro de radiação para a fotossíntese entre 400 nm e 700 nm. A figura 41 mostra a curva de resposta do sensor de irradiância fotossintética do mencionado instrumento.

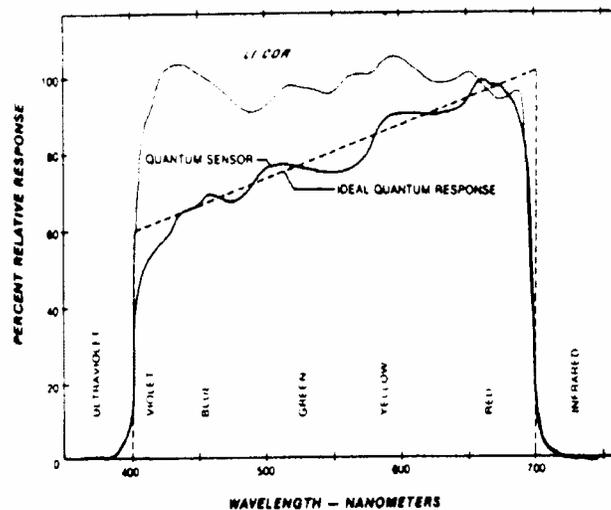


FIGURA 41. Resposta típica do sensor quântico do Quanta-meter LI-COR (LI-185A), em relação ao comprimento de onda e a resposta ideal.
 Fonte: (Dados do manual do aparelho Quanta-meter LI-COR, Brochure RS2-279).

A medida da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., foi efetuada a cada 0,25 m da coluna d'água para cada ponto estudado e expressa em $\mu Einstein. m^{-2}.s^{-1}$, cujos dados permitiram obtenção do perfil da R.F.A., no interior da massa de água. Foi considerado como 100%, o percentual de R.F.A. incidente na superfície do corpo d'água no ponto de estudo, sendo

posteriormente determinadas as profundidades que corresponderam a 50%, 25%, 10% e 1% da radiação fotossinteticamente ativa que atingiu a superfície aquática. As amostras de água foram coletadas segundo estas profundidades, para a determinação da absorvância da mesma na água e das concentrações de material em suspensão e de clorofila total. Foi também determinada a profundidade da zona eufótica com o valor da profundidade a 1% de R.F.A., para uma comparação com aquela obtida com o uso do Disco de Secchi. Além disso, com as medidas efetuadas com este aparelho foi possível determinar o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática (K_t), na faixa fotossinteticamente ativa.

b) Proposta, Desenvolvimento e Adequação de Equipamento:

Para as leituras de medidas de radiação solar subaquática, foi utilizado a estrutura do hidrofotômetro (Modelo N° 268WA310 GM MF& Instrument Corp Bronx N.Y. 10 451), cujo sensor fôra danificado em atividades de campo anteriores a este trabalho. Com o intuito de recuperar ou manter em operação este equipamento, foi proposta uma “reconstrução” do mesmo, sendo necessária a substituição do sensor danificado e as conseqüentes adaptações e modificações. Desta forma, foi possível inserir e adaptar o detector fotocondutivo (PIN-25DP), constituído de fotodiodos difusos de silício e configuração 2π , cujas respostas na presença de luz são dadas na forma de diferença de potencial elétrico (V ou mV), por meio de um medidor a ele conectado. A estrutura deste instrumento foi planejada de modo a permitir que fossem posicionados sobre este detector, filtros de luz atuando em bandas espectrais suficientemente estreitas, permitindo obter-se o perfil da radiação total e seletiva nos ambientes aquáticos estudados.

A variação espectral do detector fotocondutivo (PIN-25DP) estende-se de 350 nm a 1100 nm, tornando-o ideal para aplicações na faixa do visível e próximo ao infravermelho, sendo este de configuração plana o que permite a medida da radiação solar mais especificamente na direção vertical, não sendo possível

detectar influências de espalhamento em direções várias. A figura 42 ilustra a curva de resposta espectral típica do mesmo e as figuras 43 a 46, a curva de transmitância da luz em cada filtro utilizado nas respectivas faixas espectrais estreitas.

O aparelho foi submetido a testes de funcionamento, sendo levado a campo nos períodos de coletas citados, para serem avaliados os seguintes aspectos: sensibilidade, estabilidade, manuseio, ajustes das medidas efetuadas, tomando-se como referência o “Quanta-meter” LI-COR (LI-185 A) e vedação do sensor quando submerso.

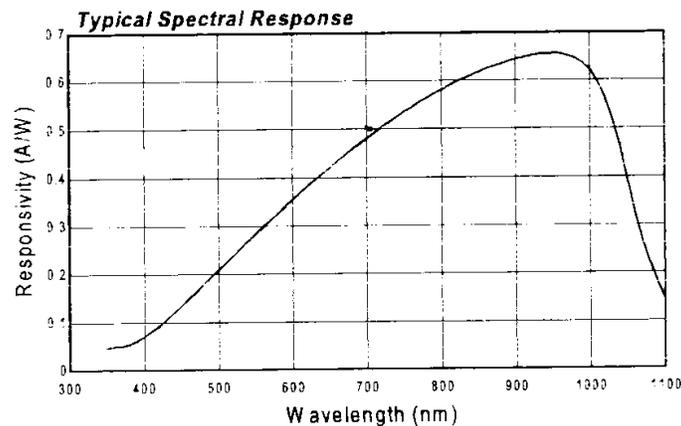


FIGURA 42. Resposta espectral típica do detector fotocondutivo (PIN-25DP), em relação ao comprimento de onda.
 Fonte: (Dados do manual de especificações do detector fotocondutivo - UDT Sensors Inc.)

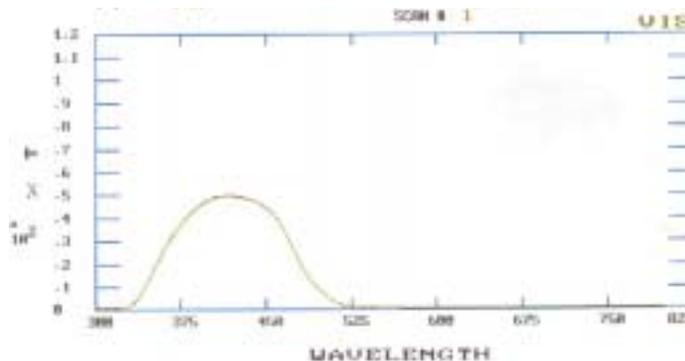


FIGURA 43. Curva de transmitância da luz no filtro violeta em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 440 nm.
 Fonte: (Dados obtidos na Oficina de Óptica do Instituto de Física de São Carlos/USP).

Para análise de todos estes aspectos foram necessários trabalhos em diferentes setores, desde o artesanal até à análise e adequação dos circuitos eletrônicos inseridos no medidor, nos quais o Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos/USP, esteve presente fornecendo todo o apoio para colocar o mencionado aparelho em condições satisfatórias para o funcionamento em trabalho de campo. As discussões e integração com o Grupo de Óptica se estenderam até o final do trabalho dado o grande número de coletas e conseqüentemente de dados que foram avaliados e descritos da forma mais adequada.

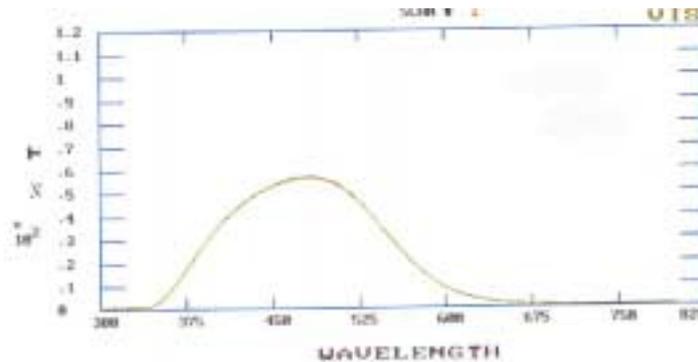


FIGURA 44. Curva de transmitância da luz no filtro azul em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 480 nm.
 Fonte: (Dados obtidos na Oficina de Óptica do Instituto de Física de São Carlos/USP)

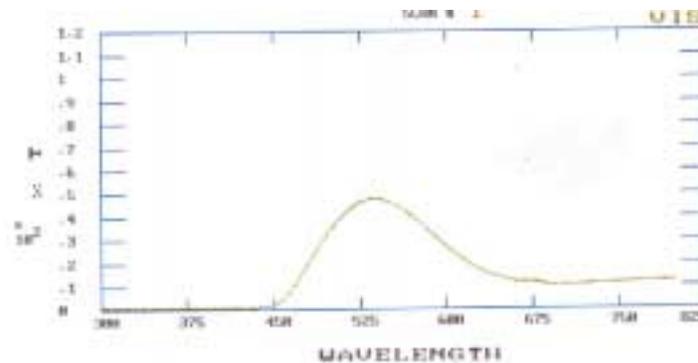


FIGURA 45. Curva de transmitância da luz no filtro verde em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 530 nm.
 (Dados obtidos na Oficina de Óptica do Instituto de Física de São Carlos/USP).

A medida da radiação solar subaquática deste fotômetro em teste, foi efetuada analogamente à do Quanta-meter LI-COR, a cada 0,25 m da coluna d'água para cada ponto estudado e expressa em V (Volt) e em mV (miliVolt), o que permitiu a comparação do comportamento da curva exponencial tanto para a radiação solar total com o da R.F.A., como o da radiação solar subaquática seletiva no interior da massa de água.

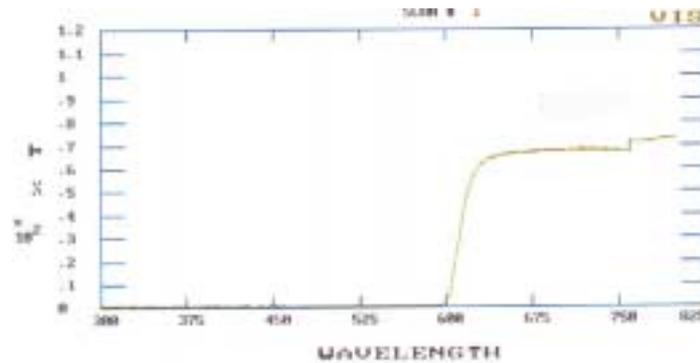


FIGURA 46. Curva de transmitância da luz no filtro vermelho em relação ao comprimento de onda, com pico de transmitância da luz a 610 nm.
(Dados obtidos na Oficina de Óptica do Instituto de Física de São Carlos/USP)

c) Espectro-radiômetro Subaquático:

Foi utilizado o espectro-radiômetro subaquático LI-1800UW que permite obter informações da quantidade e da qualidade espectral da radiação solar pela aquisição de dados da medida desta em faixas espectrais estreitas.

Os componentes básicos deste equipamento, são:

- i) Monocromador de grade holográfica. Este componente possibilita a decomposição da luz solar e seleciona bandas de largura bem estreita para a medida de radiação.
- ii) Filtros adaptados em uma engrenagem na qual cada filtro corresponde a uma determinada faixa de comprimento de onda. O equipamento LI-1800UW seleciona automaticamente filtros adequados de modo a evitar interferência de qualquer luz exterior.

- iii) Detector de silício, de modo que a luz ao atravessar o monocromador gera uma corrente quando esta atingir o detector.
- iv) Computador interno que capta toda a coleção de dados onde estes são armazenados em um arquivo de sua memória interna. Cada arquivo contém um coletor o qual fornece os dados, nome do arquivo, resolução, registro para comentários do usuário, em cada operação efetuada. Neste estudo, foi estabelecido para cada operação, passos (ou etapas) de 2 nm numa faixa espectral compreendida entre 300 nm e 850 nm.

Estes dados foram obtidos através da conexão de um microcomputador ao referido aparelho, cuja leitura dos mesmos pode ser feita de imediato, no local das atividades de campo, ou em laboratório. Foi determinado o fluxo radiante incidente em uma dada superfície em todas as direções por unidade de área, por comprimento de onda, denominada de irradiância espectral com unidade medida de $W.m^{-2}.nm^{-1}$. O conjunto destas medidas, em várias profundidades do ambiente aquático estudado, constitui o espectrograma da radiação solar na água.

5.3.3.3 Determinação do espectro de absorção da água coletada

Com a utilização do espectrofotômetro MICRONAL-B280, obteve-se a absorbância da luz na água, água esta que foi coletada nas profundidades estabelecidas em cada ponto de estudo, pelo critério anteriormente citado. Os valores apresentados são relativos, uma vez que foram obtidos por comparação com a absorbância da luz na água destilada obtida em laboratório. Foi utilizada como fonte de luz uma lâmpada de halogênio na faixa espectral do visível, entre 330 nm e 800 nm. A luz ao atravessar uma camada de 1 cm de água coletada (contida numa cubeta a ser inserida no espectrofotômetro) é absorvida nos diferentes comprimentos de onda comparativamente à água destilada. Esta comparação foi feita passo a passo em intervalos variando entre 5 nm e 10 nm, para toda a faixa espectral do visível (350 nm-750 nm). A apresentação destes

dados foi feita por gráficos da absorvância da luz na água coletada em função do comprimento de onda, caracterizando o espectro de absorção da água para as profundidades estabelecidas em cada ambiente estudado; a partir do qual foi calculada a absorvância média da luz na água (na faixa do visível) em cada profundidade e o componente do coeficiente de atenuação total, devido a água e aos compostos dissolvidos (K_w), conforme teoria básica.

O espectro de absorção da água superficial representado na forma de gráficos, possibilitou se fazer a comparação do mesmo para a água coletada em rios, lagos e reservatórios com diferentes localizações geográficas e diferenciação quanto aos usos e ocupações das regiões em que tais ambientes aquáticos estão inseridos.

5.3.4 Variáveis bióticas: Pigmentos Totais para Clorofila

As amostras de água coletadas foram filtradas em laboratório utilizando-se filtros Whatmann GF/C e colocadas em envelopes de papel, sendo acondicionados em frascos âmbar contendo sílica-gel dentro de um freezer até o dia anterior à extração. Para as determinações de clorofila e feofitina ou pigmentos totais foi utilizada a técnica com acetona a 90% a frio, baseada em GOLTERMAN & CLYMO (1969), que consiste na maceração de cada amostra filtrada em um almofariz e pistilo de porcelana, colocando-se cuidadosamente pequenas quantidades de acetona, até a obtenção de uma massa cremosa, e em seguida acondicionada em tubos de ensaio, preenchendo-os com os resíduos da maceração devidamente retirados com acetona, resultando no extrato final. Este extrato foi reservado sob refrigeração por aproximadamente 12h, e posteriormente centrifugado por cerca de 10 minutos a 30 rpm. Foi lido o volume obtido, em mL, do sobrenadante, e em seguida feita a medida da absorvância a 665 nm e a 750 nm, com o espectrofotômetro MICRONAL-B280.

Depois desta leitura uma parte da amostra pode ser acidificada dando seqüência ao procedimento, que segundo GOLTERMAN (1969), tem-se:

Cálculo da extinção corrigida não acidificada:

$$E^U = \frac{E_{665} - E_{750}}{\text{Caminho óptico (cm)}}$$

Onde:

E^U → Extinção corrigida não acidificada para caminho óptico de 1 cm

E_{665} → Leitura da absorbância da amostra não acidificada a 665 nm

E_{750} → Leitura da absorbância da amostra não acidificada a 750 nm

Cálculo da extinção corrigida acidificada:

$$E^A = \frac{E_{665}^a - E_{750}^a}{\text{Caminho óptico (cm)}}$$

Onde:

E^A → Extinção corrigida acidificada para caminho óptico de 1 cm

E_{665}^a → Leitura da absorbância da amostra acidificada a 665 nm

E_{750}^a → Leitura da absorbância da amostra acidificada a 750 nm

Cálculo da extinção devido a Clorofila a :

$$E_{Cl} = 2,43 \times (E^U - E^A)$$

Cálculo da extinção devido a Feofitina:

$$E_{Feof.} = E^U - E_{Cl}$$

Cálculo da concentração de Pigmentos Totais:

$$P_t = E^U \times \frac{1000}{K} \times \frac{\text{Volume Extrato (mL)}}{\text{Volume Filtrado (L)}}$$

K → Coeficiente de extinção, com valores 89 e 56 para Clorofila a e Feofitina respectivamente.

Com as amostras coletadas foi determinada a concentração de pigmentos totais, não sendo necessário acidificar o extrato.

Uma visualização esquemática da descrição dos principais métodos e técnicas que foram utilizados neste trabalho, é ilustrada na figura 47, constituindo de:

- (a) Mapeamento por imagens de satélite;
- (b) Garrafa de “Van Dorn”, para coletar água a ser utilizada nas análises laboratoriais;
- (c) Disco de Secchi, para determinação da profundidade Secchi;
- (d) Fotômetro subaquático: Equipamento em fase de testes. Determinação da radiação solar subaquática total e seletiva (unidade expressa em V e em mV);
- (e) Espectro-radiômetro: obtenção do espectro de radiação subaquática
- (f) Quanta-meter LI-COR: determinação da radiação solar subaquática, na faixa fotossinteticamente ativa, R.F.A., (unidade expressa em $\mu\text{Einstein.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$);
- (g) Horiba U-10: determinação das medidas de pH, temperatura, oxigênio dissolvido condutividade e turbidez da água dos ambientes de estudo.

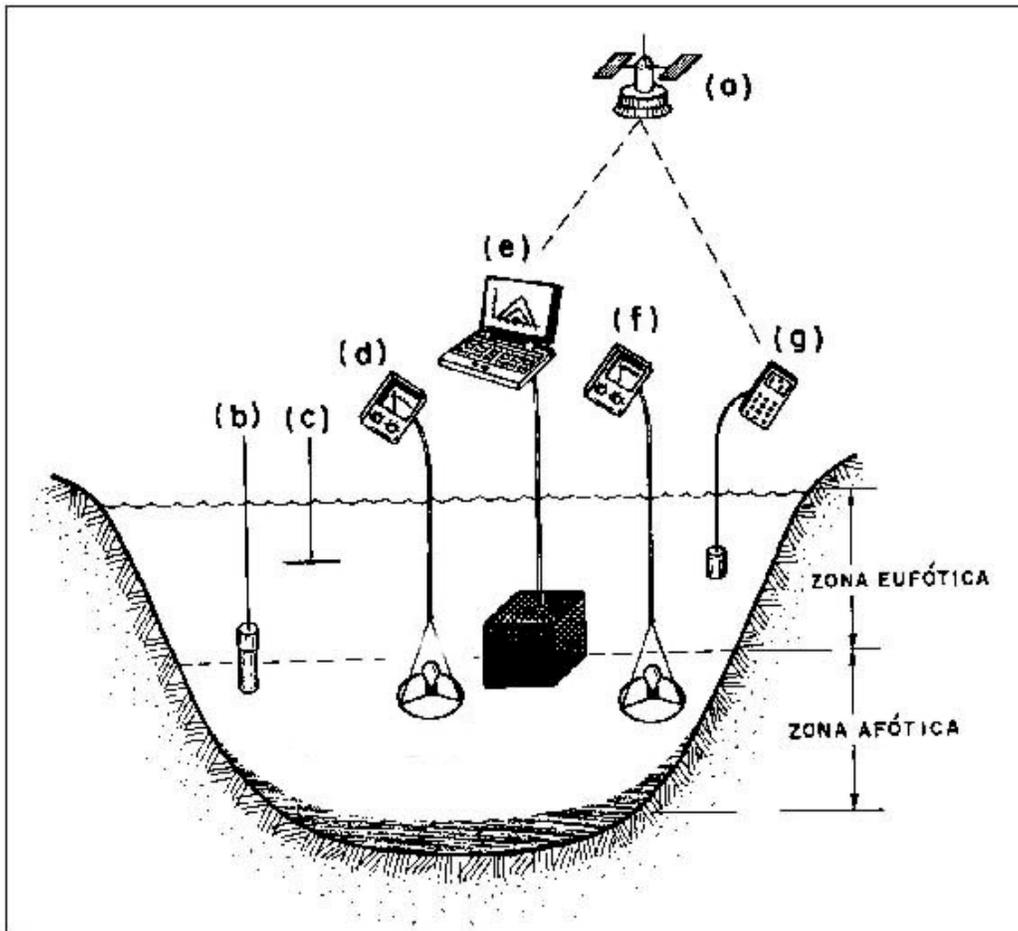


FIGURA 47. Visualização esquemática dos principais métodos e técnicas que foram utilizados nas atividades de campo para o estudo da radiação solar subaquática nos diversos ambientes aquáticos estudados.

6. RESULTADOS

6.1 Considerações Gerais

Os resultados obtidos estão apresentados na forma de tabelas, figuras e de gráficos. Primeiramente são apresentados os dados hidrometeorológicos referentes aos ambientes aquáticos em que foram estudados a penetração e a “varredura” da radiação solar. A apresentação dos resultados para os ambientes aquáticos estudados segue a mesma subdivisão elaborada para as atividades desenvolvidas em campo, de acordo com o estudo da radiação solar subaquática estabelecido:

- i) Estudo quantitativo e qualitativo da penetração da radiação solar na coluna d’água;
- ii) Estudo da “varredura da radiação solar subaquática”;
- iii) Estudo do espectro de absorção da luz em águas superficiais.

As profundidades estabelecidas para a coleta de água nos ambientes aquáticos inseridos nos dois primeiros itens foram baseadas nas leituras de radiação solar subaquática correspondentes a 100%, 50%, 25%, 10% e 1% daquela lida na superfície da água e na região de termoclina, quando existente. Entende-se por leitura da radiação solar, aquela efetuada com o "quanta-meter" LI-COR (LI-185A) que mede a radiação fotossinteticamente ativa, sendo portanto, utilizada a denominação "radiação solar" para os valores assim determinados. Com estas amostras de água foram calculadas as concentrações de

material em suspensão, frações orgânicas e inorgânicas, e de clorofila total (pigmentos totais) na coluna d'água. Para o último item, a amostra de água foi coletada somente na superfície do corpo d'água.

6.2 Condições Hidrometeorológicas nos Períodos de Estudo

As condições hidrometeorológicas das estações de estudo, ou mesmo das regiões em que os ambientes aquáticos que foram estudados estão inseridos, são de extrema importância para a análise das influências e interferências na penetração da radiação solar nos mesmos.

Dada a diversidade de tais ecossistemas, os fatores climatológicos, hidrológicos e hidrodinâmicos têm participação determinante nas características de turbulência, turbidez, diferenças químicas e de circulação, devido a ação de ventos e ocorrência de chuvas que ocasionam o carreamento de material particulado para o interior da massa de água. Este conjunto de fatores, portanto, apresentam grande interferência no clima de radiação solar subaquático gerado em cada um dos ecossistemas.

Os dados hidrometeorológicos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais, foram cedidos pelo Departamento de Proteção Florestal da Companhia Agrícola Florestal - CAF Santa Bárbara Ltda. (Estação Ponte Alta) e da represa do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, pela estação meteorológica localizada no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Estes dados são apresentados nas tabelas 12 a 15 compreendendo o período de cerca de dez dias antes da data de atividade em campo, obtendo-se assim uma visão da situação climática e hidrológica dos ambientes aquáticos em questão.

Para as represas do Médio e Baixo Tietê, não sendo possível a aquisição de tais dados nas proximidades dos reservatórios em questão, são apresentados os dados que foram obtidos para o Estado de São Paulo por meio de séries históricas entre os anos de 1995 e 2001 (figuras 49 a 53), compreendendo

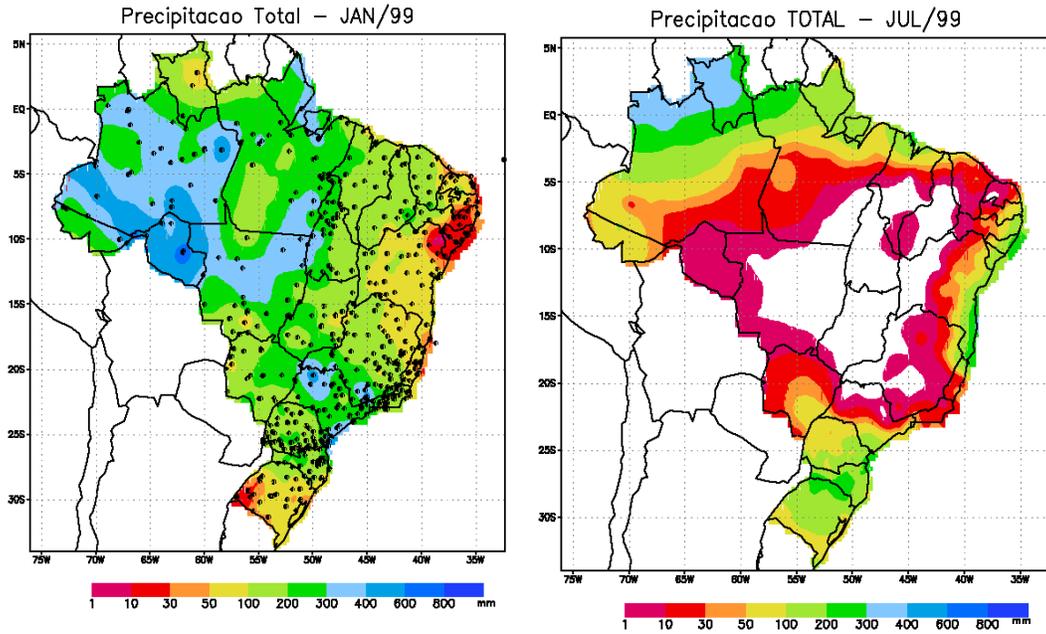
dentro deste, o período estudado. Para o reservatório de Barra Bonita é apresentada uma sucinta série histórica para as variações na velocidade do vento e na precipitação entre os anos de 1992 e 1996, conforme as figuras 54 e 55. O conjunto destes dados possibilitaram uma inferência sobre a tendência das condições climatológicas, principalmente, quanto aos períodos previstos de alta precipitação e de seca durante os estudos realizados.

Em complementação a estes dados, estão ilustradas na figura 48 informações acerca da ocorrência de chuvas em todas as regiões do Brasil, em períodos caracterizados como sendo chuvoso e seco (janeiro e julho, respectivamente), uma vez que foram estudadas águas superficiais em outros estados brasileiros, além dos Estados de São Paulo e de Minas Gerais.

No mês de janeiro de 1999 a ocorrência de chuvas foi maior comparativamente ao mês de julho do mesmo ano, diferenciando o período chuvoso do seco, onde este último foi acentuado no Rio Grande do Norte e na maior parte do Estado de São Paulo em que estão localizados os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, bem como na região do sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais (figura 48), mantendo a escassez de chuva pelo mês seguinte (agosto), conforme tabela 12 para este estado. Esta situação de escassez para o Estado de São Paulo foi semelhante no período seco em julho e agosto de 1999 e 2000, conforme figura 50.

No mês de janeiro de 2000 foi obtida informação para a precipitação apenas no primeiro dia deste mês, como ilustra figura 48, indicando escassez de chuvas por todo o território brasileiro neste dia. Em julho deste ano, o período seco foi acentuado, principalmente na região que cobre grande parte central do país, onde se encontram os estados Tocantins, Minas Gerais e São Paulo. Nos meses de maio e junho praticamente não ocorreram chuvas no Estado de São Paulo, neste mesmo ano (figura 50).

A ocorrência de chuvas na região do sistema de lagos do Vale do rio Doce (MG) nos meses de janeiro e fevereiro (verão), conforme tabela 13, ocasiona carreamento de material particulado para os lagos, interferindo na



* Estações Utilizadas

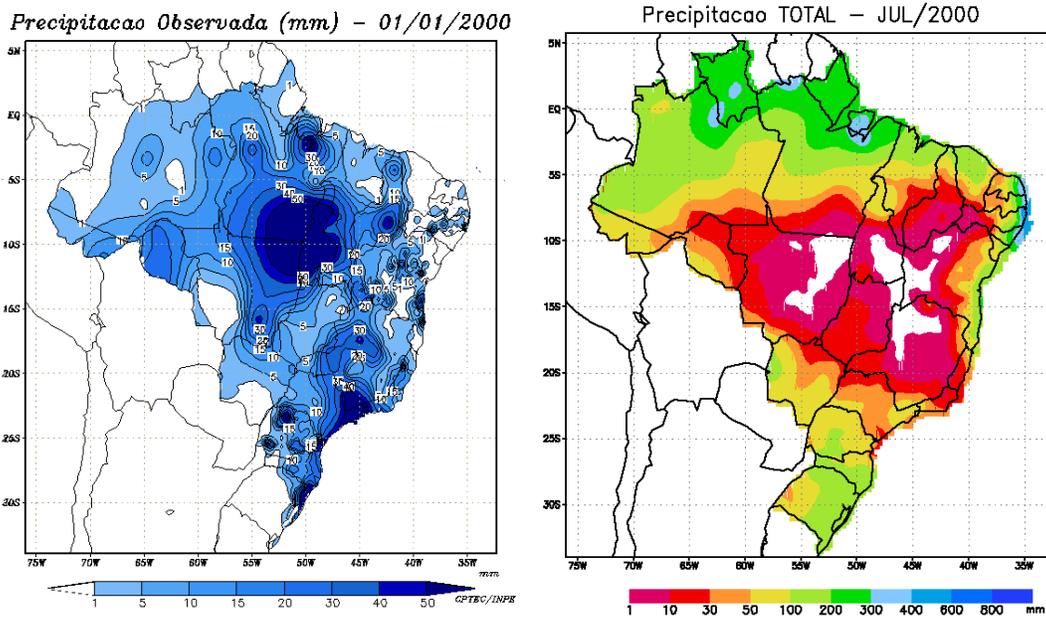


FIGURA 48. Altura pluviométrica (mm) medida nos meses de janeiro e de julho nos anos de 1999 e 2000, em todo o Brasil.

Fonte: Fonte: INMET (Cedido por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.)

penetração da radiação solar subaquática. Já no inverno foi observado isoterma na coluna d'água na maioria dos lagos estudados, possivelmente por ação de ventos que provocam circulação da massa de água.

TABELA 12. Valores médios diários das variáveis climatológicas do sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais, no mês de agosto/99 - Inverno: Período seco.

Data	Temperatura do ar (°C)				Umidade Relativa (%)				Altura Pluviométrica (mm)	Evaporação (mm)
	09:00h	15:00h	21:00h	Média	09:00h	15:00h	21:00h	Dia		
01/08	19,0	26,4	21,6	21,1	84	71	79	78,3	0,0	4,0
02/08	18,6	27,6	24,0	22,1	85	66	60	67,8	0,0	8,0
03/08	19,2	27,4	19,4	20,6	71	62	70	68,3	0,0	13,0
04/08	18,6	25,2	21,2	20,8	75	70	80	76,3	0,0	16,0
05/08	19,2	26,8	22,6	21,6	82	61	73	72,2	0,0	2,1
06/08	19,0	26,4	23,2	21,7	75	67	74	72,5	0,0	5,3
07/08	23,4	27,6	23,4	23,0	56	61	82	72,5	0,0	7,9
08/08	22,0	27,2	22,4	22,0	72	62	68	67,3	0,0	11,3
09/08	20,2	26,8	20,4	*	86	68	90	83,3	0,0	15,7
10/08	21,4	26,2	21,6	*	72	70	84	77,3	0,0	2,0
11/08	22,0	29,4	22,4	*	84	61	73	72,8	0,0	6,2
12/08	22,6	29,6	22,8	*	75	61	73	70,5	0,0	9,4
13/08	20,6	29,8	18,4	*	73	56	94	79,3	0,0	11,0

(*) Dado não obtido

Fonte: CAF - Companhia Agrícola Florestal Santa Bárbara Ltda.
Departamento de Proteção Florestal (Estação Ponte Alta)

TABELA 13. Valores médios diários das variáveis climatológicas do sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais, nos meses de janeiro e fevereiro/2000 - Verão: Período chuvoso.

Data	Temperatura do ar (°C)				Umidade Relativa (%)				Altura Pluviométrica (mm)	Evaporação (mm)
	09:00h	15:00h	21:00h	Média	09:00h	15:00h	21:00h	Dia		
25/01	26,2	32,0	22,6	24,7	89	88	95	91,8	0,0	1,4
26/01	25,2	31,6	22,6	24,2	90	71	93	88,8	1,0	0,3
27/01	24,0	28,8	21,8	23,2	98	78	95	91,5	4,0	0,4
28/01	24,2	28,0	21,0	22,9	67	65	98	81,0	30,4	2,2
29/01	24,0	25,6	21,4	22,8	72	76	96	85,5	20,6	1,3
30/01	24,6	30,4	24,6	25,3	89	91	85	87,5	2,0	2,3
31/01	26,2	30,8	23,2	25,2	89	84	93	89,5	1,2	1,3
01/02	25,8	31,2	23,4	25,1	78	87	94	83,3	8,8	0,7
02/02	24,4	31,6	24,6	25,4	95	67	92	86,5	3,2	2,3
03/02	27,4	29,6	23,4	24,9	79	84	90	85,8	0,0	1,8
04/02	28,0	31,8	25,0	28,6	90	78	89	86,5	0,0	4,4
05/02	27,6	31,6	24,4	26,3	75	67	90	80,5	0,0	2,7
06/02	27,6	29,2	24,0	25,8	76	84	89	84,5	4,6	1,8
07/02	25,4	28,0	23,0	24,4	88	79	93	88,3	30,0	2,9
08/02	24,2	29,0	23,2	24,3	88	72	98	89,0	31,0	1,0
09/02	25,8	26,8	24,2	24,8	88	83	95	90,3	26,4	0,2

Fonte: CAF - Companhia Agrícola Florestal Santa Bárbara Ltda.
Departamento de Proteção Florestal (Estação Ponte Alta)

As figuras 49 a 53 mostram dados da série histórica no Estado de São Paulo dos respectivos parâmetros hidrometeorológicos: temperatura, precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e insolação na superfície terrestre entre os anos de 1995 a 2001, o que demonstrou neste período que houve a caracterização do período chuvoso e quente no verão, entre dezembro e fevereiro aproximadamente e, o inverno, frio e seco, por volta de maio a agosto. Fato este igualmente verificado na figura 54, para o reservatório de Barra Bonita, pertencente também ao Estado de São Paulo.

ESTADO DE SÃO PAULO

Temperatura Média

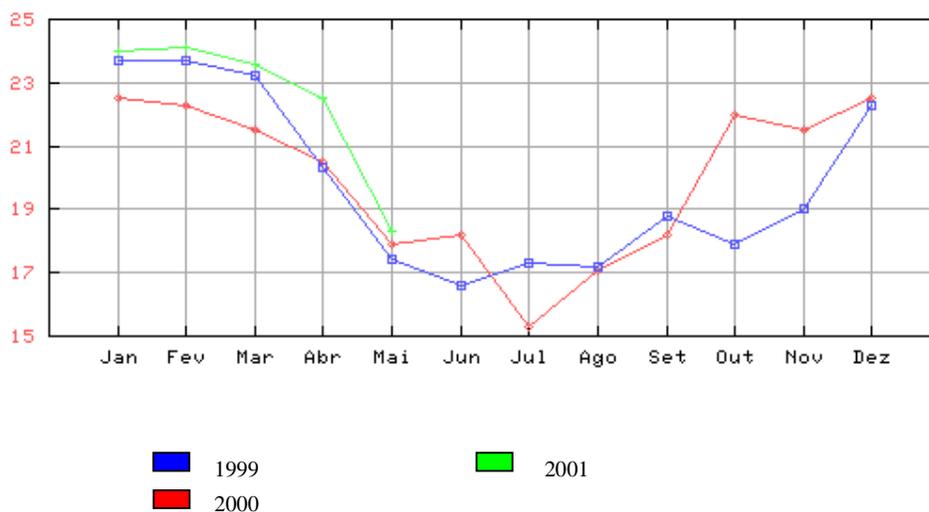
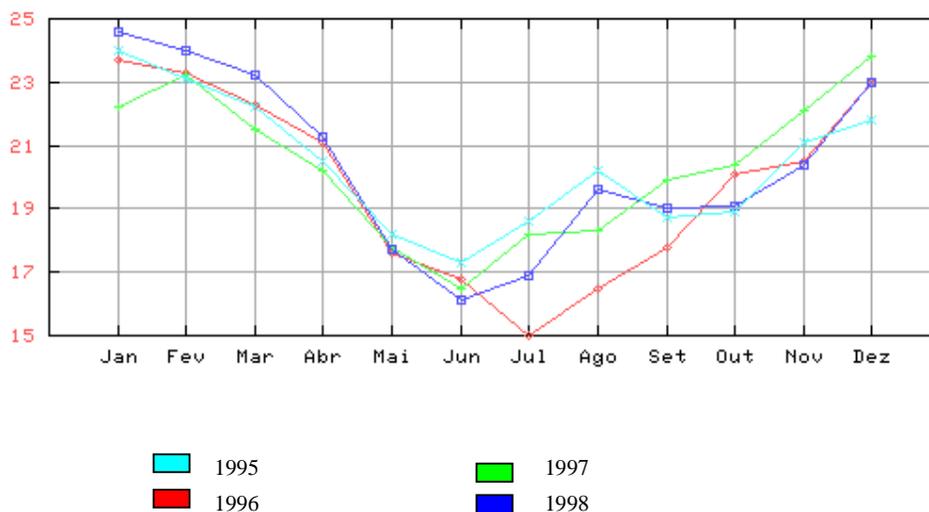


FIGURA 49. Temperatura média (° C) atingida a cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.

Fonte: INMET (Cedido por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.)

ESTADO DE SÃO PAULO

Precipitação

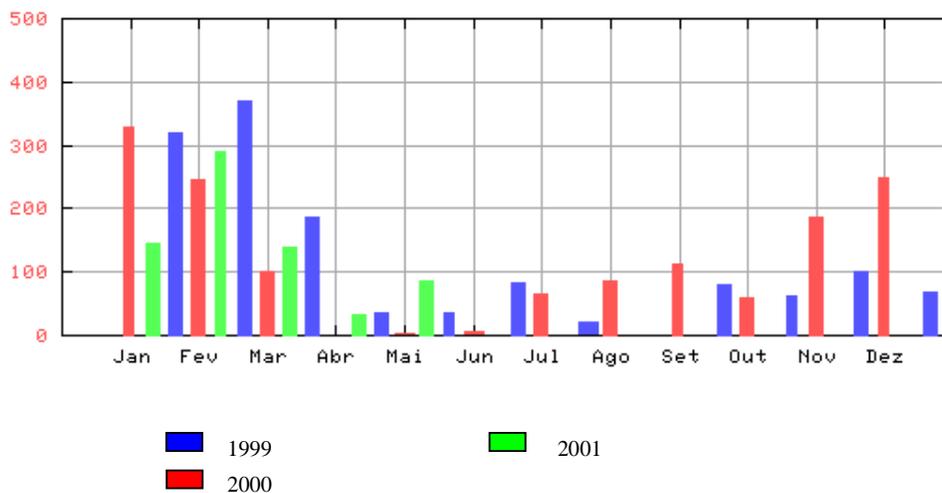
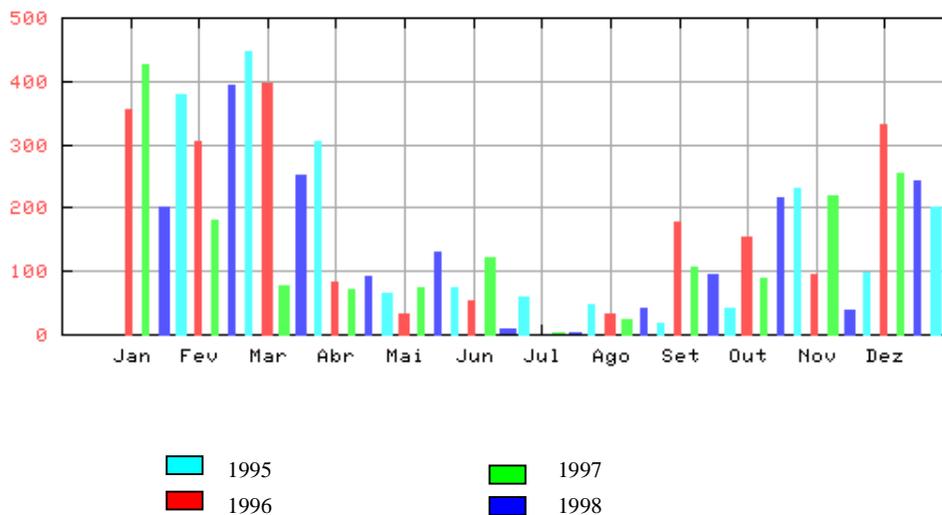


FIGURA 50. Altura pluviométrica média (mm) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.

Fonte: INMET (Cedido por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.)

ESTADO DE SÃO PAULO

Pressão Atmosférica

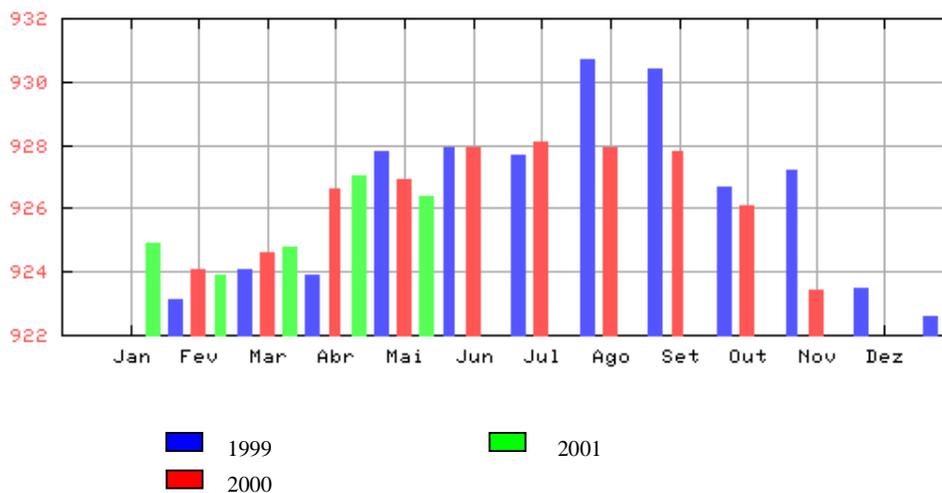
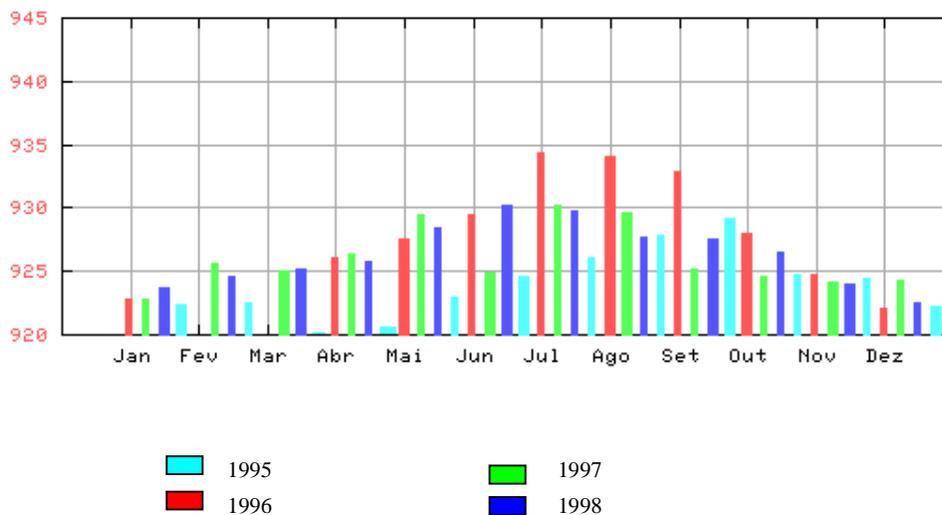


FIGURA 51. Pressão Atmosférica média (mbar) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.

Fonte: INMET (Cedido por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.)

ESTADO DE SÃO PAULO

Umidade Relativa do Ar

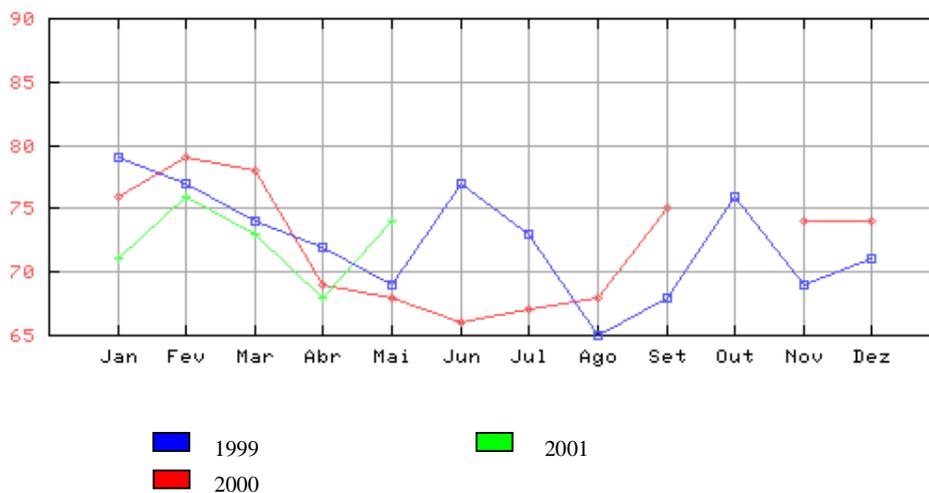
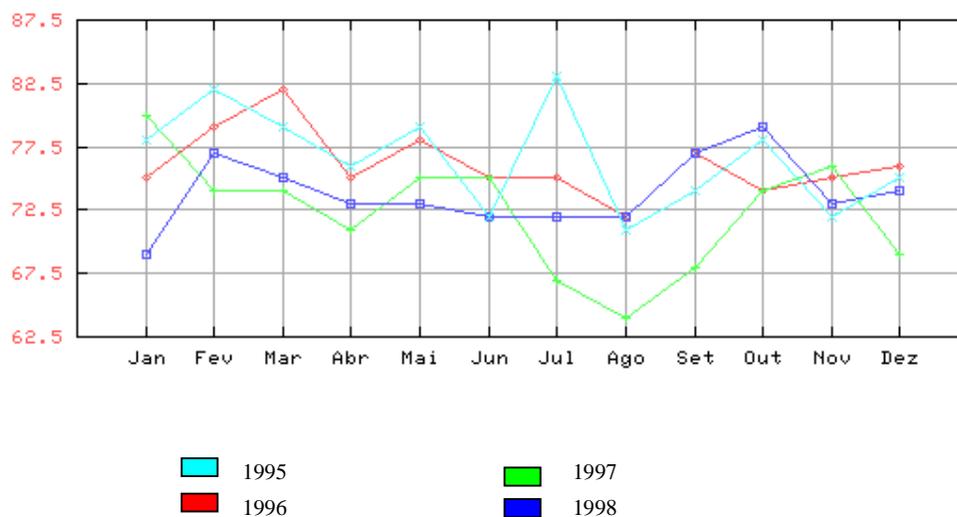


FIGURA 52. Umidade Relativa do Ar média (%) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1995 e 2001.

Fonte: INMET (Cedido por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.)

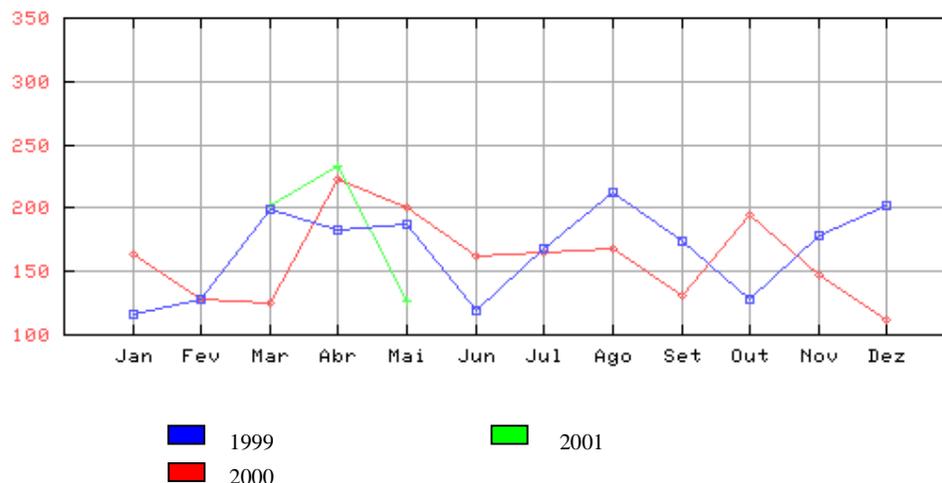
ESTADO DE SÃO PAULO**Insolação**

FIGURA 53. Insolação média (h) de cada mês no Estado de São Paulo entre 1999 e 2001.
Fonte: INMET (Cedido por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.)

Foi observado a escassez de chuvas entre os meses de abril a julho dos anos de 1999 a 2001, superando os anos anteriores, e um janeiro de 2001 atípico, chovendo bem menos que o esperado (figura 50).

No Estado de São Paulo, em que se localizam por quase toda a sua extensão os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, a época do verão é caracterizada por chuvas, com céu encoberto, apresentando diminuição nas horas de insolação, em relação ao inverno, em que os dias são mais claros, como ilustra a figura 53, em que o mês de fevereiro apresentou horas de insolação bem menor que em julho e agosto dos anos de 1999 e de 2000.

No inverno os ventos são suficientes fortes para provocar circulação na coluna d'água, provocando ressuspensão de material do sedimento, aumentando a turbidez da água, tornando sua ocorrência fator relevante na atenuação da radiação solar ao atravessar o meio aquático, como pode se observar na figura 55 para o reservatório de Barra Bonita.

RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

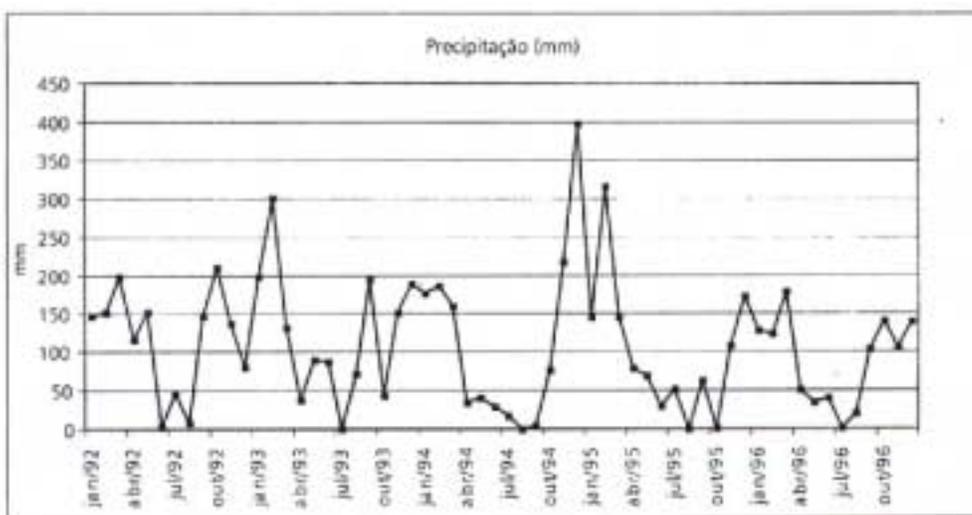


FIGURA 54. Variação da precipitação (mm) no reservatório de Barra Bonita, Estado de São Paulo, de janeiro de 1992 a outubro de 1996.
Fonte: Projeto Temático Fapesp, 1992 (0612/91-5)

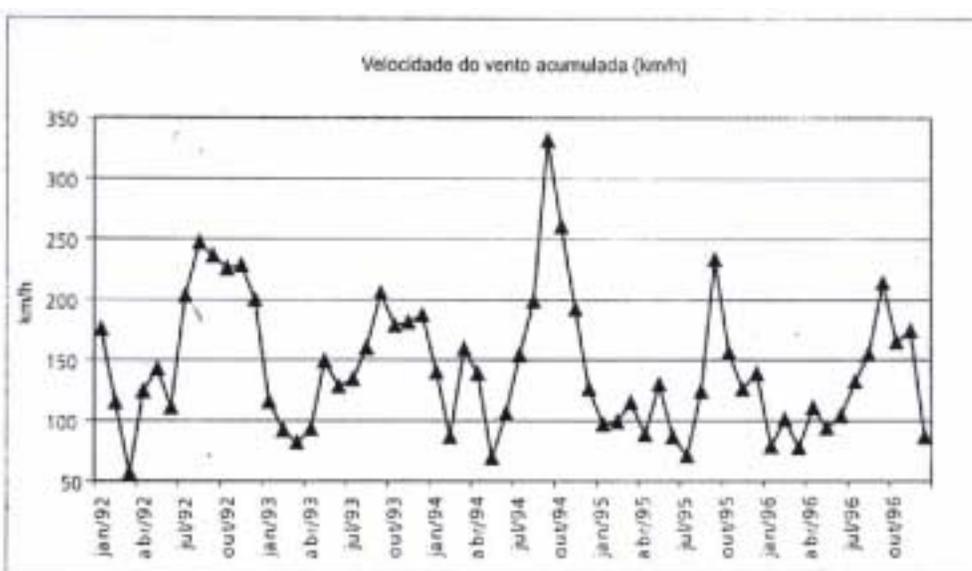


FIGURA 55. Variação na velocidade do vento no reservatório de Barra Bonita, Estado de São Paulo, de janeiro de 1992 a outubro de 1996.
Fonte: Projeto Temático Fapesp, 1992 (0612/91-5)

TABELA 14. Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, no mês de dezembro/99 - Verão: Período chuvoso

Data	Temperatura Média do ar (°C)	Temperatura Média da água (°C)		Velocidade Média do vento (m/s)		Altura Pluvio-métrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Umidade Relativa (%)
		Máximo	Mínimo	2,0m	10,0m			
01/12	22,4	32,5	17,5	1,83	3,16	0,0	937,9	47,0
02/12	23,8	33,0	18,0	1,49	2,53	0,0	936,1	46,0
03/12	23,4	27,6	19,1	0,14	3,19	0,0	935,8	70,0
04/12	20,7	26,2	12,5	1,79	2,87	25,2	932,5	82,5
05/12	24,3	35,5	18,0	2,19	2,06	13,1	933,1	63,0
06/12	22,3	28,8	19,2	1,43	2,56	0,0	934,2	85,5
07/12	22,5	30,3	20,0	1,56	2,69	16,2	935,1	74,7
08/12	23,8	32,5	21,0	1,57	2,53	9,5	936,7	72,0
09/12	23,6	34,5	19,5	2,51	3,88	4,3	938,3	56,0
10/12	22,0	31,0	19,0	1,90	3,21	0,0	937,2	85,7

Fonte: Estação Meteorológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Este fato não apresenta a mesma dimensão para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, uma vez que a região é formada por morros e vales amenizando a ação dos ventos, o que não ocorre na região dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, que se apresenta bem mais aberta e suscetível à ação dos mesmos.

As tabelas 14 e 15 indicam os valores dos parâmetros hidrometeorológicos: temperatura do ar, temperatura da água, velocidade do vento, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa do ar para o reservatório do Lobo-Broa nos períodos estudados, cujos dados fornecem os valores médios diários para o verão e o inverno respectivamente. A velocidade do vento é dada em m/s, a 2,0 m e 10,0 m de altura em relação à superfície da represa.

O maior valor para a velocidade do vento neste reservatório foi de 4,23 m/s a 2,0 m da superfície aquática no dia 04 de agosto de 2000 (tabela 15), embora se observou também no verão, ventos relativamente fortes, que provocam circulação e turbulência na massa de água. Chuvas freqüentes no verão (tabela 14), apresentando dias de nebulosidade, afetam tanto a intensidade de luz que chega no sistema aquático como a penetração de luz no mesmo devido a entrada de material particulado no reservatório.

TABELA 15. Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, no mês de agosto/2000 - Inverno: Período seco

Data	Temperatura Média do ar (°C)	Temperatura Média da água (°C)		Velocidade Média do vento (m/s)		Altura Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Umidade Relativa (%)
		Máximo	Mínimo	2,0m	10,0m			
01/08	19,2	25,2	12,5	1,10	1,99	0,0	939,8	61,7
02/08	19,2	25,8	13,0	1,07	1,85	0,0	940,6	77,2
03/08	19,8	22,8	14,0	1,76	2,86	0,0	937,9	81,5
04/08	13,2	22,5	6,6	4,23	5,79	0,3	940,2	87,0
05/08	18,3	23,0	9,7	1,73	2,74	0,0	940,8	73,7
06/08	21,2	27,5	15,2	1,32	2,26	0,0	938,7	75,5
07/08	19,9	27,8	13,0	0,85	1,53	0,1	939,6	79,2

Fonte: Estação Meteorológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

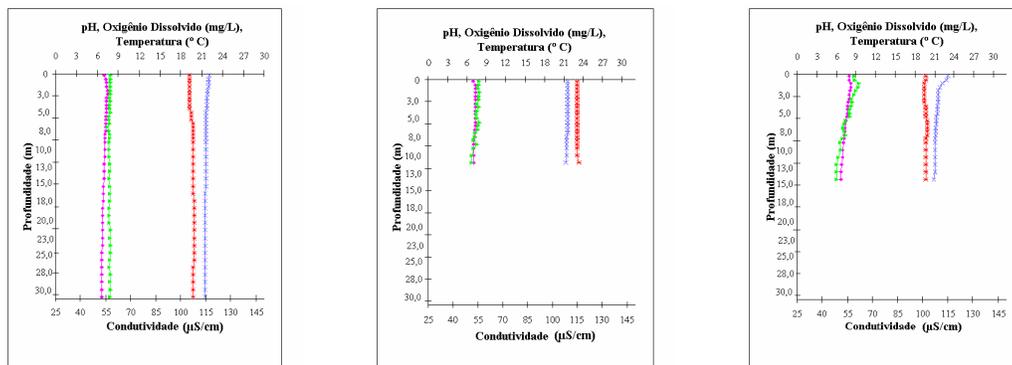
6.3 Estudo qualitativo e quantitativo da penetração da radiação solar nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) e lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce (MG)

Este estudo foi desenvolvido nos seis reservatórios do Médio e Baixo Tietê (Estado de São Paulo) dispostos no sistema de cascata: *reservatórios de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos*; e também, em oito lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce (Estado de Minas Gerais): *lagos D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal, Águas Claras, Amarela, Ferrugem e Verde*.

6.3.1 Variáveis abióticas: físicas e químicas

É apresentado o perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os ambientes aquáticos estudados em duas épocas do ano, o período seco entre julho e agosto e o mês de novembro e o período de alta precipitação de dezembro a fevereiro.

Reservatórios do Médio e Baixo Tietê – Primeira Coleta (Período Seco)



P1 – Barragem
06/07/1999

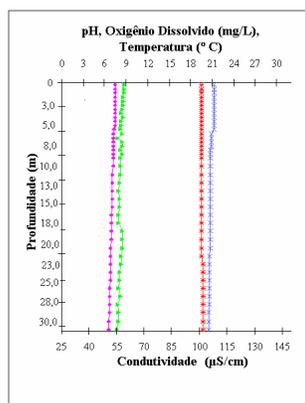
P2 – Ponte Araçatubinha
07/07/1999

P3 – Ponte Lambari
07/07/1999

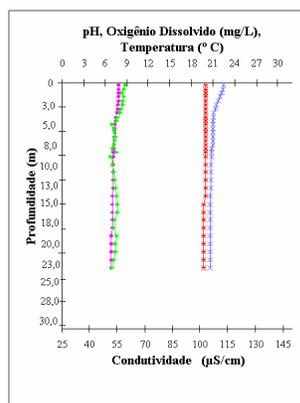
Reservatório de Três Irmãos

Legenda: ◆ pH × Temperatura (°C)
 ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L) * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 56. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Três Irmãos nos três pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.

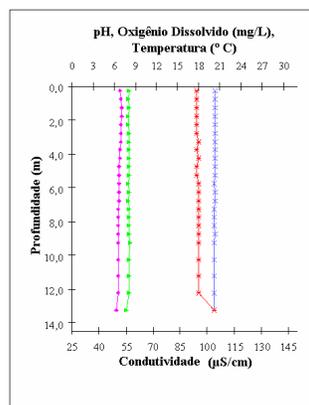


P1 - Barragem
08/07/1999

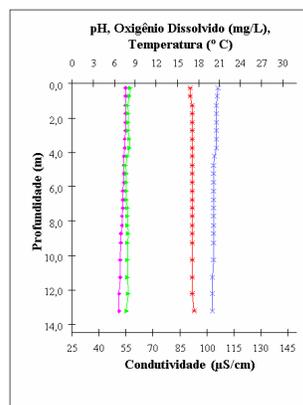


P2 - rio Santa Bárbara
08/07/1999

Reservatório de Nova Avanhandava



P1 - Barragem
11/07/1999

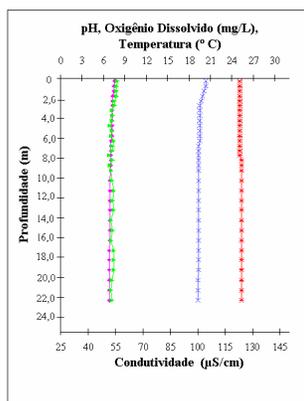


P2 - Sabino
11/07/1999

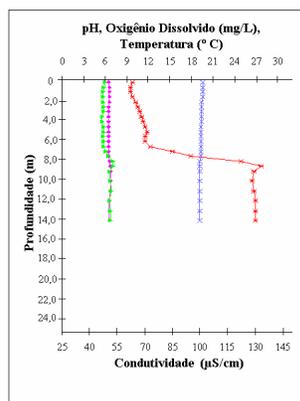
Reservatório de Promissão

- Legenda:
- (ambos os reservatórios)
 - ◆ pH
 - ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
 - × Temperatura (°C)
 - * Condutividade (μS/cm)

FIGURA 57. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Nova Avanhandava e de Promissão nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.

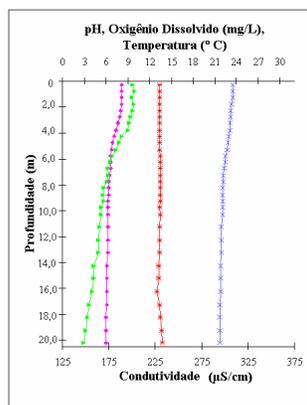


P1 - Barragem
12/07/1999

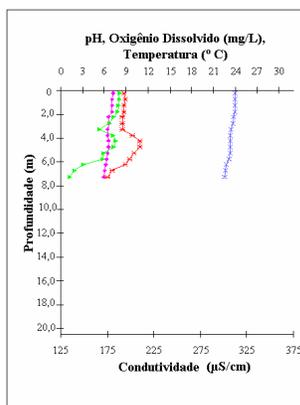


P2 – rio Jacaré-Guaçu
12/07/1999

Reservatório de Ibitinga



P1 - Barragem
04/11/1999



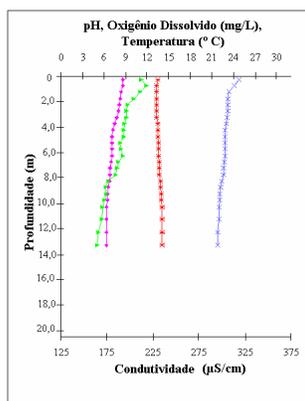
P2 – rio Jaú
04/11/1999

Reservatório de Bariri

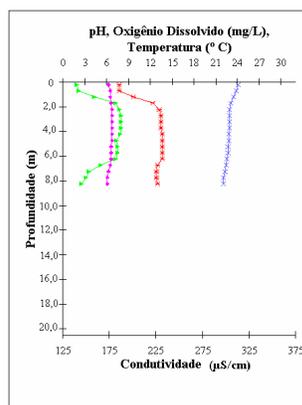
Legenda:
(ambos os reservatórios)

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 58. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho e novembro de 1999, período seco.

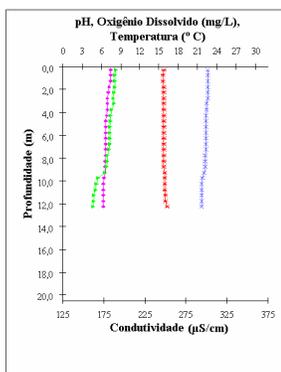


P3 - Itapuí
04/11/1999

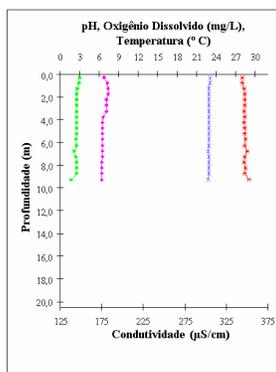


P4 - rio Bauru
04/11/1999

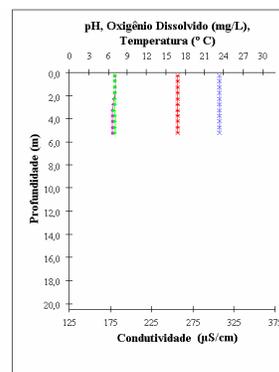
Reservatório de Bariri



P1 - Barragem
05/11/1999



P2 - rio Tietê
05/11/1999



P3 - rio Piracicaba
05/11/1999

Reservatório de Barra Bonita

Legenda:
(ambos os reservatórios)

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- * Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)

FIGURA 59. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em novembro de 1999, período seco.

A primeira etapa das coletas para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, foi efetuada, em sua maioria, no período seco caracterizado pela ação de ventos, o que possibilita maior circulação e turbulência da massa de água no corpo d'água, cujo perfil das variáveis abióticas apresentou-se praticamente homogêneo por toda a coluna d'água nos reservatórios em questão.

Foi uma época em que se viviam momentos de escassez de chuvas onde alguns reservatórios operavam abaixo de sua capacidade, como por exemplo o reservatório de Promissão e de Barra Bonita apresentavam níveis de água bem abaixo do previsto, conforme as respectivas figuras 57 e 59.

Nesta etapa de coleta foram observadas algumas pequenas estratificações ou micro-estratificações de temperatura no reservatório de Três Irmãos no Ponto P3 (figura 56), no ponto P2 de Nova Avanhanada (figura 57) e de Ibitinga, Ponto P1 (figura 58), todos nos três primeiros metros de profundidade e nos pontos P3 e P4 do reservatório de Bariri (figura 59) já no primeiro metro da coluna d'água.

A condutividade e o oxigênio dissolvido da água apresentaram variações mais pronunciadas neste período (seco) para o reservatório de Ibitinga, ponto P2 (figura 58), cuja condutividade da água a 3,5 m era de 68 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aumentando gradativamente para 133 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 8,5 m; e para o reservatório de Bariri nos pontos P2 e P4, as variações de condutividade e de oxigênio dissolvido ocorreram de maneira muito semelhante na coluna d'água, como pode ser observado nas figuras 58 e 59 respectivamente. Para o ponto P2 deste reservatório, ocorreu redução do valor de oxigênio dissolvido na água a 3,0 m, voltando a aumentar de valor até aproximadamente 6,0 m de profundidade, a partir da qual ocorreu considerável redução atingindo 1,31 mg/L a 7,0 m. Na superfície do ponto P4, o valor do oxigênio dissolvido apresentou-se baixíssimo, 1,96 mg/L, ocorrendo aumento de seu valor a partir de 1,5 m até 5,5 m da coluna d'água, voltando a reduzir atingindo 2,49 mg/L a 8,0 m.

A segunda coleta, para estes reservatórios, foi efetuada no mês de fevereiro que apresentou ocorrência de chuvas e ventos, cujo perfil das variáveis abióticas se mostrou praticamente inalterado por toda a coluna d'água nos pontos de estudo da

maioria dos reservatórios. Estratificação térmica ocorreu no ponto P1 da represa de Três Irmãos (figura 60) entre 0,0 m e 3,5 m de profundidade e na represa de Bariri, nos pontos P2 até 2,5 m de profundidade e P4 até 1,5 m com pequeno aumento no valor da condutividade e de oxigênio dissolvido na água como mostra a figura 62.

No ponto P2 da represa de Bariri, os maiores valores para condutividade (116 $\mu\text{S/cm}$) foram obtidos na região da termoclina juntamente com ligeiro aumento do valor para oxigênio dissolvido. Já para o ponto P4 deste reservatório ocorreu a 6,0 m diminuição no valor da condutividade de 106 $\mu\text{S/cm}$ para 95 $\mu\text{S/cm}$ continuando a diminuir até o sedimento deste ponto de estudo.

No ponto P3 da represa de Barra Bonita foi observado que a partir dos 8,0 m de profundidade ocorreu diminuição no valor da condutividade da água, que até então era cerca de 65 $\mu\text{S/cm}$ para 33 $\mu\text{S/cm}$ mantendo-se assim pelo restante da coluna d'água, como se verifica na figura 63.

◉ *Reservatórios do Médio e Baixo Tietê – Segunda Coleta (Período Chuvoso)*

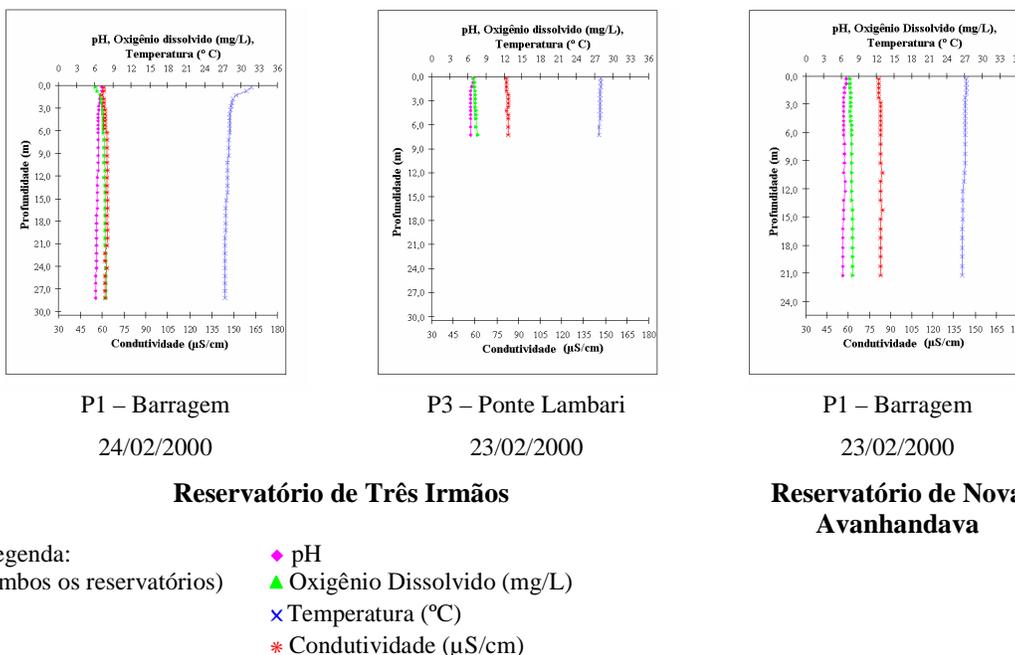
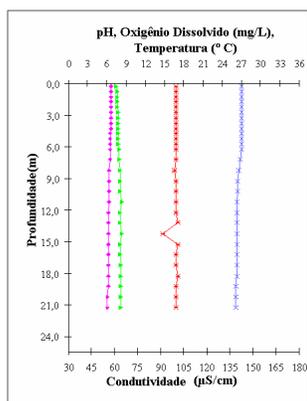
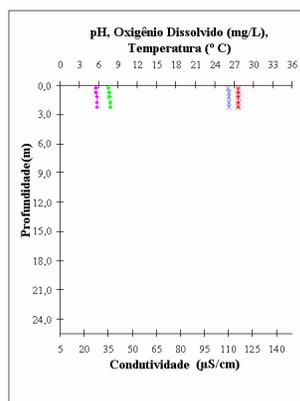


FIGURA 60. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Três Irmãos e Nova Avanhandava nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

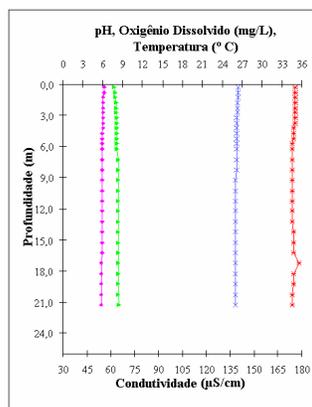


P1 - Barragem
22/02/2000

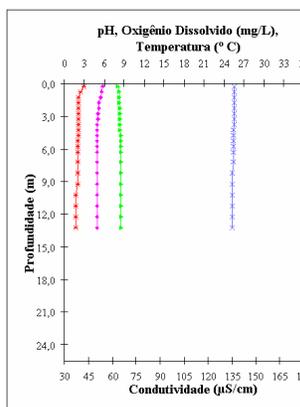


P3
21/02/2000

Reservatório de Promissão



P1 - Barragem
20/02/2000

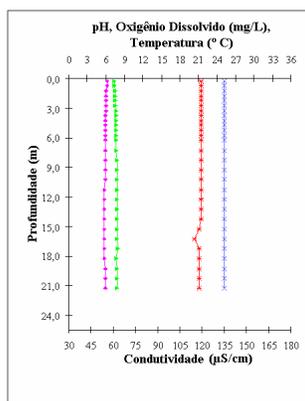


P2 - rio Jacaré-Guaçu
20/02/2000

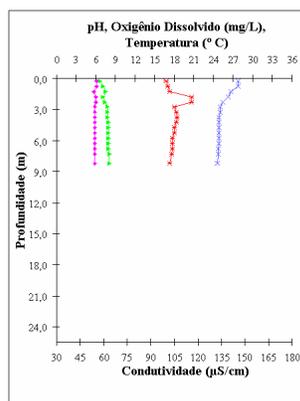
Reservatório de Ibitinga

- Legenda:
- (ambos os reservatórios) ◆ pH
 - ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
 - × Temperatura (°C)
 - * Condutividade (μS/cm)

FIGURA 61. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os reservatórios de Promissão e Ibitinga nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

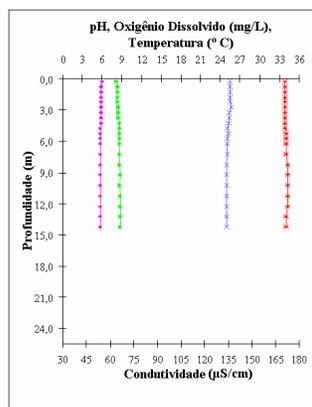


P1 - Barragem
19/02/2000

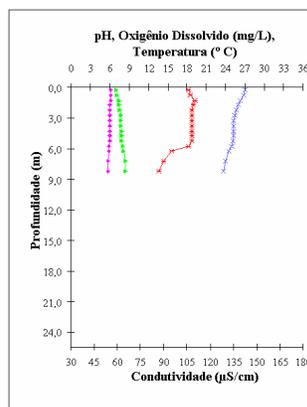


P2 - rio Jau
19/02/2000

Reservatório de Bariri



P3 - Itapui
19/02/2000



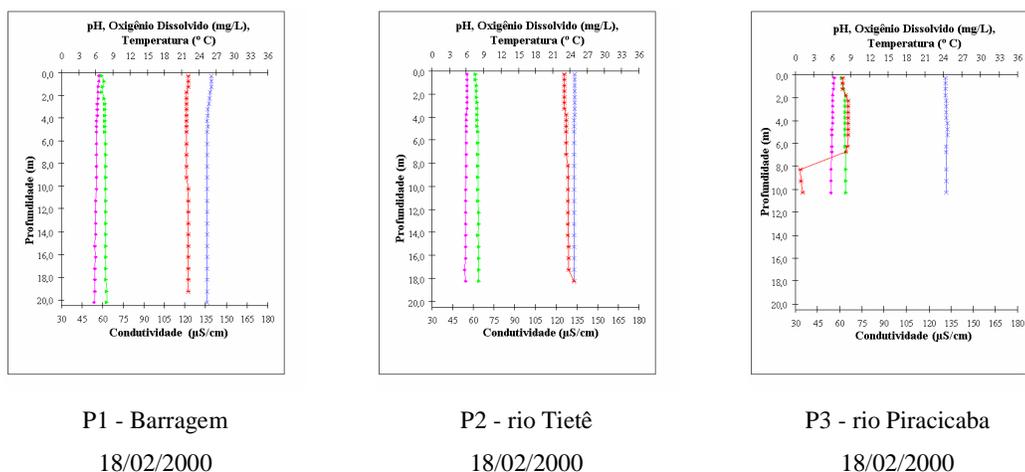
P4 - rio Bauru
19/02/2000

Reservatório de Bariri

Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 62. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Bariri nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.



Reservatório de Barra Bonita

- Legenda:
- ◆ pH
 - ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
 - × Temperatura (°C)
 - * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 63. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

A segunda coleta de dados foi efetuada no período de alta precipitação, em fevereiro, o que contribuiu para regularização do nível de água dos reservatórios, observando-se nos pontos de coleta próximos às barragens que houve uma normalização deste nível em torno de 21,0 m de profundidade. Nos três pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita, a medida da profundidade praticamente duplicou em relação ao período seco (novembro/1999), evidenciando o período crítico de baixo nível de água que ocorreu no ano anterior.

🕒 *Lagos do Vale do rio Doce – Primeira Coleta (Período Seco)*

A profundidade da água para estes ambientes aquáticos não se alterou de maneira acentuada comparando-se as duas épocas do ano em que foram realizadas as coletas, como foi observado nos reservatórios estudados dada a influência das condições de operação das usinas hidroelétricas. Nos meses de janeiro e fevereiro ocorreram chuvas, cuja interferência na profundidade dos

lagos na região do Vale do rio Doce não foram muito expressivas, mantendo-se praticamente inalteradas as respectivas profundidades.

A primeira coleta foi realizada em agosto de 1999, período excessivamente seco, cujo perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas) se manteve praticamente inalterado por toda a coluna d'água na maioria dos lagos estudados.

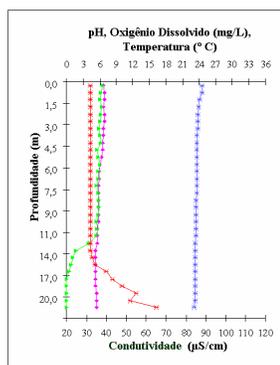
Os valores para oxigênio dissolvido, neste período, foram aproximadamente os mesmos até 12,0 m de profundidade do lago D. Helvécio, a partir da qual seus valores foram reduzidos rapidamente a zero no restante da coluna d'água e o valor da condutividade aumentou de valor a partir de 16,0 m., como mostra a figura 64.

Foi observada pequena termoclina nas lagoas Aguapé e Águas Claras entre 1,0 m e 2,5 m sem estratificação química; e na lagoa Amarela (figura 64) valores baixos para oxigênio dissolvido sendo de 3,91 mg/L a 1,0 m e de 2,68 mg/L a 2,0 m.

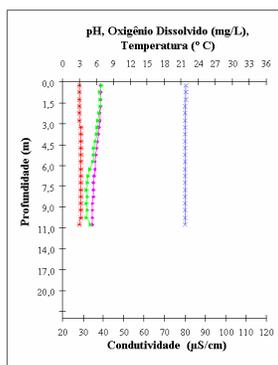
A lagoa Carvão com Azeite, na primeira coleta apresentou alto valor para oxigênio dissolvido (16 mg/L) na superfície, sendo o mesmo reduzido bruscamente para 3,0 mg/L já no primeiro metro de profundidade e atingindo o valor nulo pelo restante da coluna d'água, como mostra a figura 65. A lagoa Verde, nesta mesma figura, apresentou estes valores praticamente inalterados entre 6,0 mg/L e 5,5 mg/L até 11,0 m de profundidade, decrescendo para 1,97 mg/L a 13,0 m passando a zero até o fundo do lago.

No período chuvoso foi efetuada a segunda coleta com a presença de chuvas esparsas e não muito intensas. A maioria dos lagos estudados apresentou estratificação térmica na coluna d'água, algumas delas mais intensas outras menos pronunciadas.

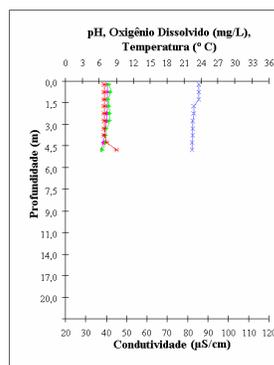
O lago D. Helvécio (figura 66) apresentou termoclina entre as profundidades de 9,0 m e de 12,0 m, ocorrendo redução de oxigênio dissolvido (a partir de 9,5 m) atingindo valores zero rapidamente até o fundo do lago; e aumento da condutividade da água nas proximidades da região de estratificação térmica entre 10,0 m e 14,0 m de profundidade.



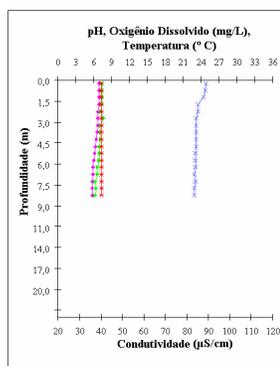
L. D. Helvécio - P1
09/08/1999



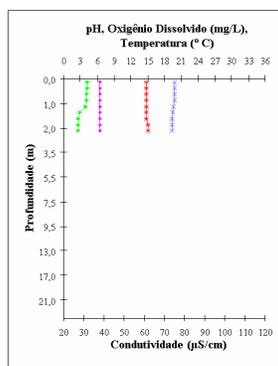
L. Carioca - P1
10/08/1999



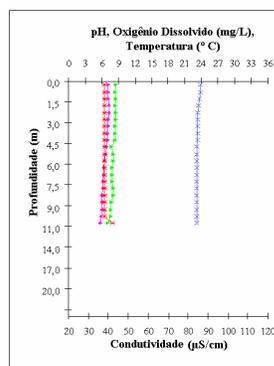
L. Aguapé - P1
10/08/1999



L. Águas Claras - P1
11/08/1999



L. Amarela - P1
12/08/1999



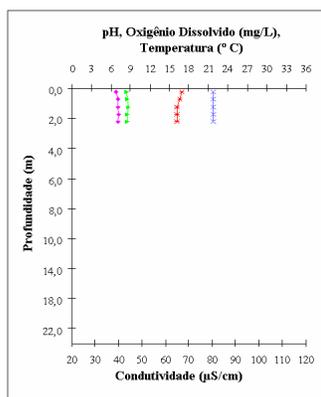
L. Anibal - P3
11/08/1999

Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

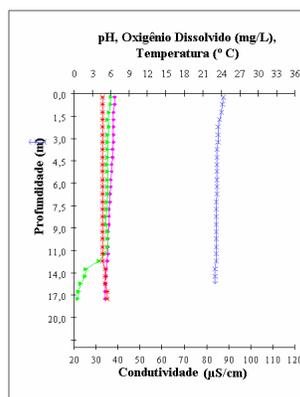
Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

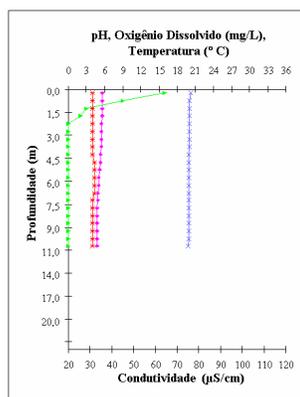
FIGURA 64. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.



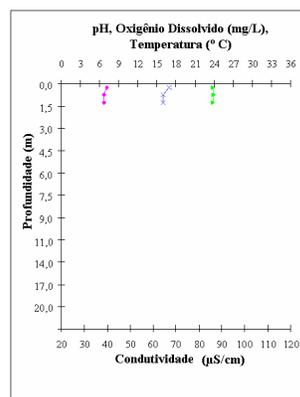
L. Ferrugem - Centro
13/08/1999



L. Verde - P3
13/08/1999



L. Carvão com Azeite (Centro)
13/08/1999



L. Azul - margem
13/08/1999

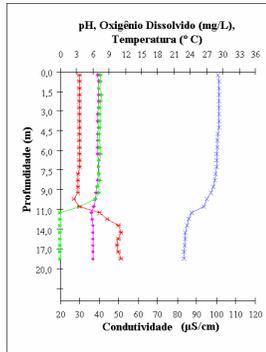
Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

Legenda:

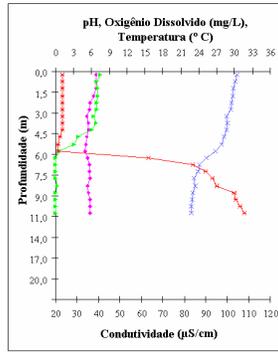
- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)

FIGURA 65. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem, Verde, Carvão com Azeite e Azul nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.

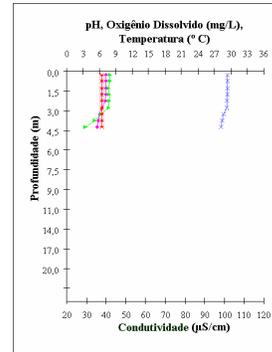
☉ *Lagos do Vale do rio Doce – Segunda Coleta (Período Chuvoso)*



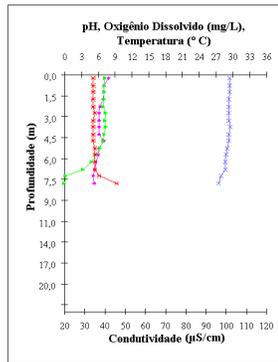
L. D. Helvécio - P1
04/02/2000



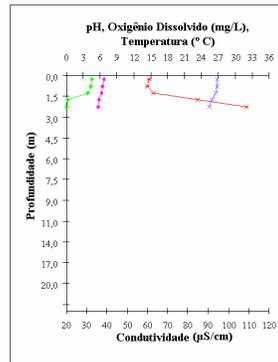
L. Carioca - P1
06/02/2000



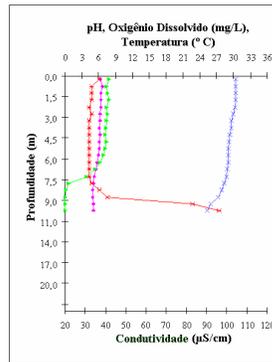
L. Aguapé - P1
05/02/2000



L. Águas Claras - P1
07/02/2000



L. Amarela - P1
07/02/2000



L. Anibal - P3
05/02/2000

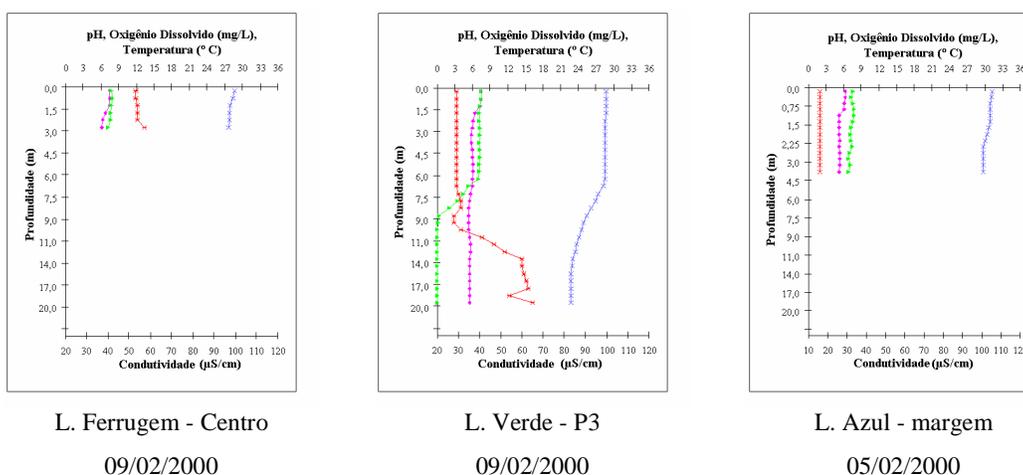
Lagos do Sistema de lagos do Vale do Doce

- Legenda:
- ◆ pH
 - ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
 - × Temperatura (°C)
 - * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 66. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

Nos lagos Aníbal, Carioca, Amarela (figura 66) e Verde (figura 67) foi observado que nas proximidades da região pertencente à termoclina ocorreu redução dos valores de oxigênio dissolvido e acréscimo dos valores de condutividade da água, de maneira análoga ao do lago D. Helvécio. Para a lagoa Aguapé, na figura 66 e nesta parte da coluna d'água, ocorreu apenas diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, enquanto que para a lagoa Azul o perfil das variáveis abióticas se mantiveram aproximadamente inalterados em toda a profundidade do corpo d'água, embora apresentasse ligeira estratificação entre 1,0 m e 2,25 m, conforme figura 67.

Na figura 67, este perfil se mostrou praticamente homogêneo para a lagoa Ferrugem, com pequeno aumento nos valores da condutividade da água no fundo do corpo d'água, enquanto que na figura 66, se verificou homogeneidade para a temperatura da água na lagoa Águas Claras com redução dos valores de oxigênio dissolvido a partir de 5,5 m atingindo o valor zero a 7,0 m, profundidade em que ocorre aumento do valor da condutividade de 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 7,5 m.



Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

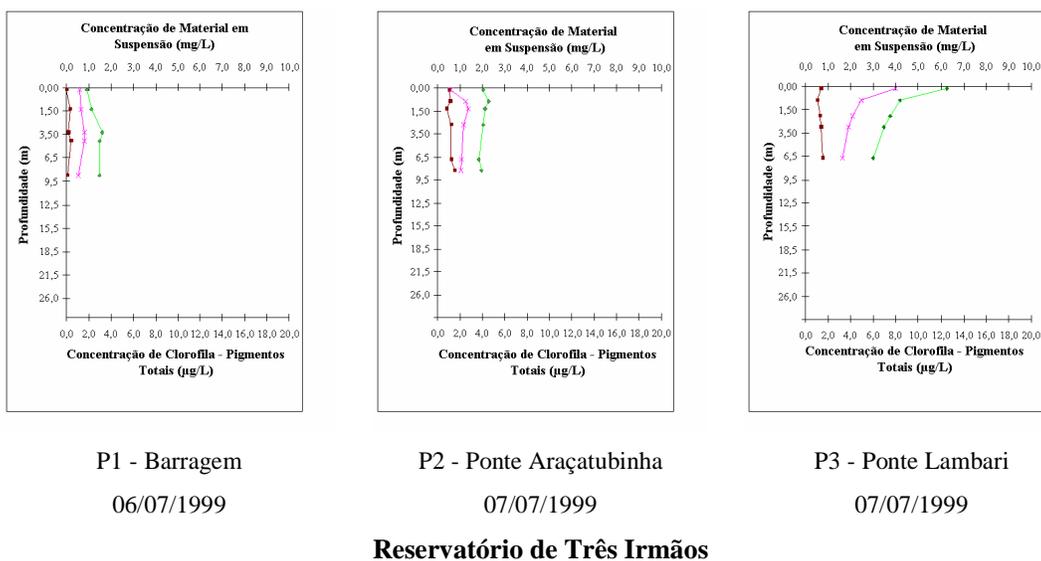
- Legenda:
- ◆ pH
 - ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
 - × Temperatura (°C)
 - * Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

FIGURA 67. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem, Verde e Azul nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

6.3.2 Perfil vertical de clorofila total e de material em suspensão

É apresentado o perfil vertical das concentrações de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão, compreendendo as frações orgânica e inorgânica para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê e os lagos citados do sistema de lagos do Vale do rio Doce, em duas épocas do ano correspondentes ao período seco entre julho e agosto e no mês de novembro e o período de alta precipitação de dezembro a fevereiro.

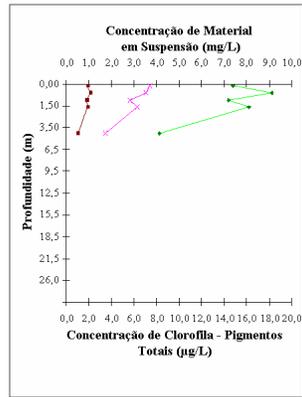
◉ Reservatórios do Médio e Baixo Tietê – Primeira Coleta (Período Seco)



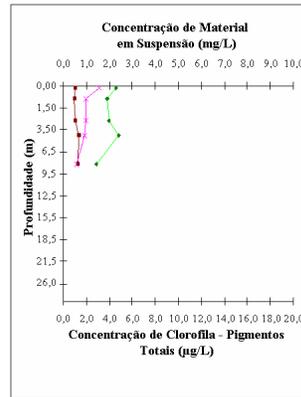
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 68. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho de 1999, período seco.

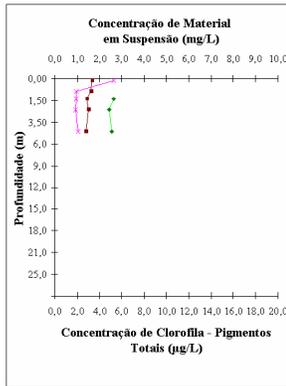


P1 - Barragem
08/07/1999

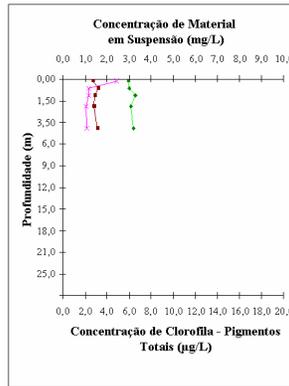


P2 - rio Santa Bárbara
08/07/1999

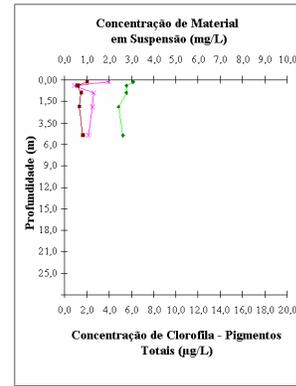
Reservatório de Nova Avanhandava



P1 - Barragem
11/07/1999



P2 - Sabino
11/07/1999



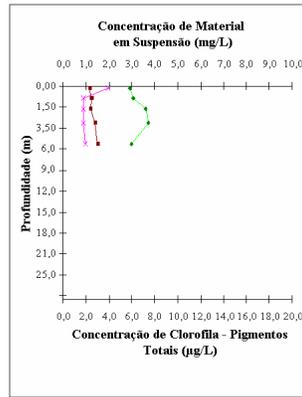
P3 - rio Tietê
12/07/1999

Reservatório de Promissão

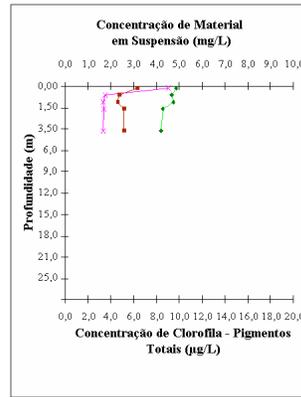
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 69. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.

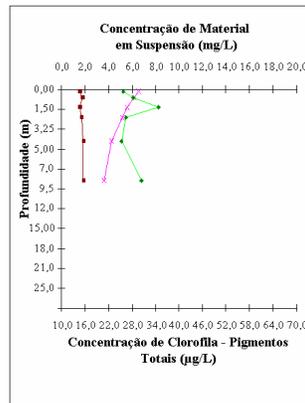


P1 - Barragem
12/07/1999

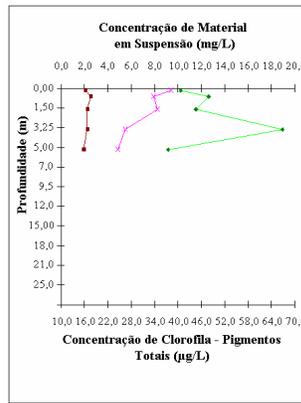


P2 - rio Jacaré-Guaçu
12/07/1999

Reservatório de Ibitinga



P1 - Barragem
04/11/1999



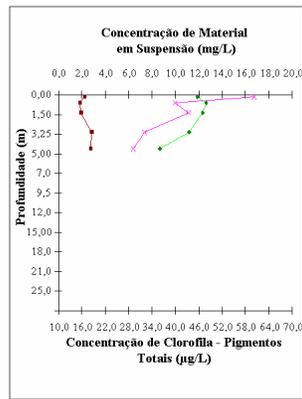
P2 - rio Jaú
04/11/1999

Reservatório de Bariri

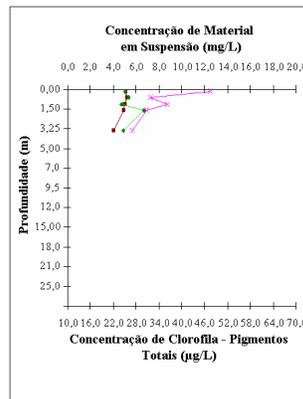
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 70. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho e novembro de 1999, período seco.

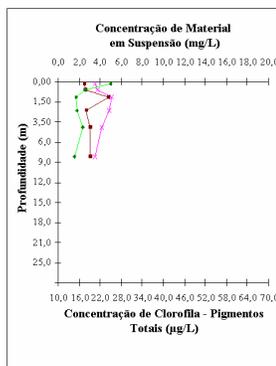


P3 - Itapuí
04/11/1999

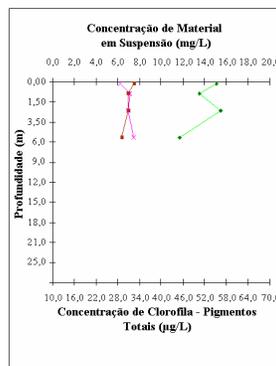


P4 - rio Bauru
04/11/1999

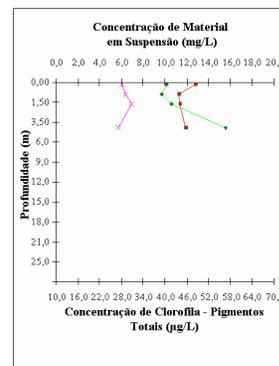
Reservatório de Bariri



P1 - Barragem
05/11/1999



P2 - rio Tietê
05/11/1999



P3 - rio Piracicaba
05/11/1999

Reservatório de Barra Bonita

- Legenda:
- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
 - Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
 - × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 71. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em novembro de 1999, período seco.

Desde os primeiros metros de profundidade do ponto P3 do reservatório de Três Irmãos apresentaram para as concentrações de clorofila total e de material em suspensão, tanto frações orgânicas como inorgânicas, valores

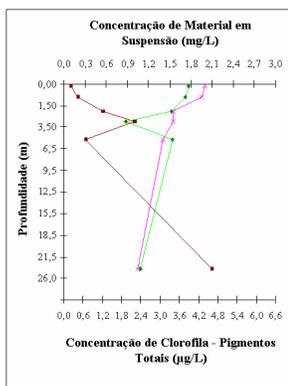
maiores que aqueles obtidos nos dois outros pontos do mesmo reservatório no período seco, como ilustra a figura 68.

Nesta mesma época do ano, o reservatório de Nova Avanhandava, no ponto P1 apresentou valores maiores para as concentrações de clorofila total e de matéria orgânica comparadas com os valores obtidos no ponto P2 do mesmo reservatório e nos dois pontos de estudo de Promissão (figura 69). Para o ponto P2 do reservatório de Ibitinga, os valores para concentrações de clorofila total e de material em suspensão, na superfície, foram maiores comparados com os do ponto P1, outro ponto de estudo deste reservatório, decrescendo com a profundidade conforme figura 70.

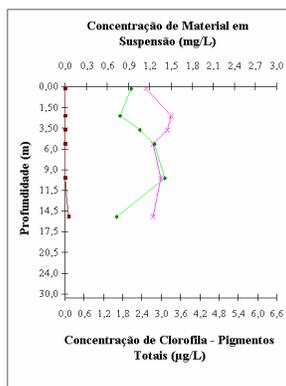
De uma maneira geral, no período seco, os quatro pontos estudados no reservatório de Bariri (figuras 70 e 71) apresentaram preponderância nos valores de concentração de clorofila total e de matéria orgânica sobre os de matéria inorgânica, com valores na superfície do ponto P3 de 45,69 $\mu\text{g/L}$, 16,72 mg/L e 2,23 mg/L , respectivamente, evidenciando tal característica. Para o reservatório de Barra Bonita, nesta mesma época do ano (figura 71), os valores de concentração de material em suspensão para as frações orgânica e inorgânica foram muito similares, com elevação desta última no ponto P3 do reservatório, atingindo 12,79 mg/L na sua superfície, o maior obtido dentre todo o estudo realizado nos seis reservatórios. Os valores de concentração de clorofila total foram igualmente, os maiores obtidos no estudo deste sistema de reservatórios, com o valor de 55,28 $\mu\text{g/L}$ na superfície de P2, embora tais valores tenham sido altos nos demais pontos deste reservatório e nos pontos da represa de Bariri (figuras 70 e 71).

No período de alta precipitação, os três pontos de estudo do reservatório de Três Irmãos apresentaram valores muito baixos para as concentrações de material em suspensão, cuja fração inorgânica atingiu o valor nulo por praticamente toda a coluna d'água nos pontos P2 e P3. Para o caso da clorofila total, suas concentrações foram baixas nos pontos estudados, com diminuição de seu valor a 2,5 m e 2,0 m de profundidade para os pontos P1 e P3 respectivamente (figura 72).

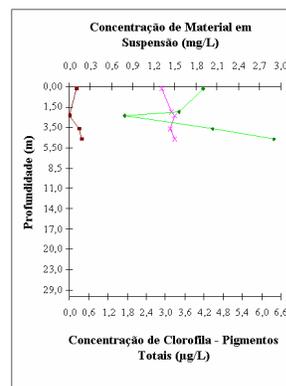
🕒 **Reservatórios do Médio e Baixo Tietê – Segunda Coleta (Período Chuvoso)**



P1 - Barragem
24/02/2000



P2 - Ponte Araçatubinha
24/02/2000



P3 - Ponte Lambari
23/02/2000

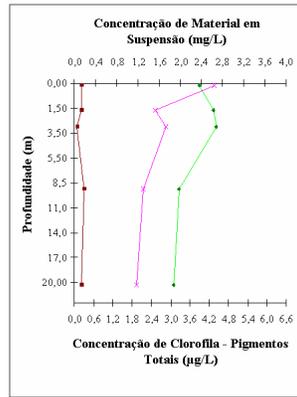
Reservatório de Três Irmãos

Legenda:

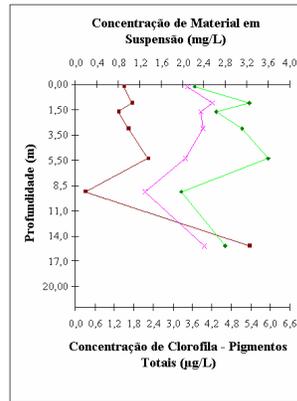
- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- ✕ Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 72. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada respectivamente em fevereiro de 2000, período chuvoso.

No verão, período chuvoso, os valores das concentrações de clorofila total e de material em suspensão, principalmente a fração inorgânica, foram baixos para os reservatórios de Nova Avanhandava e de Promissão, com elevação do valor da concentração de clorofila total no ponto P1 neste último reservatório, apresentando na superfície 11,67 µg/L (figura 73). Os valores destas concentrações foram baixos para o ponto P1 do reservatório de Ibitinga, com aumento para o ponto P2, principalmente para clorofila total (figura 74), valores estes maiores que os obtidos no período seco, enquanto que os correspondentes ao material em suspensão não diferiram muito nas duas épocas estudadas.

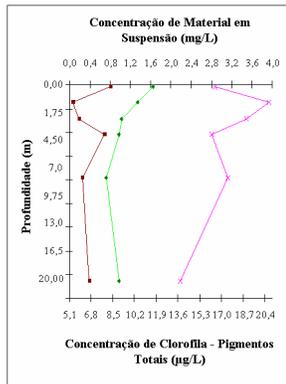


P1 - Barragem
23/02/2000

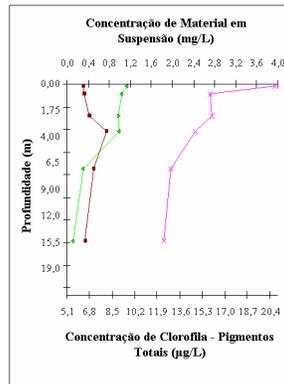


P2 - rio Santa Bárbara
23/02/2000

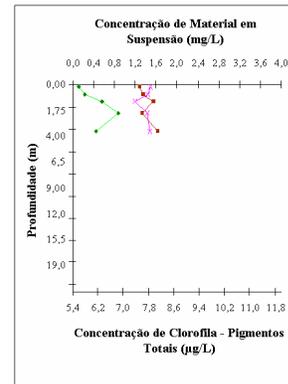
Reservatório de Nova Avanhandava



P1 - Barragem
22/02/2000



P2 - Sabino
21/02/2000



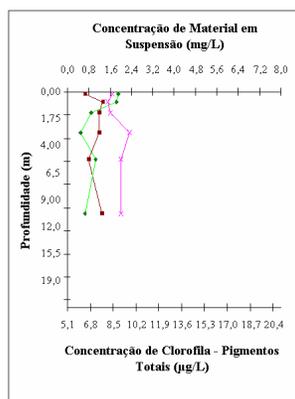
P3 - rio Tietê
21/02/2000

Reservatório de Promissão

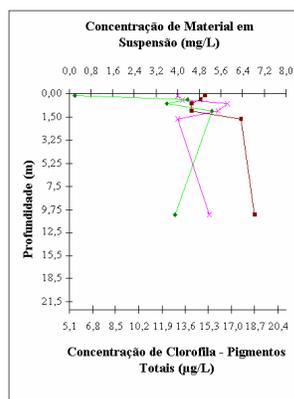
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 73. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

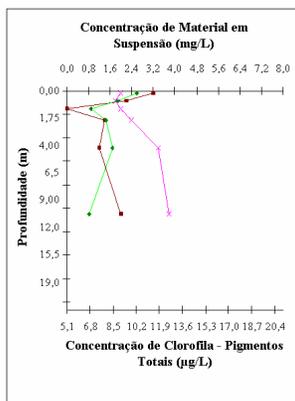


P1 - Barragem
20/02/2000

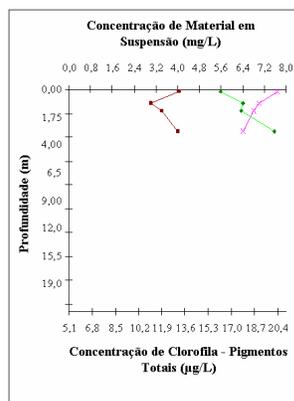


P2 - rio Jacaré-Guaçu
20/02/2000

Reservatório de Ibitinga



P1 - Barragem
19/02/2000



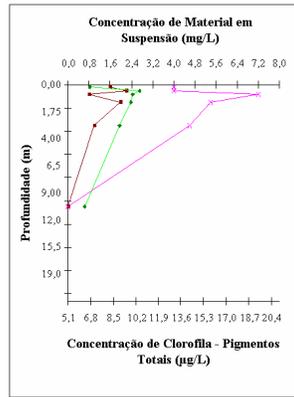
P2 - rio Jaú
19/02/2000

Reservatório de Bariri

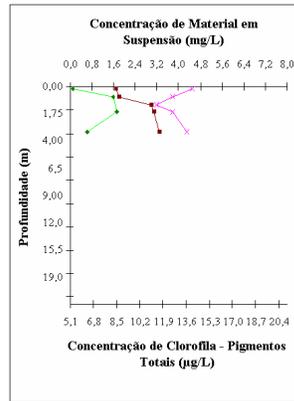
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 74. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

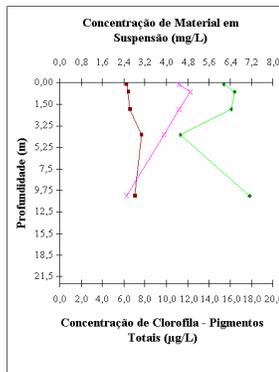


P3 - Itapuí
19/02/2000

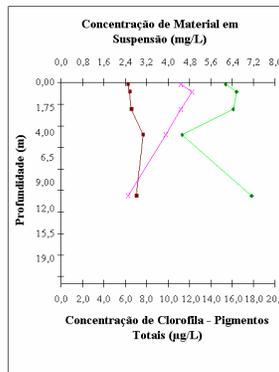


P4 - rio Bauru
19/02/2000

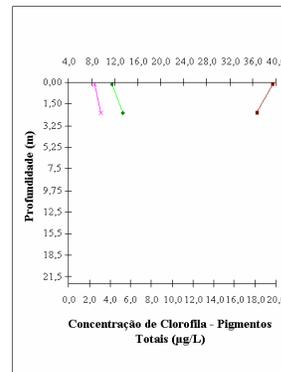
Reservatório de Bariri



P1 - Barragem
18/02/2000



P2 - rio Tietê
18/02/2000



P3 - rio Piracicaba
18/02/2000

Reservatório de Barra Bonita

- Legenda:
- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
 - Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
 - × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 75. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

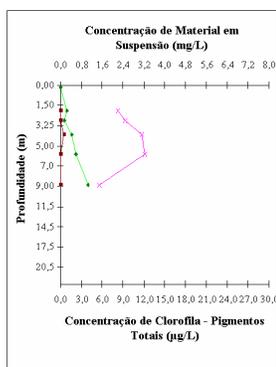
Houve grande redução nos valores obtidos para a concentração de clorofila total nos pontos estudados do reservatório de Bariri, e aumento dos valores relativos às concentrações de matéria inorgânica no ponto P2 deste reservatório no período chuvoso (figuras 74 e 75) comparativamente aos obtidos no inverno, período seco. Analogamente, o reservatório de Barra Bonita apresentou, nesta época do ano (verão), valores de concentração de clorofila total menores que os obtidos no período seco. Não ocorreu grandes diferenciações entre os valores obtidos para concentrações de material em suspensão nas duas épocas do ano estudadas no ponto P1. No verão (período chuvoso) houve aumento dos valores das concentrações de matéria inorgânica nos pontos P2 e P3 (figura 75), atingindo 39,44 mg/L na superfície do ponto P3, que foi o maior valor obtido em todo o sistema de reservatórios.

Agora, em todos os pontos de estudo dos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, para as duas estações do ano, os valores de concentração de matéria inorgânica contida na água foi menor que os de matéria orgânica, com baixíssimo valor para os lagos D. Helvécio, Aníbal (ambos mais evidente no inverno), Carioca, Águas Claras e Verde, para este último com valor praticamente nulo em toda a coluna d'água.

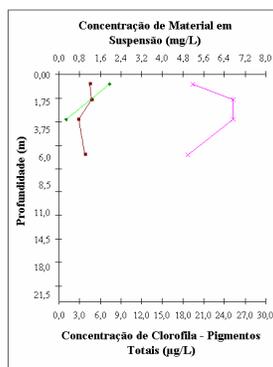
Alguns pontos estudados dos lagos, no período seco, apresentaram valores para a concentração de clorofila total baixo, em torno de 0,0 µg/L e 4,5 µg/L, como nos lagos D. Helvécio (figura 76) e Verde (figura 77), enquanto que em outros, este valor foi extremamente alto como a lagoa Aguapé cujo valor foi de 69,03 µg/L a 3,25 m de profundidade (figura 76) e a lagoa Ferrugem que a 1,0 m atingiu 189,10 µg/L e praticamente zero para a concentração de matéria inorgânica em toda a coluna d'água (figura 70).

Na estação chuvosa, o lago D. Helvécio apresentou a concentração de clorofila total entre 3,0 µg/L e 10,81 µg/L (figura 78), ao passo que em outros corpos d'água este valor foi bem maior, como as lagoas Águas Claras que a 1,0 m de profundidade esta concentração foi de 57,38 µg/L (figura 78), Amarela com 32,66 µg/L de concentração de clorofila total a 0,50 m (figura 78) e a Ferrugem que atingiu 53,87 µg/L a 1,0m da coluna d'água (figura 79).

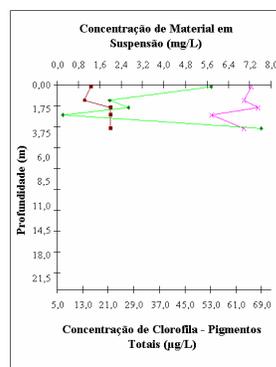
◉ *Lagos do Vale do rio Doce – Primeira Coleta (Período Seco)*



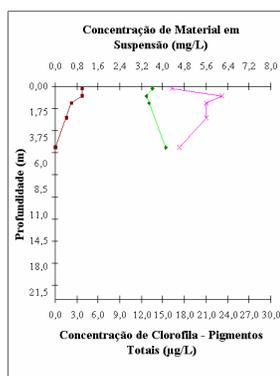
L. D. Helvécio - P1
09/08/1999



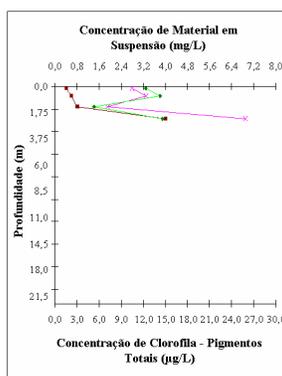
L. Carioca - P1
10/08/1999



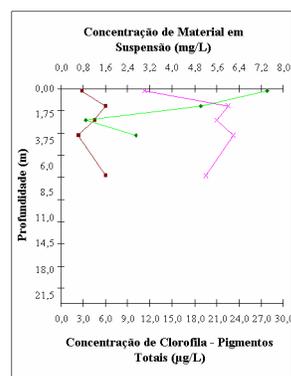
L. Aguapé - P1
10/08/1999



L. Águas Claras - P1
11/08/1999



L. Amarela - P1
12/08/1999

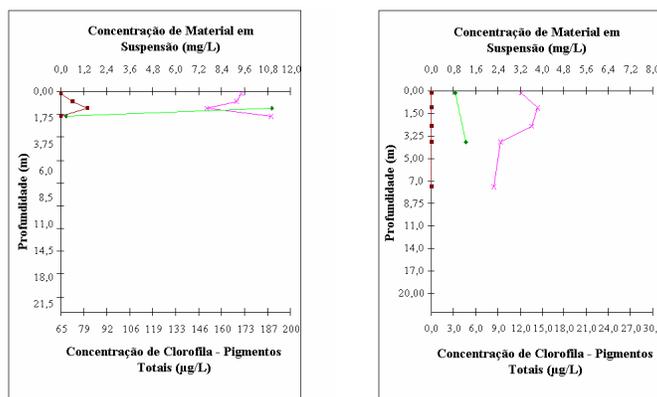


L. Anibal - P3
11/08/1999

Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

- Legenda:
- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
 - Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
 - × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 76. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.



L. Ferrugem - Centro
13/08/1999

L. Verde - P3
13/08/1999

Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

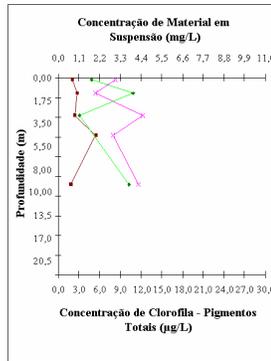
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

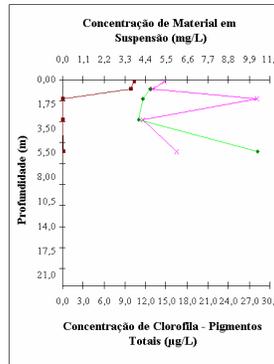
FIGURA 77. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.

No período chuvoso, os valores de concentração de matéria inorgânica foram maiores que os obtidos no inverno (período seco) para os lagos D. Helvécio, Carioca até 0,75 m de profundidade, Aguapé, Aníbal e Amarela, como também foram maiores os valores de concentração de matéria orgânica para as lagoas Amarela e Ferrugem e Aníbal até 1,25 m de sua profundidade. Ocorreu diminuição dos valores da concentração de clorofila total no primeiro metro do lago Aníbal e na lagoa Aguapé, ao passo que para os lagos D. Helvécio, Carioca, Águas Claras, Amarela e Verde estes valores aumentaram. A concentração de clorofila total foi alta para a lagoa Ferrugem, mas não atingiu os valores obtidos no inverno.

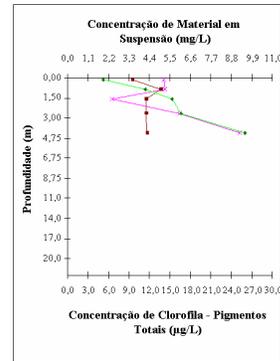
☉ *Lagos do Vale do rio Doce – Segunda Coleta (Período Chuvoso)*



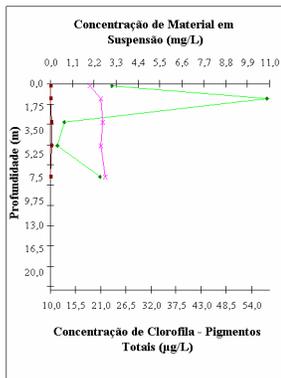
L. D. Helvécio - P1
04/02/2000



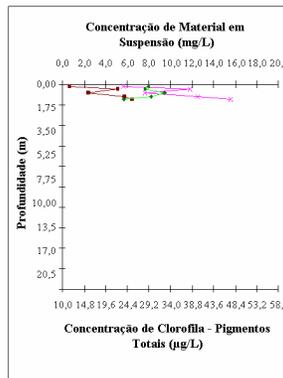
L. Carioca - P1
06/02/2000



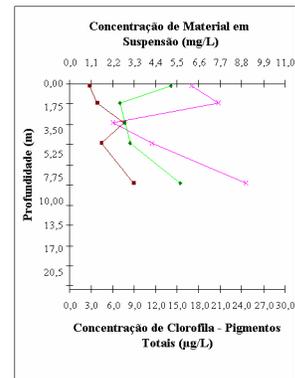
L. Aguapé - P1
05/02/2000



L. Águas Claras - P1
07/02/2000



L. Amarela - P1
07/02/2000

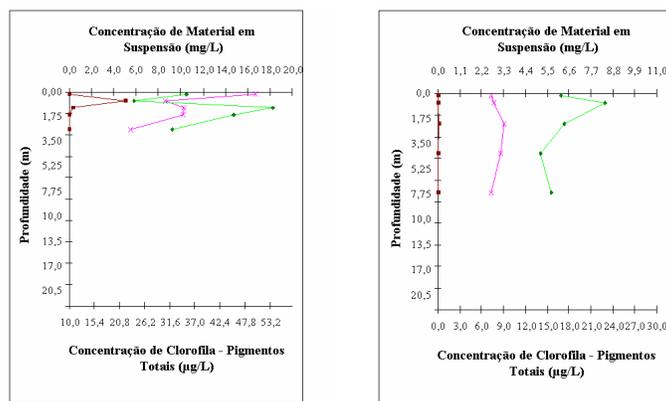


L. Anibal - P3
05/02/2000

Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

- Legenda:
- ◆ Clorofila – Pigmentos Totais (µg/L)
 - Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
 - × Material em Suspensão – Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 78. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.



L. Ferrugem - Centro
09/02/2000

L. Verde - P3
09/02/2000

Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

- Legenda:
- ◆ Clorofila – Pigmentos Totais (µg/L)
 - Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
 - × Material em Suspensão – Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 79. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

6.3.3 Zona Eufótica: uma abordagem comparativa

Os dados das tabelas 16 a 19 indicam os valores de transparência da água (profundidade Secchi), profundidade da zona eufótica, profundidade de mistura, profundidade máxima e suas relações para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê e os lagos citados do sistema de lagos do Vale do rio Doce, em duas épocas do ano correspondentes ao período seco entre julho e agosto e o período de alta precipitação que ocorre de dezembro a fevereiro.

A profundidade da zona eufótica foi determinada pela profundidade Secchi e pela profundidade na qual apresentou 1% da radiação fotossinteticamente ativa incidente no ponto de estudo do corpo d’água em

questão, medida com o Quanta-meter em toda a coluna d'água. De uma forma geral, os valores obtidos para esta profundidade, através dos dois métodos utilizados para sua determinação, foram muito próximos nos ambientes aquáticos estudados, o que demonstrou a viabilidade do uso do disco de Secchi dada a sua praticidade e simplicidade.

Além disso, em todos os ambientes aquáticos estudados, no período seco (primeira coleta), a diferença entre tais medidas foi mais evidenciada, devido possivelmente à ocorrência de ventos que provocam maior turbulência da massa de água e ressuspensão de material do sedimento na coluna d'água, dificultando o estabelecimento da medida realizada com o disco de Secchi.

O valor obtido para a profundidade Secchi neste período, no ponto P4 do reservatório de Bariri foi subestimado (tabela 16), dada a grande quantidade de material em suspensão, principalmente de origem orgânica, e de clorofila existente na água (figura 71); enquanto que para o ponto P2 do reservatório de Três Irmãos (tabela 16), nesta mesma época, o valor de ZDS foi superestimado possivelmente devido à grande turbulência da massa de água, uma vez que o mesmo apresentou pequenas concentrações de material em suspensão e de clorofila (figura 68) comparativamente com o reservatório anterior. Ambos os pontos de estudo apresentaram a profundidade máxima de 8,0 m, o que demonstra a diversidade de fatores de interferência na penetração da radiação solar nos ambientes aquáticos.

Na primeira coleta (período seco) para os lagos do Vale do rio Doce, foram observados valores subestimados para a profundidade Secchi nas lagoas Carioca, Aguapé e Amarela (tabela 18) dada a grande concentração de material em suspensão, em grande parte de origem orgânica, e de clorofila total existente na água (figura 76), comparando-se com aquela obtida para o lago D. Helvécio (figura 76), cujo valor da profundidade Secchi foi superestimada.

No período de alta precipitação, embora não se tenha observado grandes diferenças nos valores obtidos para a profundidade da zona eufótica, em ambos os métodos utilizados, para a represa de Barra Bonita, nos pontos P2 e P3

(tabela 17) os valores encontrados para a profundidade Secchi foram altamente subestimados dada a grande concentração de material em suspensão, em sua maioria fração inorgânica (figura 75), com o carreamento de material para o corpo d'água devido às chuvas, depois de um período longo de estiagem.

Para os lagos Aníbal e Verde do sistema de lagos do Vale do rio Doce, os valores para a profundidade Secchi foram subestimados (tabela 19), cuja concentração de material em suspensão foi maior no primeiro lago (figuras 78 e 79), com 9,5 m de profundidade e de 19,0 m para o segundo lago.

Uma comparação entre o quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar, em termos percentuais, e das relações entre a profundidade da zona eufótica e as profundidades máxima e de mistura, foi feita para os ambientes aquáticos estudados neste item, como ilustram as figuras 80 a 83, com a indicação da profundidade máxima em cada ponto e em cada período estudados.

TABELA 16. Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê em julho e novembro de 1999 (Primeira Coleta).

Pontos de Estudo dos Reservatórios	Z _{máx.} (m)	Z _{DS} (m)	Zeu (m)		Zeu/ Z _{DS} *	$\overline{\text{Zeu}}$ (m)	Z _{mix.} (m)	Zeu/ Z _{máx} *	Zeu/ Z _{mix} *	
			DiscoSecchi	Quantameter						
Três Irmãos	P1 – 06/07	30,0	5,10	15,30	8,50	1,67	11,90	30,0	0,28	0,28
	P2 – 07/07	11,0	3,30	9,90	6,50	1,97	8,2	11,0	0,59	0,59
	P3 – 07/07	14,0	3,10	9,30	6,50	2,10	7,9	14,0	0,46	0,46
Nova Avanhandava	P1 – 08/07	30,0	2,50	7,50	5,75	2,30	6,63	30,0	0,19	0,19
	P2 – 08/07	23,0	3,50	10,50	8,00	2,29	9,25	23,0	0,35	0,35
Promissão	P1 – 11/07	13,0	1,95	5,85	4,25	2,18	5,0	13,0	0,32	0,32
	P2 – 11/07	13,0	2,10	6,30	4,00	1,90	5,15	13,0	0,31	0,31
	P3 – 12/07	-	2,20	6,60	4,50	2,05	5,55	-	-	-
Ibitinga	P1 – 12/07	22,0	2,40	7,20	5,0	2,08	6,10	22,0	0,23	0,23
	P2 – 12/07	14,0	1,45	4,35	3,50	2,41	3,93	8,0	0,25	0,44
Bariri	P1 – 04/11	20,0	1,30	3,90	4,25	3,27	4,08	20,0	0,21	0,21
	P2 – 04/11	7,0	1,10	3,30	3,25	2,95	3,28	3,0	0,46	1,08
	P3 – 04/11	13,0	0,90	2,70	3,0	3,33	2,85	2,0	0,23	1,50
	P4 – 04/11	8,0	0,80	2,40	3,25	4,06	2,83	1,0	0,41	3,25
Barra Bonita	P1 – 05/11	12,0	1,40	4,20	4,0	2,86	4,10	12,0	0,33	0,33
	P2 – 05/11	9,0	0,80	2,40	2,0	2,50	2,20	9,0	0,22	0,22
	P3 – 05/11	5,0	0,60	1,80	1,50	2,50	1,65	5,0	0,30	0,30

* Zeu obtido a partir dos dados do Quantameter

TABELA 17. Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê em fevereiro de 2000 (Segunda Coleta).

Pontos de Estudo Dos Reservatórios	Z _{máx.} (m)	Z _{DS} (m)	Zeu (m)		Zeu/ Z _{DS} *	$\overline{\text{Zeu}}$ (m)	Z _{mix.} (m)	Zeu/ Z _{máx} *	Zeu/ Z _{mix} *	
			DiscoSecchi	Quantameter						
Três Irmãos	P1 – 24/02	28,0	2,10	6,30	5,0	2,38	5,65	1,50	0,18	3,33
	P2 - 24/02	15,0	4,60	13,80	9,75	2,12	11,78	-	0,65	-
	P3** – 23/02	7,0	3,50	10,50	-	-	-	7,0	-	-
Nova Avanhandava	P1 – 23/02	21,0	3,50	10,50	9,0	2,57	9,75	21,0	0,43	0,43
	P2 – 23/02	20,0	2,0	6,0	5,25	2,63	5,63	-	0,26	-
Promissão	P1 – 22/02	22,0	2,40	7,20	7,75	3,23	7,48	22,0	0,35	0,35
	P2 – 21/02	18,0	2,20	6,60	6,75	3,07	6,68	-	0,36	-
	P3 – 21/02	6,0	1,50	4,50	3,75	2,50	4,13	-	0,63	-
Ibitinga	P1 – 20/02	21,0	2,10	6,20	5,0	2,38	5,60	21,0	0,24	0,24
	P2 – 20/02	13,0	0,40	1,20	1,50	3,75	1,35	13,0	0,12	0,12
Bariri	P1 – 19/02	21,0	1,90	5,70	4,0	2,11	4,85	21,0	0,19	0,19
	P2 – 19/02	8,0	1,05	3,15	2,50	2,38	2,83	1,0	0,31	2,50
	P3 – 19/02	14,0	0,90	2,70	2,50	2,78	2,60	14,0	0,18	0,18
	P4 – 19/02	8,0	1,10	3,30	3,0	2,73	3,15	6,0	0,38	0,50
Barra Bonita	P1 – 18/02	20,0	1,60	4,80	4,00	2,50	4,40	20,0	0,20	0,20
	P2*** – 18/02	18,0	0,35	1,05	1,75	5,00	1,40	18,0	0,10	0,10
	P3*** – 18/02	10,0	0,10	0,30	1,00	10,0	0,65	10,0	0,10	0,10

* Zeu obtido a partir dos dados do Quantameter

** A coluna d'água é toda iluminada no ponto P3 da represa de Três Irmãos.

*** Nos pontos de coleta a água do reservatório apresentava-se muito “barrenta”.

TABELA 18. Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os lagos do Vale do rio Doce em agosto de 1999 (Primeira Coleta).

Pontos de Estudo dos Lagos		Z _{máx.} (m)	Z _{DS} (m)	Z _{eu} (m)		Z _{eu} /Z _{DS} *	$\overline{\text{Zeu}}$ (m)	Z _{mix.} (m)	Z _{eu} /Z _{máx} *	Z _{eu} /Z _{mix} *
				DiscoSecchi	Quantameter					
D. Helvécio	P1 – 09/08	21,0	4,25	12,75	9,00	2,12	10,86	12,0	0,43	0,75
Carioca	P1 – 10/08	10,0	1,40	4,20	5,00	3,57	4,60	10,0	0,50	0,50
Aguapé	P1 – 10/08	4,50	0,80	2,40	4,00	5,00	3,20	4,5	0,89	0,89
Águas Claras	P1 – 11/08	8,00	2,00	6,00	4,50	2,25	5,25	8,0	0,56	0,56
Aníbal	P3 – 11/08	10,0	2,50	7,50	6,75	2,70	7,13	10,0	0,68	0,68
Amarela	P1 – 12/08	2,00	0,40	1,20	2,00	5,00	1,60	2,0	1,0	1,0
Carvão/Azeite	12/08	10,00	0,00	0,00	0,75	-	-	1,0	0,08	0,1
	(Centro)**									
Ferrugem	12/08	2,00	0,80	2,40	-	-	-	2,0	-	-
	(Centro)***									
Verde	P3 – 13/08	17,0	3,20	9,60	7,25	2,27	8,43	17,0	0,43	0,43

*Zeu obtido a partir dos dados do Quantameter

** A lagoa Carvão com Azeite é completamente coberta com salvinéas impedindo a penetração de luz na coluna d'água.

*** A coluna d'água é toda iluminada no ponto estudado (Centro) da lagoa Ferrugem.

TABELA 19. Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os lagos do Vale do rio Doce em fevereiro de 2000 (Segunda Coleta).

Pontos de Estudo dos Lagos		Z _{máx.} (m)	Z _{DS} (m)	Z _{eu} (m)		Z _{eu} /Z _{DS} *	$\overline{Z_{eu}}$ (m)	Z _{mix.} (m)	Z _{eu} /Z _{máx} *	Z _{eu} /Z _{mix} *
				DiscoSecchi	Quantameter					
D. Helvécio	P1 – 04/02	18,00	4,00	12,0	9,25	2,31	10,60	9,00	0,51	1,03
Carioca	P1 – 06/02	10,00	1,80	5,40	5,25	2,92	5,33	4,00	0,53	1,31
Aguapé	P1** – 05/02	4,00	1,50	-	-	-	-	3,00	-	-
Águas Claras	P1** – 07/02	7,50	3,10	-	-	-	-	6,00	-	-
Aníbal	P3 – 05/02	9,50	2,50	7,50	8,00	3,20	7,75	7,00	0,84	1,14
Amarela	P1** – 07/02	2,00	1,30	-	-	-	-	1,00	-	-
Ferrugem	09/02	2,50	0,90	-	-	-	-	2,50	-	-
(Centro)**										
Verde	P3 – 09/02	19,00	2,00	6,00	7,50	3,75	6,75	6,0	0,39	1,25

*Zeu obtido a partir dos dados do Quantameter

** A coluna d'água é toda iluminada no ponto estudado para os lagos: Aguapé (P1), Águas Claras (P1), Amarela (P1) e Ferrugem (Centro).

Nas figuras 80 a 83 subseqüentes, estão indicados os ambientes e os respectivos pontos estudados de acordo com a abreviatura utilizada:

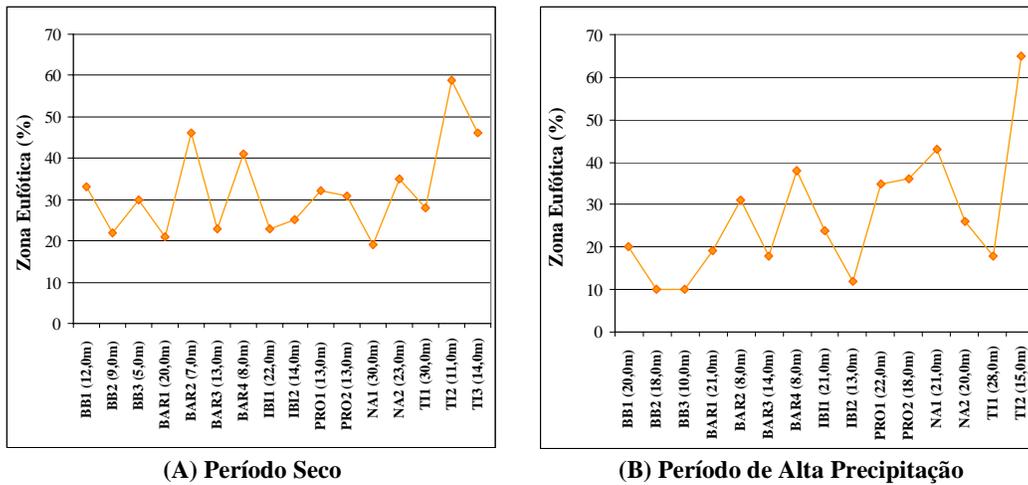
☉ **Reservatórios do Médio e Baixo Tietê**

RESERVA- TÓRIOS	ABREVIA- TURA	PONTO ESTUDADO	RESERVA- TÓRIOS	ABREVIA- TURA	PONTO ESTUDADO	
Barra Bonita	BB1	P1 Barragem	Promissão	PRO1	P1 Barragem	
	BB2	P2 rio Tietê		PRO2	P2 Sabino	
	BB3	P3 rio Piracicaba	Nova Avanhandava	NA1	P1 Barragem	
BAR1	P1 Barragem	NA2		P2 rio Sta.Bárbara		
Bariri	BAR2	P2 rio Jau		Três Irmãos	TI1	P1 Barragem
	BAR3	P3 Itapuí			TI2	P2 Araçatubinha
	BAR4	P4 rio Bauru	TI3		P3 Lambari	
Ibitinga	IBI1	P1 Barragem				
	IBI2	P2 rio Jacaré Guaçu				

☉ **Lagos dos Sistema de lagos do Vale do rio Doce**

LAGOS	ABREVIA- TURA	PONTO ESTUDADO	LAGOS	ABREVIA- TURA	PONTO ESTUDADO
D. Helvécio	DHELV	P1	Aníbal	ANIB	P3
Carioca	CAR	P1	Amarela	AMR	P1
Aguapé	AGUP	P1	Carvão c/ Azeite	CVAZ	Centro
Águas Claras	AGCL	P1	Verde	VED	P3

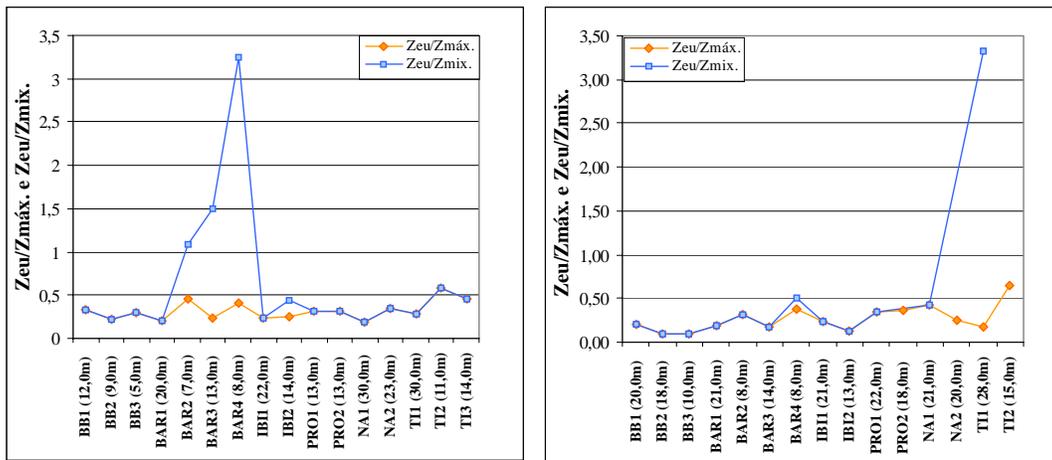
Para os pontos de estudo nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê ocorreu maior penetração da radiação solar no período seco, com percentuais entre 20% e 50% da coluna d'água atingida pela radiação solar para a maioria dos pontos estudados e de aproximadamente 60% no reservatório de Três Irmãos, ponto P2 (figura 80 A). Este percentual foi de 10% a 40% para estes mesmos ambientes aquáticos no período de alta precipitação e de 65% no mesmo ponto e reservatório acima citado, com aumento de profundidade na maior parte dos pontos observados, como ilustra a figura 80 B.



Pontos de Estudo dos Reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 80. Comparação do quanto a coluna d’água foi atingida pela radiação solar (%) nos diferentes pontos de estudo em cada reservatório do Médio e Baixo Tietê, com a indicação da profundidade máxima, para os períodos seco, em julho e novembro de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).

As relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ obtidas para os pontos estudados destes reservatórios apresentaram valores aproximadamente semelhantes (figuras 81 A e B) em ambos os períodos observados, cujos resultados apresentaram valores menores que 0,66, indicando que a profundidade da zona eufótica foi muito menor que as profundidades máxima e de mistura. No período seco, para o reservatório de Bariri nos pontos P2 e P3 a relação $Z_{eu}/Z_{mix.}$ foi de 1,08 e 1,5 respectivamente, com a profundidade da zona eufótica e de mistura sendo aproximadamente iguais (figura 81 A) e para o ponto P4 deste mesmo reservatório esta relação foi de 3,25, o que indicou neste caso, a profundidade da zona eufótica maior que a de mistura, como se observa na figura 81 A. O mesmo ocorreu para o reservatório de Três Irmãos, ponto P1, no verão (período de alta precipitação) cujo valor da relação $Z_{eu}/Z_{mix.}$ foi de 3,33 (figura 81 B).



(A) Período Seco

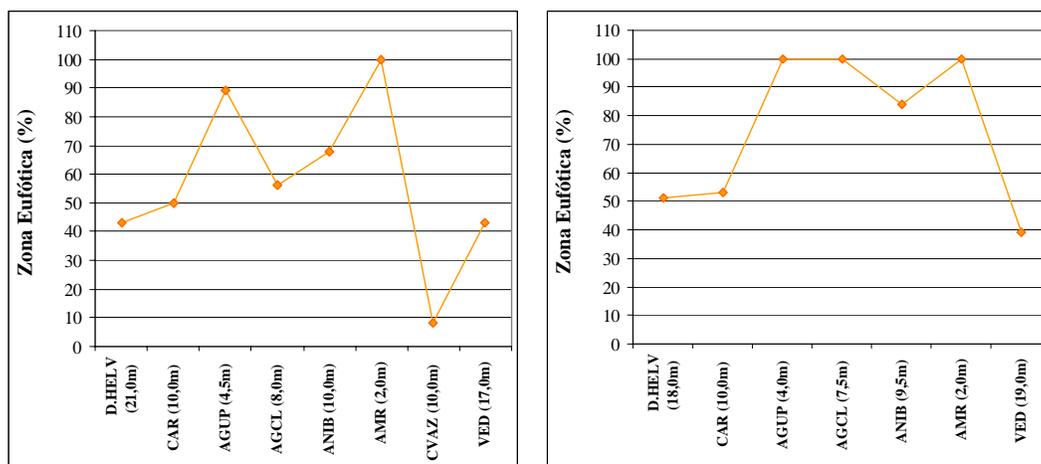
(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo dos Reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 81. Comparação entre as relações $Zeu/Zmáx.$ e $Zeu/Zmix.$ obtidas para cada reservatório do Médio e Baixo Tietê, com a indicação da profundidade máxima nos diferentes pontos de estudo, para os períodos seco, em julho e novembro de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).

A lagoa Carvão com Azeite apresenta cobertura vegetal em toda sua extensão (figuras 32 A e B), o que dificulta a penetração da radiação solar na coluna d'água, a qual atingiu apenas 8% como ilustra a figura 82 A, no período seco. Levando-se em consideração os demais lagos deste sistema, a penetração da radiação solar foi maior comparando-se com aquelas dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em ambas as épocas de estudo.

Para estes mesmos lagos a penetração da radiação solar foi ligeiramente maior no período de alta precipitação, não apresentando grandes diferenciações comparativamente ao período seco. As lagoas Águas Claras e Aguapé apresentaram a penetração da radiação solar em 56% e 89% respectivamente (figura 82 A), de toda a coluna d'água no inverno (período seco), enquanto que no período de alta precipitação a radiação solar penetrou por toda a profundidade desses lagos (figura 82 B).



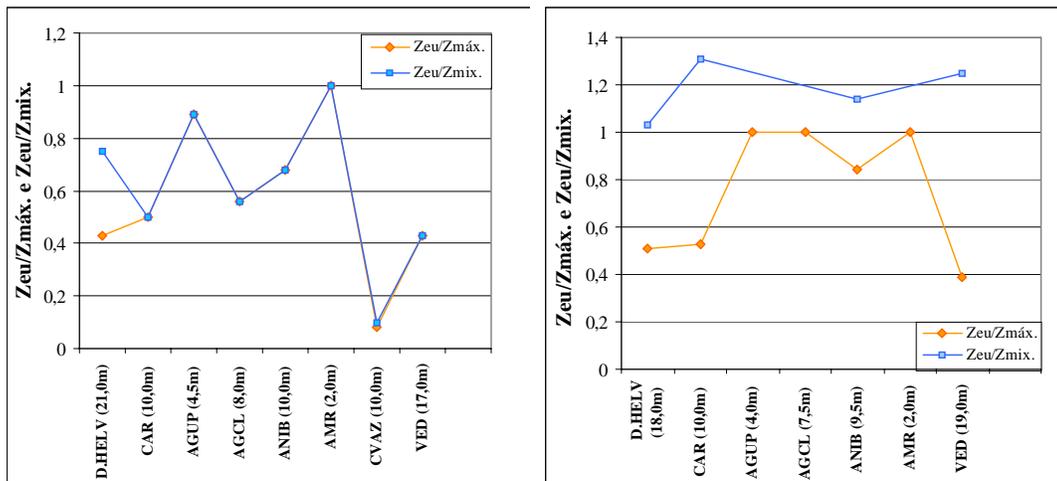
(A) Período Seco

(B) Período de Alta Precipitação

Lagos do Sistema de Lagos do Vale do rio Doce

FIGURA 82. Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar (%) em cada lago do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, com a indicação da profundidade máxima nos pontos de estudo, para os períodos seco, em agosto de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).

As relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ obtidas para os pontos estudados destes lagos apresentaram valores semelhantes no período seco (figuras 83 A), e entre 0,43 e 1,0, indicando que a profundidade da zona eufótica atingiu aproximadamente da metade até a totalidade das profundidades máxima e de mistura de tais lagos. O lago D. Helvécio, por outro lado, apresentou valores diferentes para cada uma dessas relações, com 0,43 para $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e de 0,75 para $Z_{eu}/Z_{mix.}$ (figura 83 A), evidenciando que a profundidade da zona eufótica foi menor que a de mistura.



(A) Período Seco

(B) Período de Alta Precipitação

Lagos do Sistema de Lagos do Vale do rio Doce

FIGURA 83. Comparação entre as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ obtidas para cada lago do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, com a indicação da profundidade máxima nos pontos de estudo, para os períodos seco, em agosto de 1999 (A); e de alta precipitação, em fevereiro de 2000 (B).

No período de alta precipitação (figura 83 B) estas relações apresentaram valores diferentes, sendo maiores para $Z_{eu}/Z_{mix.}$, entre 1,03 e 1,25, indicativo de que as zonas eufótica e de mistura apresentaram profundidades relativamente semelhantes, enquanto que para $Z_{eu}/Z_{máx.}$ foram obtidos valores entre 0,39 e 0,84, evidenciando que grande parte da coluna d'água foi atingida pela radiação solar.

6.3.4 Atenuação da radiação solar subaquática e sua composição

A parcela de contribuição dos componentes de K_t para a atenuação da radiação solar ao penetrar a coluna d'água em cada ponto nos períodos seco

e de alta precipitação é apresentada nas tabelas 20 a 30 para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê e 31 a 34 para os lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce.

TABELA 20. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Três Irmãos em julho/99 (Primeira Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
P1 06/07/99 15:00h	100	0,00	0,210	0,007	3,3	0,030	14,3	0,173	82,4
	50	1,25	0,583	0,009	1,5	0,036	6,2	0,538	92,3
	25	3,00	0,498	0,009	1,8	0,051	10,2	0,438	88,0
	10	4,00	0,702	0,009	1,3	0,048	6,8	0,645	91,9
	1	8,50	0,555	0,007	1,3	0,047	8,5	0,501	90,2
P2 07/07/99 09:15h	100	0,00	1,040	0,014	1,3	0,066	6,4	0,960	92,3
	50	0,75	1,098	0,016	1,5	0,073	6,7	1,009	91,8
	25	1,25	1,307	0,014	1,1	0,068	5,2	1,225	93,7
	10	2,25	1,069	0,018	1,7	0,066	6,2	0,985	92,1
	1	6,50	0,716	0,014	2,0	0,059	8,2	0,643	89,8
P3 07/07/99 15:10h	100	0,00	0,640	0,028	4,4	0,200	31,3	0,412	64,3
	50	0,75	0,825	0,030	3,6	0,134	16,2	0,661	80,2
	25	1,75	0,862	0,030	3,5	0,119	13,8	0,713	82,7
	10	2,50	0,884	0,028	3,2	0,111	12,6	0,745	84,2
	1	6,50	0,718	0,025	3,5	0,096	13,4	0,597	83,1

TABELA 21. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Nova Avanhandava em julho/99 (Primeira Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
P1 08/07/99 09:40h	100	0,00	2,354	0,041	1,7	0,236	10,0	2,077	88,3
	50	0,50	3,068	0,046	1,5	0,292	9,5	2,730	89,0
	25	1,00	1,930	0,035	1,8	0,230	11,9	1,665	86,3
	10	1,50	1,485	0,041	2,8	0,260	17,5	1,184	79,7
	1	4,00	1,119	0,044	3,9	0,132	11,8	0,943	84,3
P2 08/07/99 15:00h	100	0,00	1,068	0,028	2,6	0,073	6,8	0,967	90,6
	50	0,75	0,859	0,025	2,9	0,061	7,1	0,773	90,0
	25	2,25	0,639	0,030	4,7	0,062	9,7	0,547	85,6
	10	4,00	0,628	0,030	4,8	0,077	12,3	0,521	82,9
	1	8,00	0,580	0,030	5,2	0,045	7,8	0,505	87,0

TABELA 22. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Promissão em julho/99 (Primeira Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
P1 11/07/99 10:50h	100	0,00	0,725	0,053	7,3	-	-	-	-
	50	0,75	1,136	0,053	4,7	-	-	-	-
	25	1,25	1,142	0,048	4,2	0,085	7,4	1,009	88,4
	10	2,00	1,151	0,051	4,4	0,078	6,8	1,023	88,8
	1	4,25	1,074	0,046	4,3	0,082	7,6	0,946	88,1
P2 11/07/99 15:35h	100	0,00	1,019	0,044	4,3	0,095	9,3	0,880	86,4
	50	0,50	1,301	0,051	3,9	0,096	7,4	1,154	88,7
	25	1,00	1,303	0,046	3,5	0,105	8,1	1,152	88,4
	10	1,75	1,280	0,048	3,8	0,099	7,7	1,133	88,5
	1	4,00	1,151	0,048	4,2	0,103	8,9	1,000	86,9
P3 12/07/99 17:10h	100	0,00	2,589	-	-	-	-	-	-
	50	0,25	3,210	-	-	-	-	-	-
	25	0,75	2,227	-	-	-	-	-	-
	10	1,75	1,296	-	-	-	-	-	-
	1	4,50	1,003	-	-	-	-	-	-

RESULTADOS

TABELA 23. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para as represas de Ibitinga em julho/99 e de Bariri em novembro/99 (Primeira Coleta-Período Seco)

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
Reservatório de Ibitinga									
	100	0,00	1,300	0,025	1,9	0,092	7,1	1,183	91,0
P1	50	0,75	1,141	0,025	2,2	0,098	8,6	1,018	89,2
12/07/99	25	1,50	0,976	0,028	2,9	0,116	11,9	0,832	85,2
12:35h	10	2,50	0,980	0,028	2,9	0,119	12,1	0,833	85,0
	1	5,00	0,911	0,028	3,1	0,096	10,5	0,787	86,4
Reservatório de Bariri									
	100	0,00	1,111	0,035	3,2	0,412	37,1	0,664	59,7
P1	50	0,50	1,176	0,035	3,0	0,451	38,4	0,690	58,6
04/11/99	25	1,25	1,164	0,037	3,2	0,556	47,8	0,571	49,0
14:00h	10	2,00	1,151	0,035	3,0	0,425	36,9	0,691	60,1
	1	4,25	1,111	0,035	3,2	0,406	36,5	0,670	60,3
Z. Afótica		8,00	1,074	0,039	3,6	0,486	45,3	0,549	51,1
	100	0,00	1,596	0,028	1,8	0,652	40,9	0,916	57,3
P2	41	0,50	1,770	0,032	1,8	0,765	43,2	0,973	55,0
04/11/99	10	1,50	1,610	0,025	1,6	0,714	44,3	0,871	54,1
13:00h	1	3,25	1,499	0,025	1,7	1,067	71,2	0,407	27,1
Z. Afótica		5,0	1,333	0,025	1,9	0,598	44,9	0,710	53,2
	100	0,00	1,785	0,030	1,7	0,731	41,0	1,024	57,3
P3	36	0,50	2,888	0,028	1,0	0,767	26,6	2,093	72,4
04/11/99	10	1,25	1,811	0,025	1,4	0,751	41,5	1,035	57,1
11:30h	1	3,00	1,609	0,028	1,7	0,695	43,2	0,886	55,1
Z. Afótica		4,50	1,431	0,028	2,0	0,575	40,2	0,828	57,8
	100	0,00	2,126	0,044	2,1	0,403	19,0	1,679	78,9
P4	32	0,50	2,300	0,030	1,3	0,417	18,1	1,853	80,6
04/11/99	18	1,00	1,715	0,039	2,3	0,388	22,6	1,288	75,1
10:25h	8	1,50	1,684	0,035	2,1	0,482	28,6	1,167	69,3
	1	3,25	1,486	0,032	2,2	0,394	26,5	1,060	71,3

TABELA 24. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Barra Bonita em novembro/99 (Primeira Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx	
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%
P1 05/11/99 08:50h	100	0,00	1,336	0,037	2,8	0,400	29,9	0,899	67,3
	48	0,50	1,481	0,032	2,2	0,284	19,2	1,165	78,6
	26	1,00	1,341	0,041	3,1	0,243	18,1	1,057	78,8
	12	2,00	1,244	0,044	3,5	0,245	19,7	0,955	76,8
	1	4,00	1,171	0,044	3,8	0,271	23,1	0,856	73,1
Z.Afótica	8,00	1,184	0,032	2,7	0,235	19,8	0,917	77,5	
P2 05/11/99 13:15h	100	0,00	1,785	0,058	3,2	0,884	49,5	0,843	47,3
	9	0,75	3,190	0,064	2,0	0,807	25,3	2,318	72,7
	0,5	2,00	2,608	0,069	2,6	0,904	34,7	1,635	62,7
	Z.Afótica	5,00	2,231	0,062	2,8	0,720	32,3	1,449	64,9
P3 05/11/99 15:30h	100	0,00	3,194	0,101	3,2	0,648	20,3	2,445	76,5
	8	0,75	3,313	0,117	3,5	0,627	18,9	2,569	77,6
	1	1,50	3,098	0,113	3,6	0,668	21,6	2,317	74,8
	Z.Afótica	4,00	2,119	0,127	6,0	0,908	42,9	1,084	51,1

Os pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em que a radiação solar atingiu maior penetração na coluna d'água, apresentaram valores para Kt menores que aqueles obtidos nos pontos cuja penetração da radiação solar foi menor. Para o ponto P2 do reservatório de Três Irmãos e o ponto P1 do reservatório de Nova Avanhandava, a radiação solar atingiu maiores proporções da coluna d'água no período chuvoso e valores para Kt menores quando comparados com o período seco, conforme as figuras 80 A e B e as tabelas 20 e 25.

No primeiro metro do reservatório de Bariri, ponto P4, os valores obtidos para Kt no período seco foi maior que no período chuvoso (tabelas 23 e 29) e ocorreu menor penetração da radiação solar nesta camada de água, contudo ao atingir 3m de profundidade, se observou que Kt passou a apresentar valores menores neste período (seco), cujo valor para a profundidade da zona eufótica em ambos os períodos de observação foi praticamente semelhante, como se observa nas figuras 80 A e B.

TABELA 25. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Três Irmãos em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
P1 24/02/2000 17:30h	100	0,00	0,410	0,005	1,2	0,062	15,1	0,343	83,7
	50	0,75	0,924	0,009	1,0	0,060	6,5	0,855	92,5
	20	1,75	0,920	0,009	1,0	0,054	5,9	0,857	93,1
	9,4	2,50	0,946	0,009	1,0	0,031	3,3	0,906	95,7
	0,6	5,00	0,925	0,007	0,8	0,054	5,8	0,864	93,4
Z.Afótica	23,00	0,540	0,007	1,3	0,038	7,0	0,495	91,7	
P2 24/02/2000 14:40h	100	0,00	0,254	0,012	4,7	0,033	13,0	0,209	82,3
	50	2,00	0,359	0,007	1,9	0,028	7,8	0,324	90,3
	25	3,50	0,396	0,007	1,8	0,037	9,3	0,352	88,9
	10	5,25	0,443	0,009	2,0	0,044	9,9	0,390	88,1
	1	9,75	0,486	0,012	2,5	0,050	10,3	0,424	87,2
Z.Afótica	15,00	0,906	0,007	0,8	0,026	2,9	0,873	96,3	
P3 23/02/2000 15:20h	100	0,00	0,349	0,007	2,0	0,067	19,2	0,275	78,8
	36	1,75	0,382	0,016	4,2	0,055	14,4	0,311	81,4
	10	3,50	0,403	0,014	3,5	0,072	17,9	0,317	78,6
Z.Afótica	4,75	0,490	0,014	2,9	0,102	20,8	0,374	76,3	

Nas duas épocas do ano os valores de K_t aumentaram com a profundidade nos pontos de estudo dos reservatórios, sendo que nos pontos P1 do reservatório de Ibitinga, no período seco (tabela 23) e P1 do de Promissão, período chuvoso (tabela 27), estes valores foram maior na superfície do corpo d'água.

Na maioria dos reservatórios estudados, no período seco o valor de K_t diminuiu na região próxima à profundidade da zona eufótica, enquanto que no período chuvoso este fato ocorreu em menor escala.

Os valores obtidos para o coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e para seus componentes K_w , K_c e K_x podem ser relacionados levando-se em consideração dois aspectos importantes, o primeiro ao se referir ao conjunto dos seis reservatórios como um sistema contínuo em cascata e o segundo, quanto a cada um desses ambientes aquáticos isoladamente.

De uma maneira geral, considerando-se a primeira situação (reservatórios em cascata), no período seco a componente Kw foi a menor contribuição para a atenuação da radiação solar subaquática nos reservatórios, correspondendo a uma parcela em torno de 1% a 7% do Kt obtido (tabelas 20 a 24). Nesta época do ano, a maior contribuição para esta atenuação, na maioria dos casos, foi de Kx, seguido por Kc; já para os pontos P1 a P3 do reservatório de Bariri (tabela 23), Kc apresentou valores superiores aos demais, atingindo parcela de contribuição praticamente igual ou maior que a obtida por Kx, como a 1,25 m do ponto P1 que apresentou 47,8% e 49,0% para contribuição de Kc e Kx respectivamente, e a 3,25 m do ponto P2 em que a absorção da radiação solar subaquática pela clorofila (Kc) atingiu o valor de 71,2%, enquanto que a de Kx foi de 27,1%.

TABELA 26. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Nova Avanhandava em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx		
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	
P1	100	0,00	0,516	0,009	1,7	0,062	12,0	0,445	86,3	
	50	1,50	0,462	0,014	3,0	0,070	15,2	0,378	81,8	
	23/02/2000	27,5	2,50	0,516	0,014	2,7	0,071	13,8	0,431	83,5
	10:30h	10	4,25	0,542	0,012	2,2	0,081	14,9	0,449	82,9
	1	9,00	0,527	0,007	1,3	0,052	9,9	0,468	88,8	
Z.Afótica	20,00	0,625	0,009	1,4	0,050	8,0	0,566	90,6		
P2	100	0,00	0,921	0,016	1,7	0,059	6,4	0,846	91,9	
	43,5	1,00	0,833	0,035	4,2	0,086	10,3	0,712	85,5	
	23/02/2000	25	1,50	0,930	0,023	2,5	0,069	7,4	0,838	90,1
	09:35h	10	2,50	0,888	0,021	2,4	0,082	9,2	0,785	88,4
	1	5,25	0,861	0,032	3,7	0,095	11,0	0,734	85,3	
Z.Afótica	15,0	0,750	0,189	25,2	0,074	9,9	0,487	64,9		

No período chuvoso, para o componente Kw, a parcela de contribuição nos pontos P2 do reservatório de Nova Avanhandava (tabela 26) e

P2 do de Ibitinga (tabela 28), foi de 25,2 % e de 17,1 % respectivamente, na região da zona afótica, e para o reservatório de Promissão, ponto P3 (tabela 27), até 0,5 m e a 1,75 m de profundidade a contribuição dos compostos dissolvidos e da própria água (Kw) foi maior que a de Kc.

TABELA 27. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Promissão em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx	
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%
P1 22/02/2000 10:45h	100	0,00	0,843	0,016	1,9	0,187	22,2	0,640	75,9
	47	1,00	0,693	0,016	2,3	0,167	24,1	0,510	73,6
	24	2,00	0,661	0,014	2,1	0,147	22,2	0,500	75,7
	10	3,50	0,639	0,016	2,5	0,143	22,4	0,480	75,1
	1	7,75	0,594	0,014	2,4	0,127	21,4	0,453	76,2
Z.Afótica	20,00	0,541	0,011	2,0	0,143	26,4	0,387	71,6	
P2 21/02/2000 14:00h	100	0,00	0,843	0,014	1,7	0,154	18,3	0,675	80,0
	55	0,50	1,196	0,032	2,7	0,148	12,4	1,016	84,9
	25	2,00	0,693	0,014	2,0	0,143	20,6	0,536	77,4
	12	3,25	0,652	0,018	2,8	0,144	22,1	0,490	75,1
	1	6,75	0,698	0,021	3,0	0,101	14,5	0,576	82,5
Z.Afótica	15,00	0,848	0,120	14,2	0,088	10,4	0,640	75,4	
P3 21/02/2000 08:50h	100	0,00	1,068	0,145	13,6	0,095	8,9	0,828	77,5
	50	0,50	1,386	0,173	12,5	0,093	6,7	1,120	80,8
	25	1,00	1,386	0,058	4,2	0,101	7,3	1,227	88,5
	10	1,75	1,345	0,235	17,5	0,109	8,1	1,001	74,4
1	3,75	1,242	0,058	4,7	0,098	7,9	1,086	87,4	

No reservatório de Barra Bonita, pontos P2 e P3, para o período de alta precipitação (tabela 30) a fração de contribuição para a atenuação total da radiação solar subaquática correspondente a Kw foi maior que a de Kc em toda a coluna d'água e para os demais reservatórios do sistema, Kw apresentou a menor parcela de contribuição seguida por Kc e a mais preponderante foi a parcela de Kx.

Nas duas épocas do ano, Kx foi a parcela predominante na atenuação da radiação solar subaquática, para os reservatórios de Três Irmãos, Nova Avanhandava, Promissão e Ibitinga, considerando-se os reservatórios individualmente.

Neste contexto, para o reservatório de Três Irmãos, nos pontos P1 e P3, Kw foi maior no inverno (tabela 20), e ligeiramente maior no verão para o ponto P2 (tabela 25). No ponto P1 deste reservatório a contribuição de Kc foi aproximadamente a mesma nos dois períodos de observação e maior no verão nos pontos P2 e P3.

A parcela de contribuição Kw nos pontos P1 e P2 do reservatório de Nova Avanhandava foi maior no período seco, sendo que para P1, esta parcela foi maior a partir de 1,50 m de profundidade (tabela 21). Ainda no ponto P1, a atenuação da radiação solar subaquática foi mais acentuada que a ocorrida no verão (tabela 26). A maior contribuição de Kw ocorreu na zona afótica do ponto P2 (25,2%) no verão, e a contribuição de Kc foi semelhante em ambas estações do ano para a composição de Kt.

TABELA 28. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Ibitinga em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx		
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	
P1 20/02/2000	100	0,00	1,273	0,037	2,9	0,141	11,1	1,095	86,0	
	47	0,50	1,508	0,051	3,4	0,140	9,3	1,317	87,3	
	24	1,25	1,158	0,048	4,2	0,109	9,4	1,001	86,4	
	11:10h	10	2,50	0,898	0,037	4,1	0,097	10,8	0,764	85,1
	1	5,00	0,910	0,037	4,1	0,116	12,7	0,757	83,2	
	Z.Afótica	10,00	1,255	0,051	4,1	0,103	8,2	1,101	87,7	
P2 20/02/2000	100	0,00	2,301	0,223	9,7	0,088	3,8	1,990	86,5	
	50	0,25	2,773	0,244	8,8	0,220	7,9	2,309	83,3	
	20	0,50	3,219	0,212	6,6	0,196	6,1	2,811	87,3	
	09:40h	8	1,00	2,526	0,233	9,2	0,249	9,9	2,044	80,9
	Z.Afótica	10,00	1,202	0,205	17,1	0,206	17,1	0,791	65,8	

TABELA 29. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Bariri em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx	
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%
P1 19/02/2000 09:40h	100	0,00	1,006	0,067	6,7	0,164	16,3	0,775	77,0
	50	0,50	1,212	0,055	4,5	0,141	11,6	1,016	83,9
	25	1,00	1,299	0,076	5,9	0,110	8,5	1,113	85,6
	10	1,75	1,316	0,060	4,6	0,128	9,7	1,128	85,7
	1	4,00	1,185	0,053	4,5	0,135	11,4	0,0997	84,1
Z. Afótica	8,00	1,022	0,062	6,1	0,108	10,6	0,852	83,3	
P2 19/02/2000 17:15h	100	0,00	1,869	0,062	3,3	0,259	13,9	1,548	82,8
	25	0,75	1,848	0,060	3,2	0,286	15,5	1,502	81,3
	10	1,25	1,912	0,058	3,0	0,284	14,9	1,570	82,1
	0,7	2,5	2,004	0,058	2,9	0,322	16,1	1,624	81,0
P3 19/02/2000 17:55h	100	0,00	1,897	0,046	2,4	0,108	5,7	1,743	91,9
	56	0,25	2,194	0,051	2,3	0,167	7,6	1,976	90,1
	31	0,50	2,335	0,055	2,4	0,159	6,8	2,121	90,8
	10	1,00	2,303	0,044	1,9	0,157	6,8	2,102	91,3
	0,8	2,50	1,943	0,051	2,6	0,144	7,4	1,748	90,0
Z. Afótica	10,00	0,910	0,046	5,1	0,101	11,1	0,763	83,8	
P4 19/02/2000 15:15h	100	0,00	1,273	0,053	4,2	0,084	6,6	1,136	89,2
	49,3	0,50	1,410	0,046	3,3	0,132	9,4	1,232	87,3
	23,5	1,00	1,447	0,048	3,3	-	-	-	-
	11,8	1,50	1,427	0,053	3,7	0,136	9,5	1,238	86,8
	0,8	3,00	1,624	0,069	4,2	0,102	6,3	1,453	89,5

Nos pontos P1 e P2 do reservatório de Promissão, a fração constituinte de Kw foi maior no inverno (período seco), enquanto que a de Kc foi maior no verão (período chuvoso). No ponto P3, Kt foi maior no inverno (período seco), cujos valores apresentaram-se bem maiores que nos outros dois pontos de estudo no primeiro metro de profundidade (tabela 22). O percentual de contribuição Kw, no ponto P3, ficou entre 4,2% e 17,5% no período chuvoso (tabela 27).

Para o reservatório de Ibitinga, no ponto P1, a fração de contribuição Kw foi maior no verão (tabela 23 e tabela 29) e Kc praticamente manteve a proporção de participação na atenuação da radiação solar subaquática nas duas

épocas do ano. No período chuvoso, para o ponto P2 deste reservatório, a contribuição de Kx foi preponderante, enquanto que Kw e Kc contribuíram de forma semelhante para Kt.

Nos pontos do reservatório de Bariri, as parcelas de contribuição Kw e Kc foram respectivamente maiores no verão (tabela 29) e no inverno (tabela 23), cujos valores para Kc, no inverno, ficou aproximadamente entre 38% e 45% nos pontos P1, P2 e P3, constituindo assim as maiores contribuições da clorofila total para a atenuação da radiação solar subaquática de todos os reservatórios estudados e a fração de Kx em torno de 50% e 60%, representando assim as menores contribuições devido ao material em suspensão contido na água de todos os reservatórios então estudados (tabela 23). A 3,25 m de profundidade do ponto P2 deste mesmo reservatório foi registrado a maior fração de contribuição da clorofila total em 71,2% e a menor para Kx em 27,1% de todo o estudo realizado para os reservatórios.

TABELA 30. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Barra Bonita em fevereiro/2000 (Segunda Coleta Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx		
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	
P1 18/02/2000	100	0,00	1,504	0,035	2,3	0,246	16,4	1,223	81,3	
	50	0,50	1,330	0,035	2,6	0,262	19,7	1,033	77,7	
	10	1,75	1,324	0,044	3,3	0,258	19,5	1,022	77,2	
	16:40h	1	4,00	1,182	0,035	3,0	0,181	15,3	0,966	81,7
	Z. Afótica	10,00	1,006	0,037	3,7	0,285	28,3	0,684	68,0	
P2 18/02/2000	100	0,00	2,011	0,230	11,4	0,142	7,1	1,639	81,5	
	10	0,75	2,930	0,241	8,2	0,117	4,0	2,572	87,8	
	12:40h	1	1,75	2,699	0,244	9,0	0,063	2,3	2,392	88,7
	Z.Afótica	5,00	1,960	0,255	13,0	0,187	9,5	1,518	77,5	
P3 18/02/2000	100	0,0	3,294	0,670	20,3	0,068	2,1	2,556	77,6	
	09:25h	Z.Afótica	2,00	4,494	0,693	15,4	0,085	1,9	3,716	82,7

Nas duas épocas do ano as parcelas de contribuição K_w e K_c não mostraram diferenciações representativas no ponto P1 do reservatório de Barra Bonita, enquanto que para os pontos P2 e P3 o primeiro componente foi maior no verão (período chuvoso) e o segundo no inverno (período seco), análogo aos resultados obtidos no reservatório de Bariri. Na superfície do ponto P2 do reservatório de Barra Bonita (tabela 24) no período seco, a fração de clorofila total (K_c) para a atenuação da radiação solar subaquática foi ligeiramente maior em relação à correspondente ao de material em suspensão (K_x), cujos valores foram respectivamente 49,5% e 47,3%.

Tanto para o reservatório de Bariri como para o de Barra Bonita, nos pontos analisados, a parcela de maior contribuição para a atenuação da radiação solar subaquática foi K_x , devido ao material em suspensão contido na água, embora com percentuais menores no período seco do que no chuvoso.

Analogamente aos pontos dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, nos pontos estudados para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce em que ocorreu menor penetração da radiação solar, os valores de K_t foram maiores comparados com os obtidos nos pontos cuja penetração da radiação solar foi maior, como ocorreu para as lagoas Aguapé, Águas Claras e Aníbal na estação seca (tabelas 31 e 33; figuras 66 A e B), no entanto na coluna d'água para a lagoa Carioca, os valores de K_t foram muito semelhantes nos dois períodos de observação e a profundidade da zona eufótica foi praticamente a mesma.

Até 0,5 m de profundidade das lagoas Verde e Ferrugem, os valores de K_t foram maiores no verão, período chuvoso (tabelas 32 e 34) e ocorreu menor penetração da radiação solar nesta camada de água. Para maiores profundidades, os valores de K_t não foram muito diferentes em ambas as estações do ano, ocorrendo assim penetração da radiação solar de modo similar para o restante da coluna d'água. Situação semelhante ocorreu com o lago D. Helvécio no verão, em que nos dois primeiros metros de profundidade, K_t foi maior e a penetração da radiação solar, menor. Após esta profundidade os valores de K_t foram reduzidos no verão e aumentados no inverno, cujo resultado final foi a profundidade da zona eufótica maior no verão (figuras 66 A e B).

RESULTADOS

TABELA 31. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para os lagos D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal e Águas Claras em agosto/99 (Primeira Coleta Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
D. Helvécio – P1 09/08/99 – 14:45h	100	0,00	0,457	0,016	3,5	0,00	0,0	0,441	96,5
	50	1,75	0,232	0,007	3,0	0,014	6,0	0,211	91,0
	33	2,25	0,195	0,007	3,6	0,009	4,6	0,179	91,8
	25	3,75	0,293	0,007	2,4	0,027	9,2	0,259	88,4
	10	5,50	0,366	0,007	1,9	0,036	9,8	0,323	88,3
	1	8,75	0,407	0,007	1,7	0,063	15,5	0,337	82,8
Carioca – P1 10/08/99 –	100	0,00	1,057	0,021	2,0	-	-	-	-
	50	0,50	1,257	0,016	1,3	0,117	9,3	1,124	89,4
	25	1,50	1,073	0,016	1,5	-	-	-	-
	10	2,50	0,965	0,016	1,7	0,018	1,9	0,931	96,4
Aguapé – P1 10/08/99 - 13:10h	100	0,00	0,878	0,023	2,6	0,854	97,3	0,001	0,1
	35	1,00	1,059	0,016	1,5	0,342	32,3	0,701	66,2
	23	1,50	0,992	0,018	1,8	0,437	44,1	0,537	54,1
	23	2,00	1,037	0,014	1,4	0,108	10,4	0,915	88,2
	3	3,25	1,057	0,018	1,7	1,004	94,9	0,035	3,4
Aníbal – P3 11/08/99 – 11:10h	100	0,00	0,816	0,041	5,0	0,445	54,5	0,330	40,5
	50	1,00	0,678	0,058	8,6	0,301	44,4	0,319	47,0
	25	2,00	0,686	0,014	2,0	0,054	7,9	0,618	90,1
	10	3,25	0,713	0,035	4,9	0,162	22,7	0,516	72,4
	1	6,75	0,687	0,014	2,0	-	-	-	-
Águas Claras – P1 11/08/99 – 16:30h	100	0,00	0,306	0,014	4,6	0,216	70,6	0,076	24,8
	63	0,50	0,940	0,014	1,5	0,204	21,7	0,722	76,8
	28	1,00	1,273	0,014	1,1	0,210	16,5	1,049	82,4
	16,5	1,50	1,201	0,012	1,0	-	-	-	-
	10	2,00	1,177	0,041	3,5	-	-	-	-
	1	4,50	1,023	0,044	4,3	0,246	24,0	0,734	71,7

No verão, a maioria dos lagos estudados, apresentou Kt diminuindo com a profundidade (tabelas 33 e 34). No inverno, na maior parte da coluna d'água para as lagoas Águas Claras, Amarela, Carvão com Azeite, Ferrugem e Verde (tabelas 31 e 32), apresentou os valores de Kt aumentando com a profundidade, já para as lagoas Carioca, Aguapé e Aníbal (tabela 31) estes valores oscilaram entre aumentar e diminuir com a profundidade.

TABELA 32. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para os lagos Carvão com Azeite, Amarela, Ferrugem e Verde em agosto/99 (Primeira Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx		
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	
Amarela – P1	100	0,00	0,976	0,163	16,7	0,198	20,3	0,615	63,0	
	41	0,50	1,806	0,170	9,4	0,230	12,7	1,406	77,9	
	10	1,25	1,842	0,173	9,4	0,085	4,6	1,584	86,0	
	1,4	2,00	2,152	0,143	6,6	0,234	10,9	1,775	82,5	
Carvão c/ Azeite	Centro	100	0,00	5,380	0,156	2,9	2,353	43,7	2,871	53,4
		2,1	0,50	7,742	0,120	1,5	-	-	-	-
	Z.Afótica	2,00	3,545	-	-	-	-	-	-	-
Ferrugem	Centro	100	0,00	1,014	0,060	6,0	-	-	-	-
		55	0,50	1,204	0,030	2,5	-	-	-	-
		24	1,00	1,435	0,032	2,2	1,356	94,5	0,047	3,3
		11	1,50	1,474	0,030	2,0	1,087	73,7	0,357	24,3
Verde – P3 13/08/99 –		100	0,00	0,775	0,051	6,6	0,052	6,7	0,672	86,7
		54	1,00	0,619	0,028	4,5	-	-	-	-
		24	2,25	0,637	0,032	5,0	-	-	-	-
		11	3,50	0,641	0,028	4,4	0,074	11,5	0,539	84,1

TABELA 33. Coeficiente de atenuação total da radiação solar Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para os lagos D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal e Águas Claras em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx	
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%
D. Helvécio – P1 04/02/00 – 09:00h	100	0,00	1,605	0,083	5,2	0,077	4,8	1,445	90,0
	53	1,00	0,872	0,081	9,3	0,173	19,8	0,618	70,9
	21	2,75	0,585	0,055	9,4	0,049	8,4	0,481	82,2
	10	4,50	0,516	0,021	4,1	-	-	-	-
	1	9,25	0,487	0,039	8,0	0,165	33,8	0,283	58,2
Carioca – P1 06/02/00 – 15:20h	100	0,00	1,085	0,032	2,9	-	-	-	-
	57	0,50	1,134	0,025	2,2	0,203	17,9	0,906	79,9
	26	1,25	1,074	0,048	4,5	0,186	17,3	0,840	78,2
	9,6	2,75	0,854	0,039	4,6	0,177	20,7	0,638	74,7
	0,7	5,25	0,953	0,023	2,4	0,452	47,3	0,478	50,2
Aguapé – P1 06/02/00 - 11:25h	100	0,00	1,157	0,028	2,4	0,084	7,3	1,045	90,3
	46	0,75	1,031	0,030	2,9	0,182	17,7	0,819	79,4
	23	1,50	0,978	0,030	3,1	0,245	25,1	0,703	71,8
	10	2,50	0,891	0,041	4,6	0,266	29,9	0,584	65,5
	1	4,00	0,978	0,025	2,6	0,415	42,4	0,538	55,0
Aníbal – P3 05/02/00 – 10:40h	100	0,00	0,658	0,016	2,4	0,226	34,4	0,416	63,2
	47	1,25	0,598	0,018	3,0	0,112	18,7	0,468	78,3
	22	2,75	0,545	0,014	2,6	0,123	22,6	0,408	74,8
	10	4,25	0,555	0,016	2,9	0,134	24,1	0,405	73,0
	1	8,00	0,586	0,021	3,6	0,246	42,0	0,319	54,4
Águas Claras – P1	100	0,00	1,139	0,023	2,0	0,375	32,9	0,741	65,1
	49	1,00	0,714	0,021	2,9	0,618	86,6	0,075	10,5
	23	2,75	0,530	0,025	4,7	0,209	39,4	0,296	55,9
	9,4	4,50	0,526	0,018	3,4	0,184	35,0	0,324	61,6
	0,7	7,25	0,686	0,025	3,6	0,334	48,7	0,327	47,7

No verão, período de alta precipitação, a atenuação da radiação solar ao penetrar a coluna d'água, deveu-se em grande parte ao material em suspensão contido na água para a maioria dos lagos estudados, correspondendo a alta percentagem de contribuição do componente Kx. A 1,0 m de profundidade na

lagoa Águas Claras, nesta estação do ano, o componente Kc, devido a clorofila total existente na água, apresentou 86,6% de contribuição a esta atenuação, restando 10,5% para Kx e 2,9% para Kw (tabela 33). No restante da coluna d'água, a fração de contribuição de Kc e Kx ficou entre 35,0% e 48,7% e de 47,7% a 61,6% respectivamente.

Para o inverno (período seco), a predominância de Kx sobre os demais componentes foi observado nos lagos D. Helvécio, Carioca, Amarela, Verde e a partir de 0,5 m para a lagoa Águas Claras (tabela 31).

Os lagos D. Helvécio e Carioca apresentaram maior contribuição de Kw e Kc no verão, embora a parcela de contribuição de Kx tenha sido a maior em ambas as estações do ano. A fração de contribuição devido aos compostos dissolvidos na água e da própria água (Kw) para a atenuação da radiação solar ao penetrar na lagoa Aguapé foi maior no verão e Kc apresentou contribuição aumentando com a profundidade na faixa de 7,3% a 42,4% da totalidade da atenuação ocorrida (tabela 33). Para esta mesma lagoa no inverno, período seco, foi observado aumento na parcela Kc, mais evidente na superfície e a 3,25 m, perfazendo um percentual de 97,3% e de 94,9% respectivamente (tabela 31). Na maioria das demais profundidades seus valores foram superiores aos obtidos na outra estação do ano.

Na estação seca (inverno), a parcela de contribuição devido a clorofila existente na água (Kc) superou a de Kx, nos lagos Aguapé (a 0,0 m e a 3,25 m), Aníbal (a 0,0 m), Águas Claras (a 0,0 m) e Ferrugem (a 1,0 m e a 1,50 m).

TABELA 34. Coeficiente de atenuação total da radiação solar K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para os lagos Ferrugem, Amarela e Verde em fevereiro/2000 (Segunda Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
Amarela – P1 09/02/00 - 11:00h 08:55h	100	0,00	2,169	0,085	3,9	0,465	21,4	1,619	74,7
	53	0,25	2,577	0,094	3,6	0,453	17,6	2,030	78,8
	21	0,50	3,098	0,094	3,0	0,523	16,9	2,481	80,1
	10	0,75	3,104	0,090	2,9	0,476	15,3	2,538	81,8
	1	1,50	3,122	0,106	3,4	0,379	12,1	2,637	84,5
Ferrugem Centro 09/02/00 - 14:00h	100	0,00	1,891	0,025	1,3	0,563	29,8	1,303	68,9
	42	0,50	1,755	0,030	1,7	0,385	21,9	1,340	76,4
	21	1,00	1,583	0,023	1,5	0,862	54,5	0,698	44,0
	11	1,50	1,501	0,032	2,1	0,727	48,4	0,742	49,5
	3	2,50	1,403	0,035	2,5	0,513	36,6	0,855	60,9
Verde – P3 09/02/00 - 16:45h	100	0,00	1,785	0,014	0,8	0,271	15,2	1,500	84,0
	54	0,50	1,247	0,016	1,3	0,366	29,3	0,865	69,4
	29	2,00	0,622	0,014	2,3	0,278	44,7	0,330	53,0
	10	4,00	0,586	0,016	2,7	0,226	38,6	0,344	58,7
	1	7,50	0,609	0,012	2,0	0,248	40,7	0,349	57,3

6.3.5 Perfil da Radiação Fotossinteticamente Ativa (R.F.A)

O fluxo da radiação solar incidente sobre a superfície de um corpo d'água, está sujeito aos processos de absorção e de espalhamento, em decorrência disto, a irradiância do campo de radiação solar diminui exponencialmente com a profundidade desse ambiente aquático.

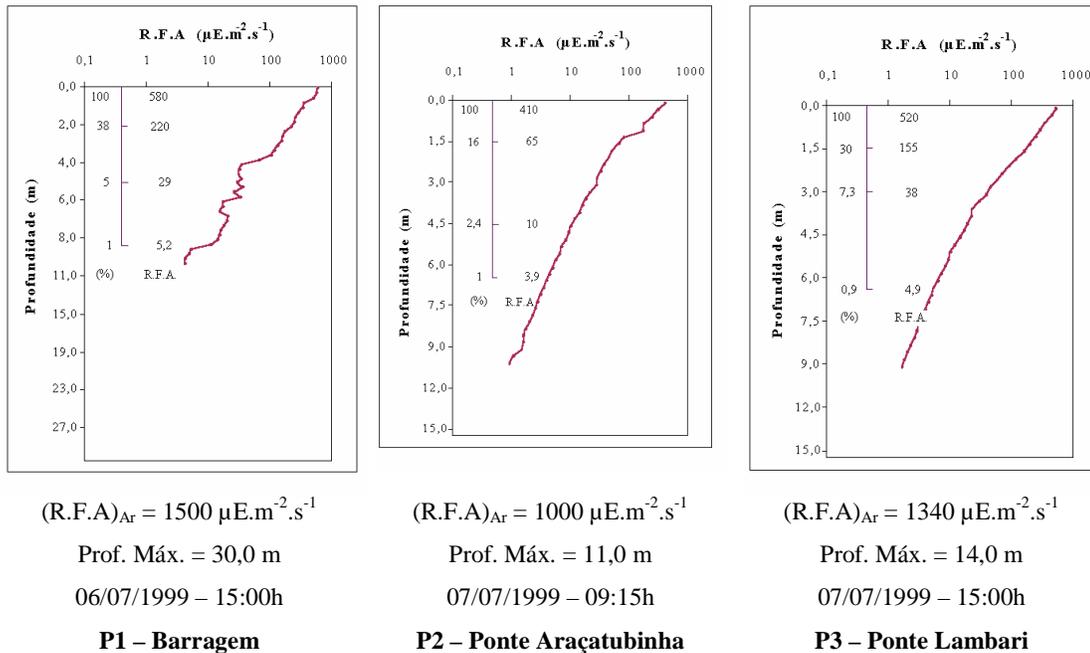
É apresentado, sob a forma de gráficos, como ocorreu a penetração da radiação solar relacionando o logaritmo da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) com a profundidade dos reservatórios de Baixo e Médio Tietê e dos lagos citados do sistema de lagos do Vale do rio Doce, em duas épocas do ano diferenciadas já mencionadas anteriormente. Tais gráficos indicam não somente o percentual de penetração da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) como também o seu valor (em $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) nas profundidades em que este percentual ocorreu. O perfil da radiação fotossinteticamente ativa nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê está ilustrado nas figuras 84 a 87 para o período seco e 91 a 94 para o período chuvoso; para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce esta representação se encontra nas figuras 98 e 99 para o inverno e 101 e 102 no verão.

A radiação solar foi fortemente atenuada desde a superfície do meio aquático, na maioria dos pontos, cuja representação está ilustrada através de gráficos que indicam os valores, em percentagem, da radiação solar que atingiu a superfície aquática e aquela em que correspondeu à radiação solar atenuada na interface ar-água, uma vez medida a radiação solar no ar. As figuras 88 a 90 e 95 a 97 mostram a comparação entre estes percentuais nas épocas de inverno e verão respectivamente para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê e as figuras 100 (inverno) e 103 (verão) para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce.

A curva obtida para o perfil da radiação fotossinteticamente ativa, representada em escala logarítmica, é aproximadamente linear na maioria dos estudos realizados. No período seco para os reservatórios de Três Irmãos (figura 84) e de Nova Avanhandava (figura 85) foi observada variação na inclinação da curva em várias profundidades, dada a presença de nuvens encobrendo o Sol em grande parte do período em que foram efetuadas as medidas de radiação solar subaquática, em dado momento aumentando de valor, em outro diminuindo, o que pode ser constatado com mais evidência nos pontos P1 do reservatório de Três Irmãos, entre 4,0 m 8,0 m de profundidade; de 0,75 m a 1,5 m do ponto P2 do mesmo reservatório (figura 84) e no primeiro metro do

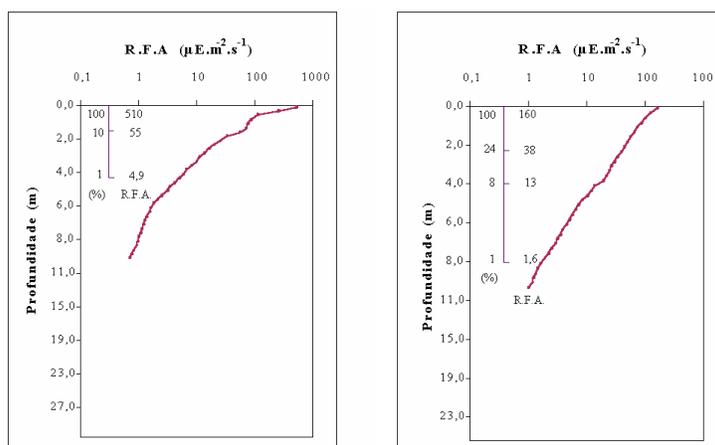
ponto P1 do reservatório de Nova Avanhandava (figura 85), muito embora o relativo comportamento linear se estabeleça. Para o ponto P3 do reservatório de Três Irmãos, mesmo sem o aparecimento de nuvens encobrendo o Sol, foi observada alteração na inclinação da curva entre as profundidades de 3,0 m e 3,5 m, região do reservatório que apresentou maior percentual do componente Kw (tabela 21) em relação aos outros dois pontos estudados.

◉ **Reservatórios do Médio e Baixo Tietê – Primeira Coleta (Período Seco)**



Reservatório de Três Irmãos

FIGURA 84. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.



$(R.F.A.)_{Ar} = 1450 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 30,0 m

08/07/1999 – 09:40h

P1 -Barragem

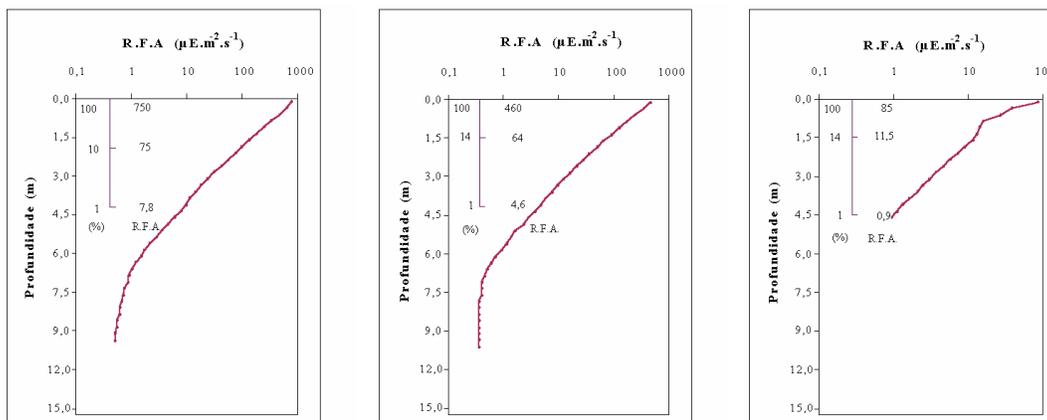
$(R.F.A.)_{Ar} = 450 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 23,0 m

08/07/1999 – 15:00h

P2 – rio Santa Bárbara

Reservatório de Nova Avanhandava



$(R.F.A.)_{Ar} = 1400 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 13,0 m

11/07/1999 – 10:50h

P1 – Barragem

$(R.F.A.)_{Ar} = 1250 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 13,0 m

11/07/1999 – 15:35h

P2 – Sabino

$(R.F.A.)_{Ar} = 410 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 5,0 m (1% de RFA)

12/07/1999 – 17:10h

P3 – rio Tietê

Reservatório de Promissão

FIGURA 85. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em julho de 1999, período seco.

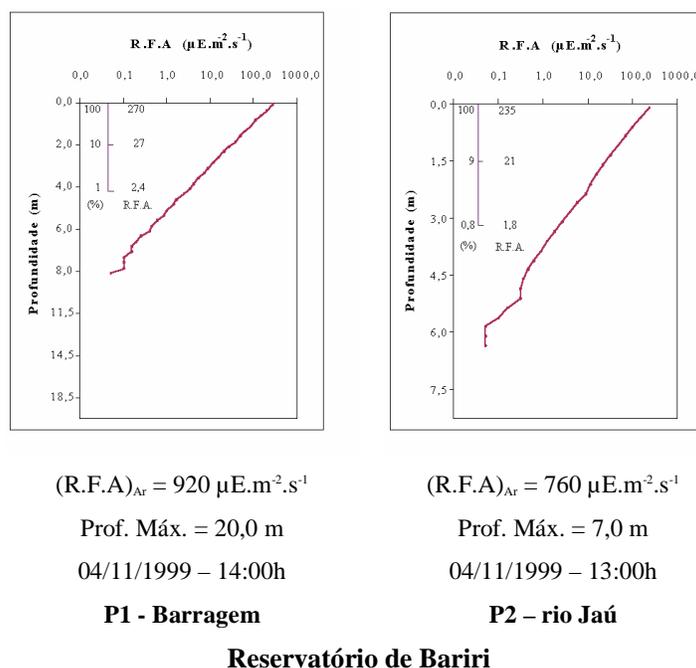
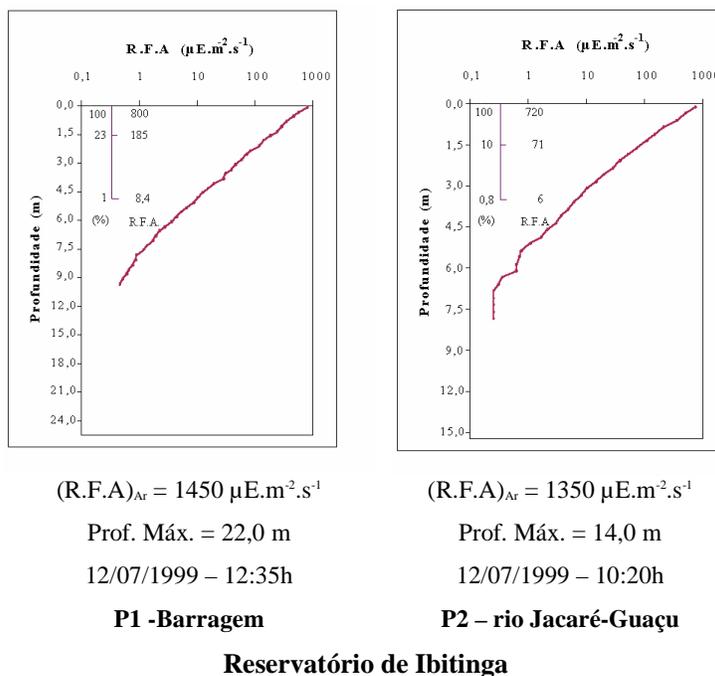
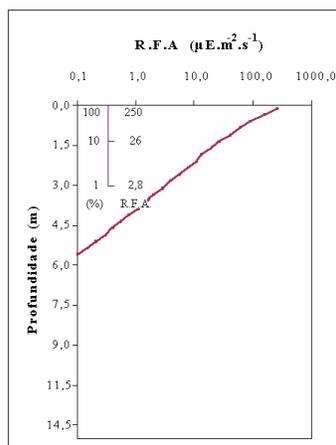


FIGURA 86. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada respectivamente em julho e novembro de 1999, período seco.

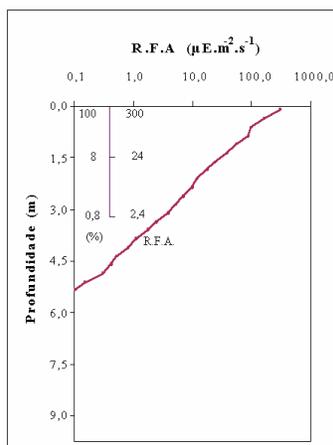


$(R.F.A.)_{Ar} = 730 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 14,0 m

04/11/1999 – 11:30h

P3 - Itapuí



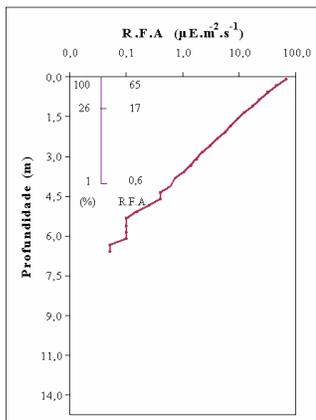
$(R.F.A.)_{Ar} = 1200 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 8,0 m

04/11/1999 – 10:25h

P4 – rio Bauru

Reservatório de Bariri

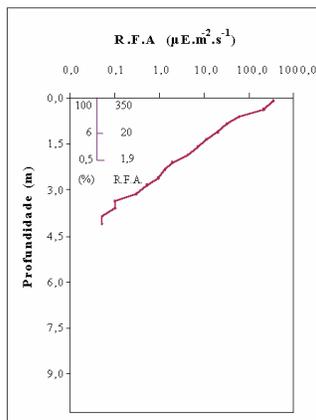


$(R.F.A.)_{Ar} = 205 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 15,0 m

05/11/1999 – 08:50h

P1 – Barragem

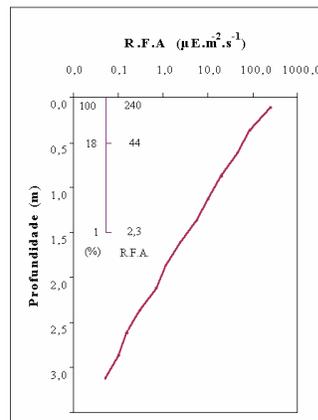


$(R.F.A.)_{Ar} = 1200 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 10,0 m

05/11/1999 – 13:15h

P2 – rio Tietê



$(R.F.A.)_{Ar} = 710 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 5,0 m

05/11/1999 – 15:30h

P3 – rio Piracicaba

Reservatório de Barra Bonita

FIGURA 87. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em novembro de 1999, período seco.

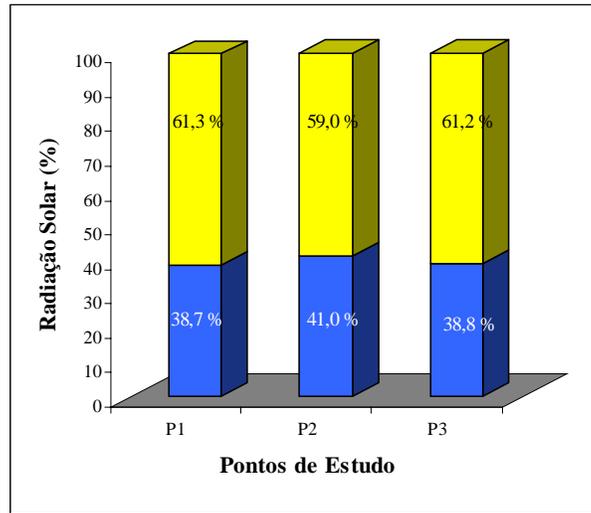
Nos pontos de estudo dos reservatórios de Promissão e de Ibitinga, no inverno, a curva do perfil da radiação fotossinteticamente ativa apresentou-se aproximadamente linear nas proximidades da região compreendida pela zona eufótica (figuras 85 e 86). Em torno da profundidade de 1,5 m no ponto P3 do reservatório de Promissão ocorreu alteração na inclinação da curva apresentada, região em que houve diminuição da concentração de matéria orgânica e de clorofila (figura 69). Tal alteração também ocorreu no ponto P2 do reservatório de Ibitinga onde se verificou estratificação química de oxigênio dissolvido e de condutividade da água (figura 58).

Ainda no período seco (inverno), para os pontos P2 (figura 86) e P4 (figura 87) do reservatório de Bariri a modificação na inclinação da curva do perfil de radiação fotossinteticamente ativa aconteceu na região em que ocorreu estratificação química de oxigênio dissolvido e de condutividade da água, nas proximidades de 4,0 m para P2 (figura 58) e no primeiro metro de P4 (figura 59). Nos reservatórios de Bariri e de Barra Bonita a linearidade da curva foi mais evidente na região correspondente à profundidade da zona eufótica, com alteração de sua inclinação na superfície para o ponto P2 do reservatório de Barra Bonita (figura 87), em que ocorreu aumento na concentração de clorofila total (figura 71) e a parcela contribuição do componente K_c foi maior em praticamente toda a coluna d'água (tabela 24), comparando-se os três pontos de estudo deste reservatório.

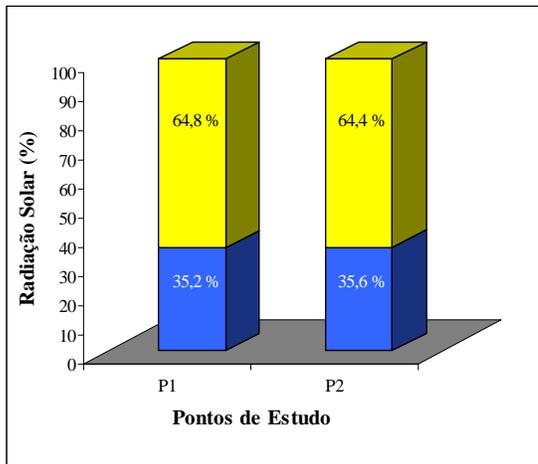
Os reservatórios de Promissão e de Bariri nos respectivos pontos de estudo P3 e P4 apresentaram, no inverno, a maior atenuação da radiação solar ao passar do ar para a superfície aquática atingindo a mesma apenas 20,7% e 25,0% respectivamente da radiação solar medida no ar; e a menor redução ocorreu no ponto P1 do reservatório de Ibitinga com a penetração de 44,8 % desta, como mostram as figuras 88 e 89.

O percentual de atenuação da radiação solar ocorrida na superfície aquática do reservatório de Três Irmãos foi semelhante nos três pontos (figura 88), com valores praticamente idênticos nos pontos P1 e P3, porém estes pontos

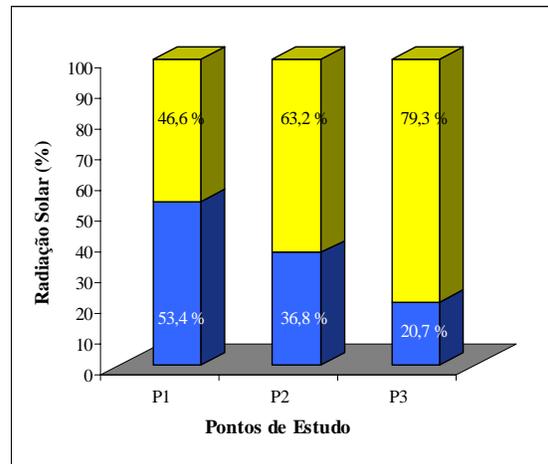
foram analisados em dias diferentes, no mesmo horário e com valores de radiação solar no ar relativamente próximos (figura 84), muito embora os valores para Kt foram bem diferentes na superfície em ambos os pontos (tabela 20).



Reservatório de Três Irmãos



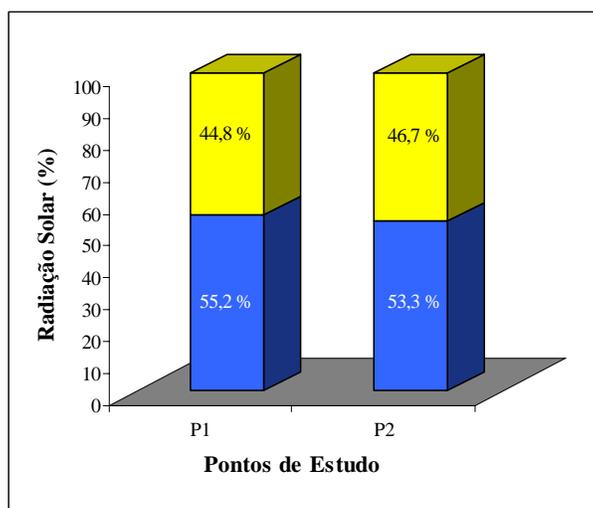
Reservatório de Nova Avanhandava



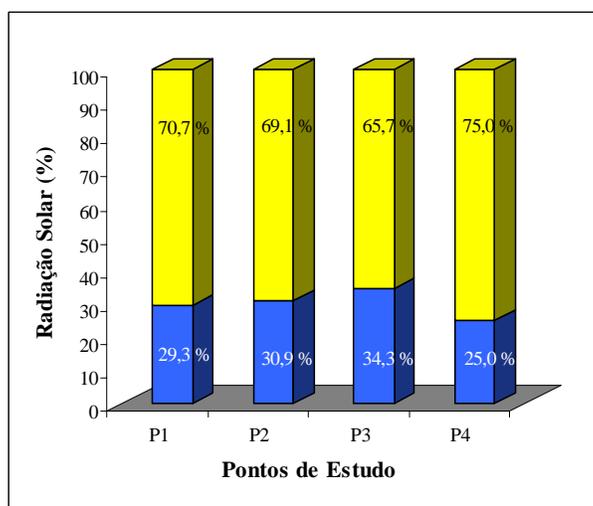
Reservatório de Promissão

Legenda: ■ Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
■ Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 88. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Três Irmãos, Nova Avanhandava e de Promissão em julho/1999, período seco.



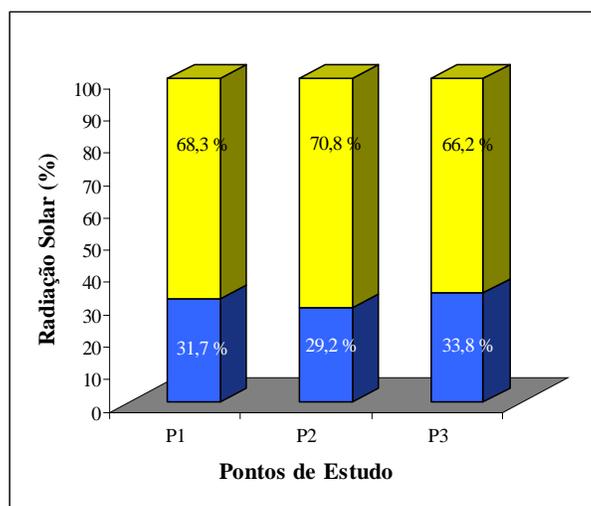
Reservatório de Ibitinga



Reservatório de Bariri

- Legenda:
- Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
 - Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 89. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Ibitinga e de Bariri em respectivamente julho e novembro/1999, período seco.



Reservatório de Barra Bonita

Legenda: ■ Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
■ Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 90. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em novembro/99, período seco.

Situação análoga ao reservatório de Três Irmãos ocorreu nos reservatórios de Nova Avanhandava e de Barra Bonita, como ilustram as figuras 88 e 90 respectivamente. Em cada um dos reservatórios, o dia de estudo foi o mesmo e os horários diferentes nos pontos estudados, como também foram diferentes a radiação solar no ar e o valor de Kt na superfície desses pontos, conforme as tabelas 21 para o reservatório de Nova Avanhandava e 24 para o de Barra Bonita. Para os pontos no reservatório de Promissão, a atenuação da radiação solar ao atravessar a interface ar-água (figura 88), foi aumentando com o aumento de Kt na superfície de cada um deles (tabela 22), sendo diferentes o dia de estudo, horário e valor da radiação solar no ar (figura 85).

☉ *Reservatórios do Médio e Baixo Tietê – Segunda Coleta (Período Chuvoso)*

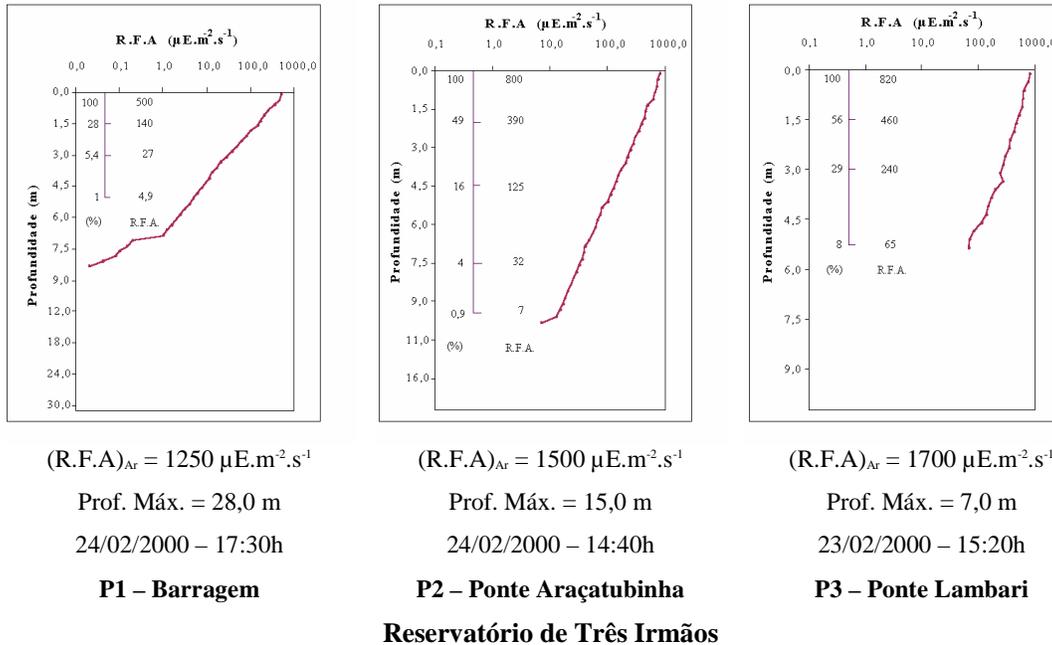
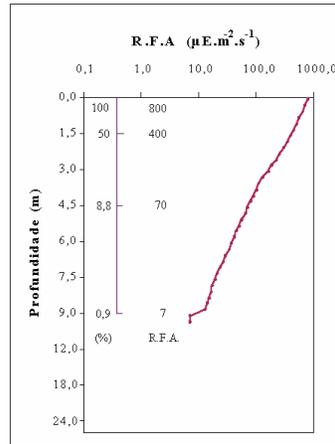


FIGURA 91. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para o reservatório de Três Irmãos nos pontos de coleta realizada respectivamente em fevereiro de 2000, período chuvoso.

O perfil da radiação fotossinteticamente ativa apresentou linearidade, principalmente na região correspondente à profundidade da zona eufótica, para a maioria dos pontos, no período chuvoso (verão). No ponto P3 do reservatório de Três Irmãos (figura 91) a alteração na inclinação da curva ocorreu nas proximidades dos 3,5 m, com a ocorrência de aumento de concentração de clorofila total (figura 72) e aumento do valor do componente Kc (tabela 25) nesta profundidade. Esta alteração na inclinação da curva foi apresentada no ponto P2 do reservatório de Promissão na superfície e próximo a 3,25 m de profundidade (figura 72), onde os valores de concentração de matéria orgânica foram menores a 0,0 m e nas proximidades dos 3,25 m os valores de concentração de clorofila total (figura 73) e o percentual de contribuição de Kc (tabela 27) aumentaram.

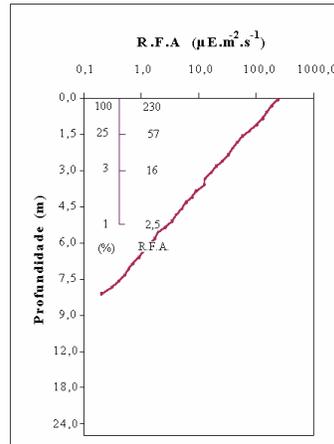


$(R.F.A.)_{Ar} = 1600 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 21,0 m

23/02/2000 – 10:30h

P1 - Barragem



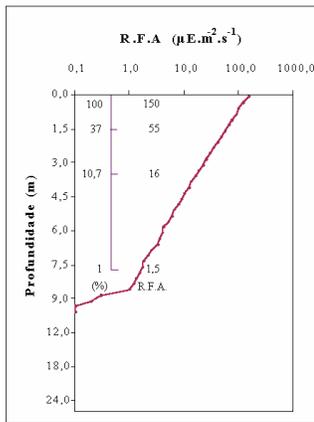
$(R.F.A.)_{Ar} = 520 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 20,0 m

23/02/2000 – 09:35h

P2 – rio Santa Bárbara

Reservatório de Nova Avanhandava

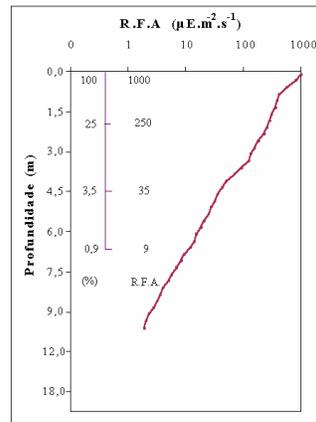


$(R.F.A.)_{Ar} = 440 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 23,0 m

22/02/2000 – 10:45h

P1 – Barragem

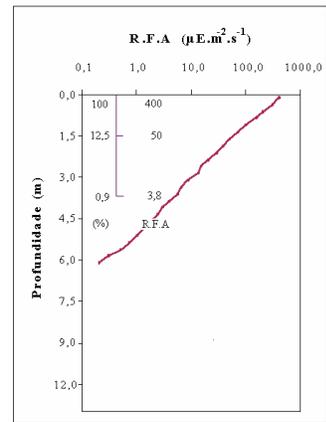


$(R.F.A.)_{Ar} = 1300 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 18,0 m

21/02/2000 – 14:00h

P2 – Sabino



$(R.F.A.)_{Ar} = 1000 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

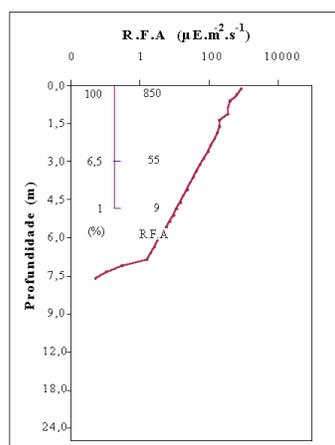
Prof. Máx. = 6,0 m

21/02/2000 – 08:50h

P3 – rio Tietê

Reservatório de Promissão

FIGURA 92. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica, para os reservatórios de Nova Avanhandava e Promissão nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

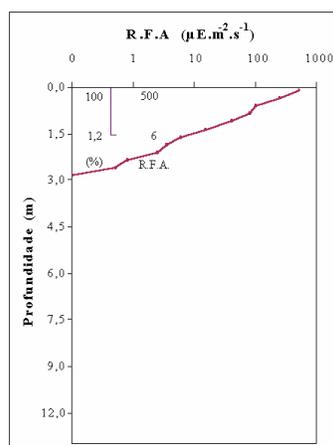


$(R.F.A.)_{Ar} = 1500 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 21,0 m

20/02/2000 – 11:10h

P1 - Barragem



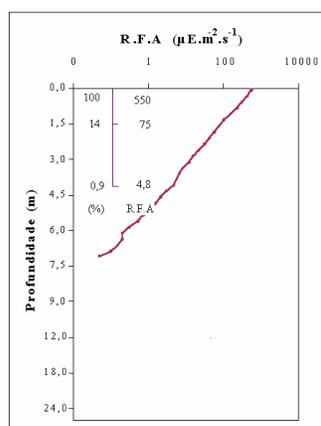
$(R.F.A.)_{Ar} = 1300 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 13,0 m

20/02/2000 – 09:40h

P2 – rio Jacaré-Guaçu

Reservatório de Ibitinga

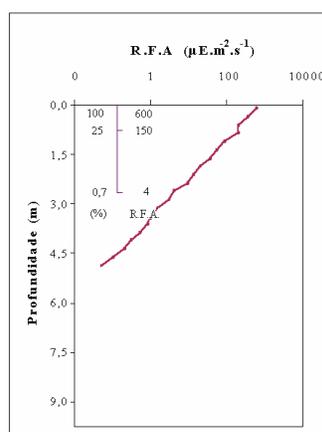


$(R.F.A.)_{Ar} = 1400 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 21,0 m

19/02/2000 – 09:40h

P1 - Barragem



$(R.F.A.)_{Ar} = 1300 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

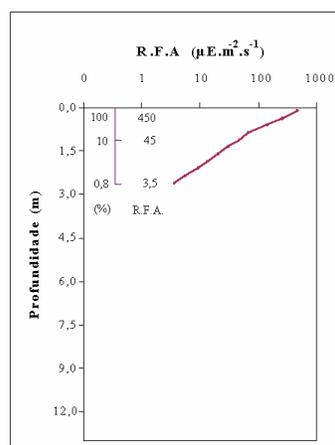
Prof. Máx. = 8,0 m

19/02/2000 – 17:15h

P2 – rio Jaú

Reservatório de Bariri

FIGURA 93. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica, para os reservatórios de Ibitinga e Bariri nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

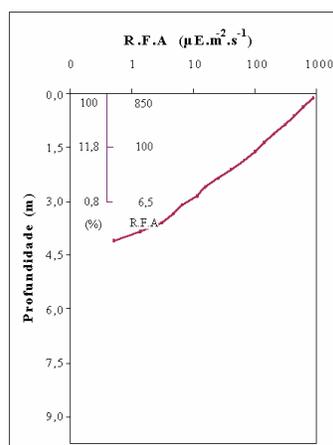


$(R.F.A.)_{Ar} = 1400 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 14,0 m

19/02/2000 – 17:55h

P3 - Itapuí



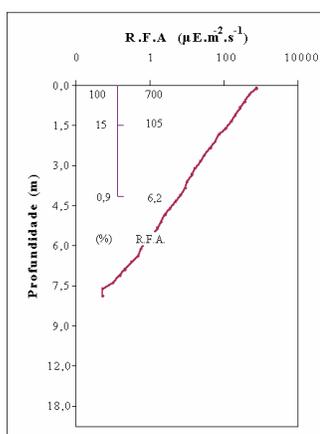
$(R.F.A.)_{Ar} = 1400 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 8,0 m

19/02/2000 – 15:15h

P4 – rio Bauru

Reservatório de Bariri

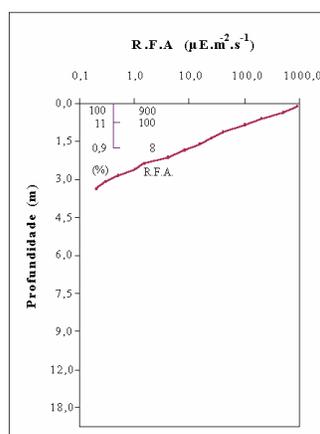


$(R.F.A.)_{Ar} = 1550 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 20,0 m

18/02/2000 – 16:40h

P1 – Barragem

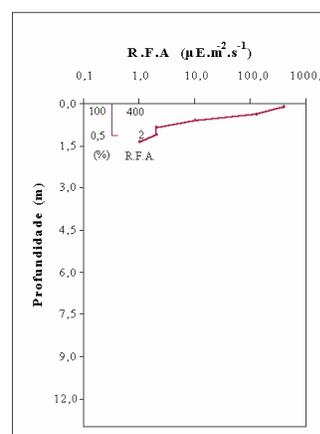


$(R.F.A.)_{Ar} = 1500 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 18,0 m

18/02/2000 – 12:40h

P2 – rio Tietê



$(R.F.A.)_{Ar} = 1600 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$

Prof. Máx. = 10,0 m

18/02/2000 – 09:25h

P3 – rio Piracicaba

Reservatório de Barra Bonita

FIGURA 94. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica, para os reservatórios de Bariri e Barra Bonita nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

No verão, os pontos do reservatório de Ibitinga apresentaram alteração na inclinação da curva do perfil de radiação fotossinteticamente ativa. Nos primeiros dois metros do ponto P1 (figura 93) com redução da concentração de clorofila total e aumento da concentração de matéria inorgânica (figura 74) nesta região; como também no primeiro metro do ponto P2 (figura 93) com aumento da concentração de clorofila total (figura 74). Comparando-se ambos pontos de estudo, em P2 a radiação fotossinteticamente ativa foi muito mais atenuada.

A alteração na inclinação da curva do ponto P2 do reservatório de Bariri (figura 93) ocorreu entre 1,5 m e 2,0 m, região em que se observou estratificação térmica e química de oxigênio dissolvido e condutividade na água (figura 62). Nos pontos P2 e P3 do reservatório de Barra Bonita a radiação fotossinteticamente ativa foi fortemente atenuada (figura 94), dada a aparência “barrenta” da água devido a ação de chuvas nesta época do ano, com altos valores para concentração de matéria inorgânica na superfície (figura 75) e preponderância na parcela de contribuição do componente K_x (tabela 30), em termos percentuais para o coeficiente de atenuação total da radiação solar.

Os reservatórios, Bariri no ponto P3 (figura 96) e Barra Bonita no ponto P3 (figura 97), apresentaram no verão, a maior atenuação da radiação solar ao passar do ar para a superfície aquática atingindo a mesma apenas 32,1% e 25,0% respectivamente da radiação solar medida no ar; e a menor redução ocorreu no ponto P2 do reservatório de Promissão com a penetração de 76,9% desta, como ilustra a figura 95

Nesta estação chuvosa, o percentual de atenuação da radiação solar ocorrida na superfície aquática do reservatório de Três Irmãos foi maior no ponto P1 (figura 95), com valores para K_t na superfície maior em P1 que nos demais pontos (tabela 25), sendo estes estudados em dias e horários diferentes e valores de radiação solar no ar variados (figura 91).

No reservatório de Promissão, os pontos P1 e P2 foram analisados em dias e horários diferentes e apresentaram na superfície o mesmo valor para K_t (tabela 27), valor de radiação solar no ar menor em P1 (figura 92) e atingiu a

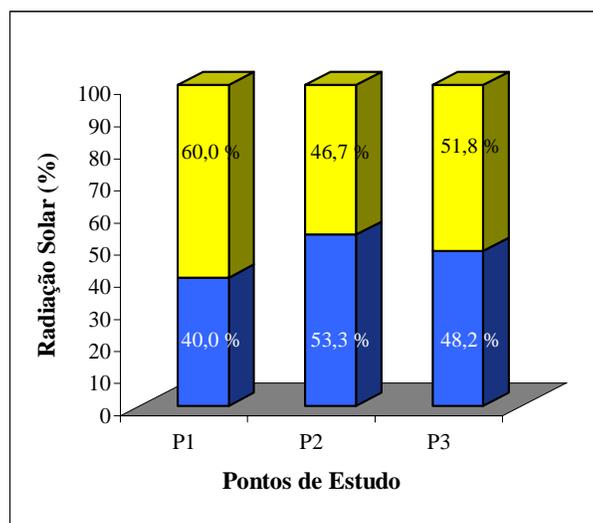
superfície aquática 34,1% desta em P1 e 76,9% em P2 (figura 95). Os dois pontos do reservatório de Ibitinga foram estudados no mesmo dia com valor da radiação solar no ar semelhantes em ambos os pontos (figura 93), mas com horários diferentes e percentual da radiação solar atingindo a superfície menor no ponto P2 (figura 96), onde ocorreu valor maior de Kt (tabela 28).

A radiação solar que foi medida no ar para os quatro pontos do reservatório de Bariri foi praticamente a mesma no verão (figuras 93 e 94), e atingiu a superfície aquática do ponto P3, apenas 32,1% desta radiação, representando o menor percentual do reservatório (figura 96) com valor de Kt na superfície maior que para os demais pontos (tabela 29). Situação similar ocorreu no reservatório de Barra Bonita, em que apenas 25% da radiação solar no ar atingiu a superfície aquática no ponto P3 (figura 97) que apresentou maior valor para Kt (tabela 30). Já no ponto P2, o valor de Kt na superfície foi maior que em P1 (tabela 30) e o percentual de radiação solar que atingiu a superfície aquática foi 60,0% maior que no ponto P1 com 45,2% da radiação solar no ar (figura 90), em horários diferentes de observação para cada ponto (figura 94).

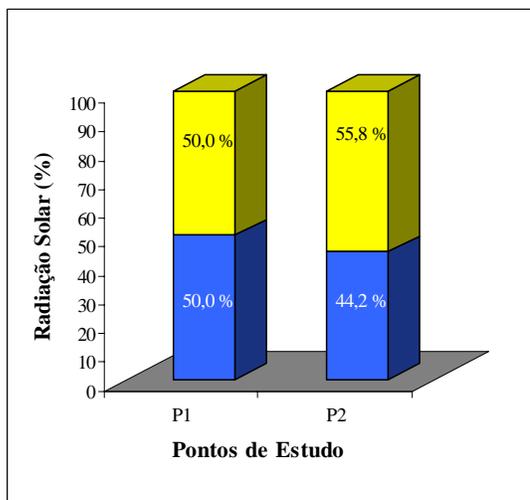
Nas duas épocas do ano em que foram realizados os estudos da penetração da radiação solar nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, se observou que nos pontos dos reservatórios de Três Irmãos e de Nova Avanhandava a atenuação da radiação solar ao atravessar a interface ar-água foi ligeiramente semelhante. Para o ponto P1 do reservatório de Ibitinga a situação foi análoga, e para o ponto P2 a atenuação foi maior no verão.

Para o reservatório de Promissão, no inverno a radiação solar foi fortemente atenuada ao atravessar a interface ar-água, atingindo a superfície aquática no ponto P3 somente 20,7% da radiação solar no ar (17:10h), conforme figura 88. No verão (figura 95), este valor foi de 76,9% no ponto P2 (14:00h).

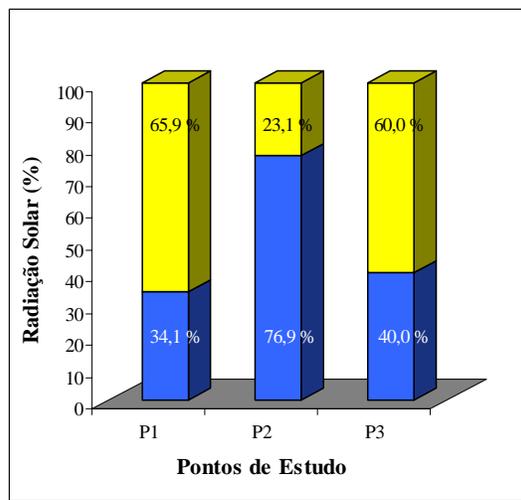
Nos pontos de estudo dos reservatórios de Bariri e de Barra Bonita o percentual de radiação solar que atingiu a superfície aquática foi maior no verão. Somente para o ponto P3 do reservatório de Barra Bonita este percentual foi menor nesta época do ano (período chuvoso).



Reservatório de Três Irmãos



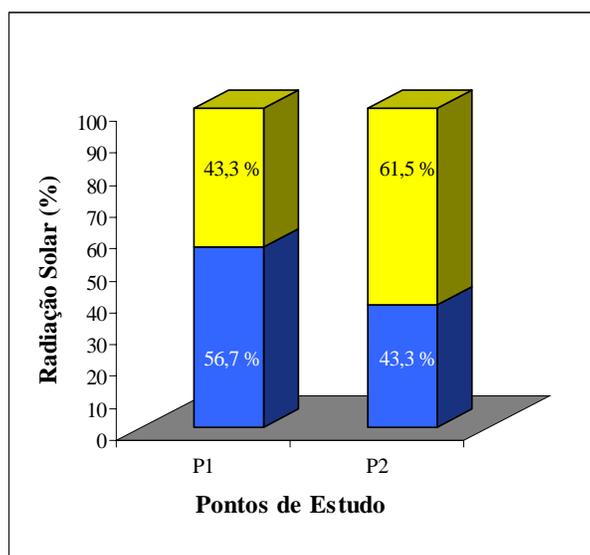
Reservatório de Nova Avanhandava



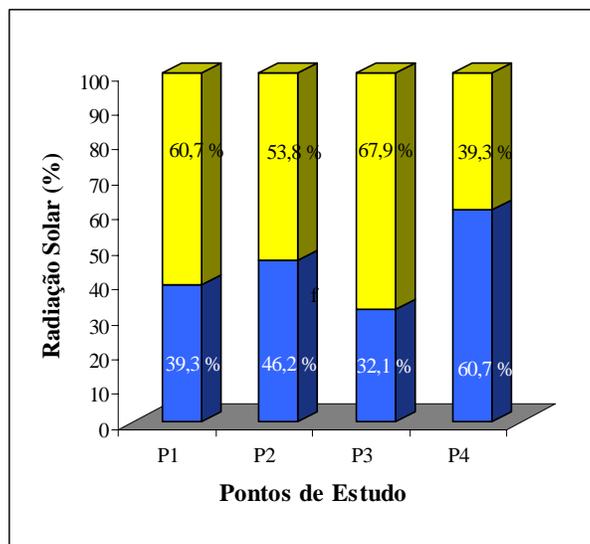
Reservatório de Promissão

Legenda: ■ Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
■ Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 95. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Três Irmãos, Nova Avanhandava e de Promissão em fevereiro/2000, período chuvoso.



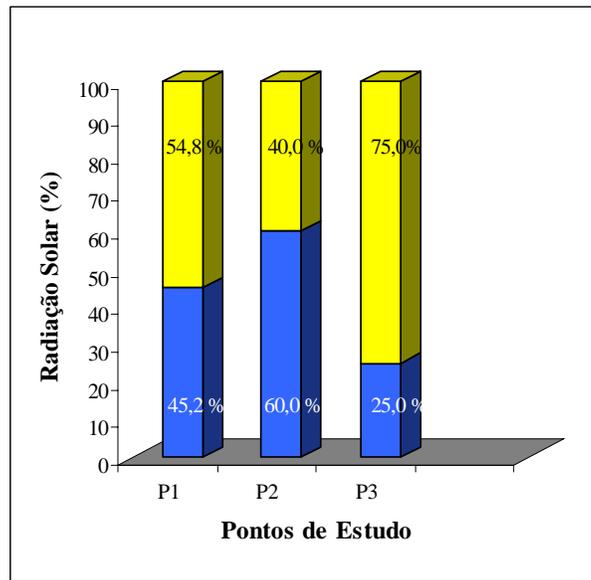
Reservatório de Ibitinga



Reservatório de Bariri

- Legenda:
- Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
 - Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 96. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos reservatórios de Ibitinga e de Bariri em fevereiro/2000, período chuvoso.

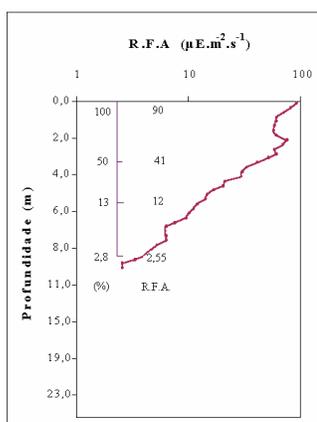


Reservatório de Barra Bonita

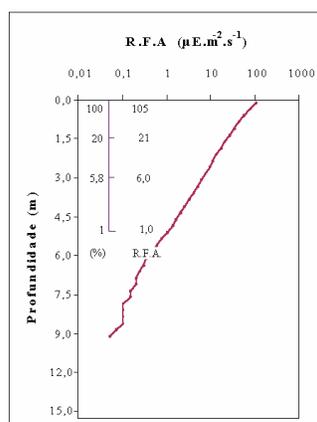
- Legenda:
- Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
 - Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 97. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em fevereiro/2000, período chuvoso.

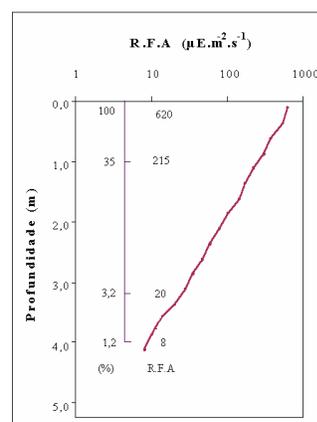
☉ *Lagos do Vale do rio Doce – Primeira Coleta (Período Seco)*



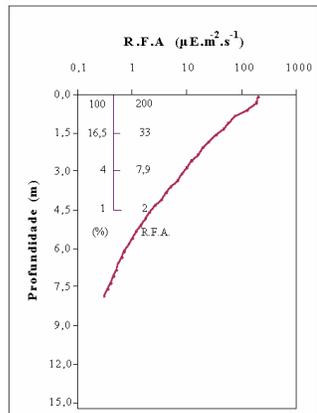
$(R.F.A)_{Ar} = 720 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$
 Prof. Máx. = 21,0 m
 09/08/1999 – 14:45h
L. D. Helvécio – P1



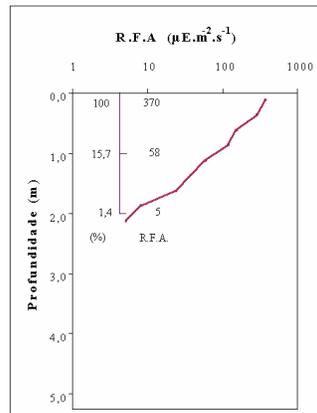
$(R.F.A)_{Ar} = 215 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$
 Prof. Máx. = 10,0 m
 10/08/1999 – 09:35h
L. Carioca – P1



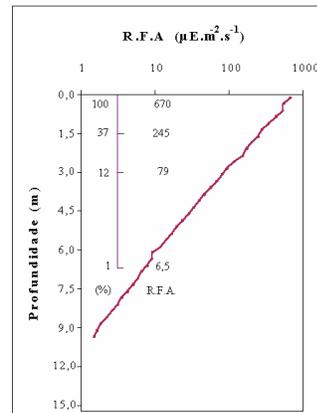
$(R.F.A)_{Ar} = 1350 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$
 Prof. Máx. = 4,50 m
 10/08/1999 – 13:10h
L. Aguapé – P1



$(R.F.A)_{Ar} = 840 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$
 Prof. Máx. = 8,0 m
 11/08/1999 – 16:30h
L. Águas Claras – P1



$(R.F.A)_{Ar} = 1200 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$
 Prof. Máx. = 2,25 m
 12/08/1999 – 08:55h
L. Amarela – P1



$(R.F.A)_{Ar} = 1200 \mu E.m^{-2}.s^{-1}$
 Prof. Máx. = 10,0 m
 11/08/1999 – 11:30h
L. Aníbal – P3

FIGURA 98. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em Agosto de 1999, período seco.

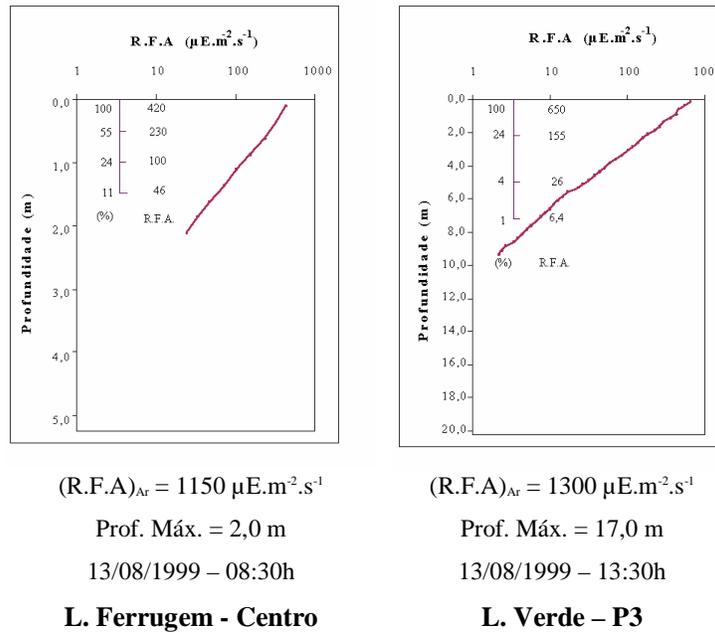
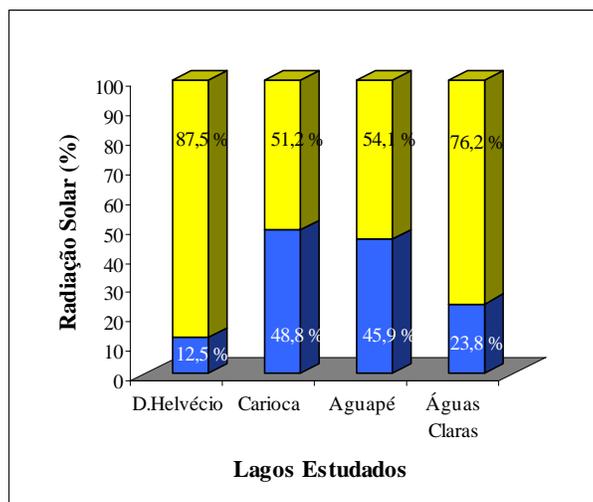
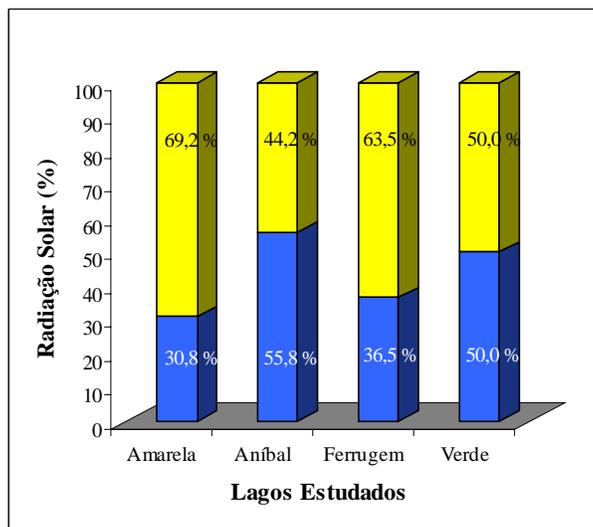


FIGURA 99. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em agosto de 1999, período seco.

Também, para a maioria dos lagos estudados a curva obtida para o perfil da radiação fotossinteticamente ativa, representada em escala logarítmica, é aproximadamente linear. No período seco para o lago D. Helvécio e lagoa Amarela foi observada variação na inclinação da curva em várias profundidades. No lago D. Helvécio a presença de nuvens encobrindo o Sol, em grande parte do período em que foram efetuadas as medidas de radiação solar subaquática, fez com que este valor aumentasse ou diminuísse, principalmente nos três primeiros metros (figura 98), com grande atenuação na superfície em que apresentou o maior valor de K_t de toda a coluna d'água com preponderância do componente K_x (tabela 31). A lagoa Amarela apresentou o maior percentual de contribuição do componente K_w (tabela 32) em relação aos outros lagos estudados nesta estação do ano, e do primeiro para o segundo metro aumentaram as concentrações de clorofila total e material em suspensão, em sua maior parte de matéria orgânica (figura 76).



Lagos: D. Helvécio, Carioca, Aguapé e Águas Claras



Lagos: Amarela, Aníbal, Ferrugem e Verde

Legenda: ■ Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
■ Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 100. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos dos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela, Aníbal, Ferrugem e Verde em agosto/1999, período seco.

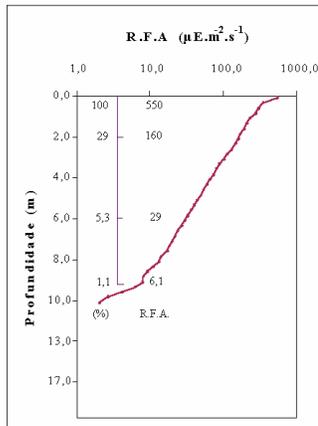
A lagoa Águas Claras apresentou, neste período de observação, alteração na inclinação da curva no primeiro metro de profundidade (figura 98), em que houve aumento de concentração de matéria orgânica (figura 76) e na superfície o valor para concentração de clorofila total foi o maior de toda a coluna d'água, cujo Kc apresentou a maior parcela de contribuição para Kt (tabela 32). Entre as profundidades de 1,0 m e 2,5 m ocorreu pequena estratificação térmica (figura 64).

Os estudos realizados no sistema de lagos do Vale do rio Doce, como também nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, mostraram que ocorreu grande atenuação da radiação solar ao atravessar a interface ar-água até atingir a superfície aquática em ambas as estações do ano.

No inverno, a maior atenuação da radiação solar no ar até atingir a superfície aquática foi no lago D. Helvécio, onde apenas 12,5% desta chegou na superfície (figura 100). No verão não se observou valores tão baixos, porém nas lagoas Águas Claras e Verde este percentual foi de 31,4% e 32,9% respectivamente. Para a lagoa Agupapé o percentual foi o mesmo da lagoa Verde (figura 103), cuja penetração da radiação solar ficou abaixo da metade que se obteve no ar. Comparando-se as duas estações do ano, somente no lago D. Helvécio e nas lagoas Águas Claras e Amarela o percentual de radiação solar que atingiu a superfície foi menor no inverno que no verão e foi o mesmo para a lagoa Ferrugem.

A linearidade obtida para o perfil da radiação fotossinteticamente ativa no verão foi mais marcante na região compreendida pela zona eufótica e apresentou diversas variações na inclinação da curva na lagoa Carioca (figura 101) em que ocorreu estratificação térmica e química de oxigênio dissolvido e de condutividade da água a partir de 4,0 m de profundidade (figura 66), redução do valor da concentração de matéria inorgânica e aumento do valor da concentração de matéria orgânica abaixo de 1,25 m (figura 78). A maior parcela de contribuição do componente Kw para Kt foi entre 1,25 m e 2,75 m e do componente Kc foi a 5,25 m (tabela 33), regiões em que ocorreu as mencionadas variações na inclinação da curva.

☉ *Lagos do Vale do rio Doce – Segunda Coleta (Período Chuvoso)*

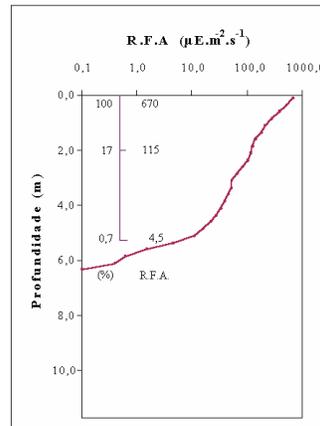


$(R.F.A.)_{Ar} = 1050 \mu E.m^2.s^{-1}$

Prof. Máx. = 18,0 m

04/02/2000 – 09:00h

L. D. Helvécio – P1

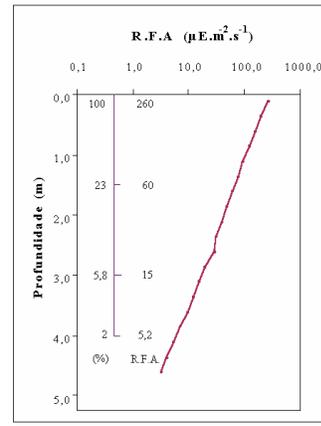


$(R.F.A.)_{Ar} = 1500 \mu E.m^2.s^{-1}$

Prof. Máx. = 10,0 m

06/02/2000 – 15:20h

L. Carioca – P1

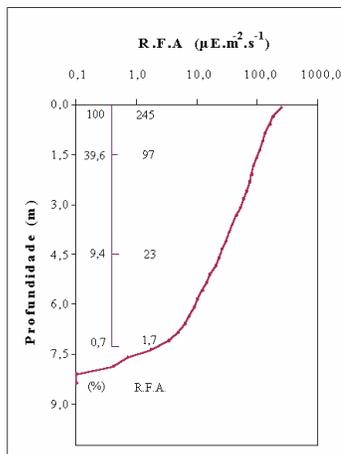


$(R.F.A.)_{Ar} = 790 \mu E.m^2.s^{-1}$

Prof. Máx. = 4,0 m

06/02/2000 – 11:25h

L. Aguapé – P1

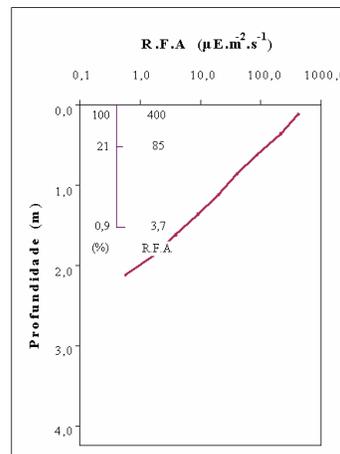


$(R.F.A.)_{Ar} = 780 \mu E.m^2.s^{-1}$

Prof. Máx. = 7,50 m

07/02/2000 – 14:40h

L. Águas Claras – P1

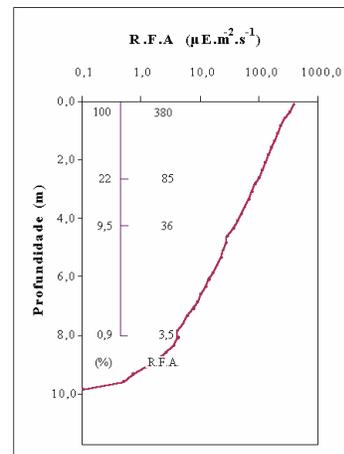


$(R.F.A.)_{Ar} = 850 \mu E.m^2.s^{-1}$

Prof. Máx. = 2,0 m

09/02/2000 – 11:00h

L. Amarela – P1



$(R.F.A.)_{Ar} = 970 \mu E.m^2.s^{-1}$

Prof. Máx. = 9,50 m

05/02/2000 – 10:40h

L. Anibal – P3

FIGURA 101. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela e Anibal nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

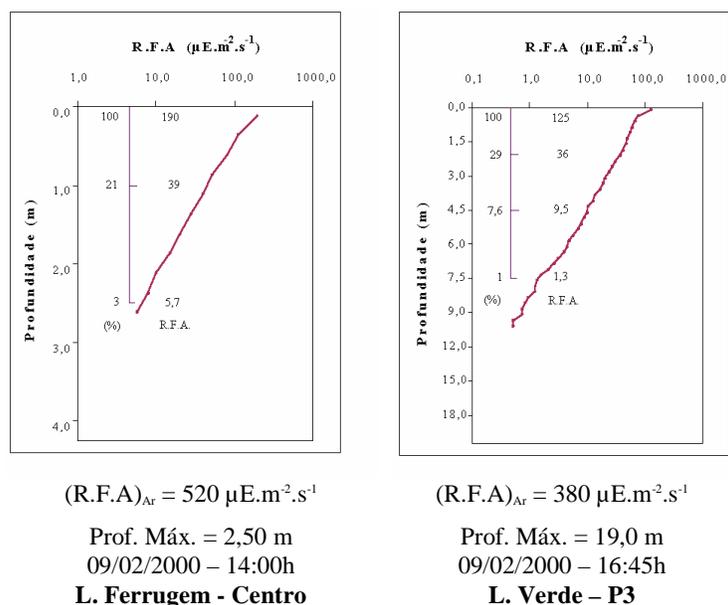
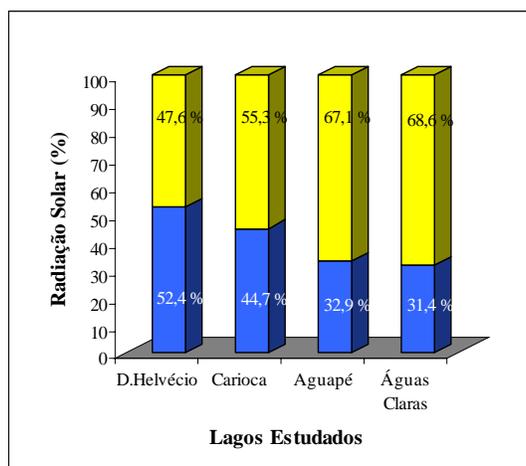


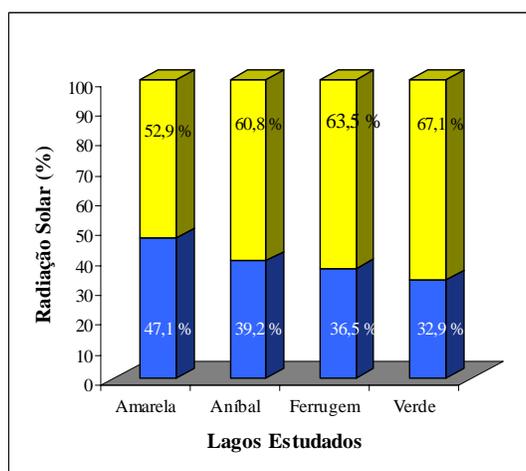
FIGURA 102. Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A), em escala logarítmica, para os lagos do Vale do rio Doce: Ferrugem e Verde nos pontos de coleta realizada em fevereiro de 2000, período chuvoso.

No período chuvoso, os lagos D. Helvécio, Aníbal, Águas Claras (figura 101) e Verde (figura 102) apresentaram alteração na inclinação da curva do perfil da radiação fotossinteticamente ativa em regiões localizadas abaixo da zona eufótica em que ocorreram estratificação térmica e química de oxigênio dissolvido e de condutividade da água dos lagos mencionados.

Com exceção do lago Aníbal, na superfície dos outros três lagos citados, ocorreu alteração na inclinação da curva em questão nos dois primeiros metros de profundidade. No lago D. Helvécio a 1,0 m de profundidade houve aumento das concentrações de matéria orgânica e de clorofila total (figura 78). Nesta mesma profundidade, a lagoa Águas Claras apresentou o maior valor de concentração de clorofila total obtido na coluna d'água (figura 78), e com isto obteve-se nesta posição K_c maior que K_x (tabela 33). De modo semelhante ocorreu com a lagoa Verde, entre 0,50 m e 2,0 m, em que houve aumento do valor de concentração de clorofila total (figura 79) e também aumento da parcela de contribuição K_c (tabela 34).



Lagos: D. Helvécio, Carioca, Aguapé e Águas Claras



Lagos: Amarela, Aníbal, Ferrugem e Verde.

Legenda: ■ Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
■ Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 103. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nos pontos de estudo dos dos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Águas Claras, Amarela, Aníbal, Ferrugem e Verde em fevereiro/2000 - Período Chuvoso.

No verão foi observado na lagoa Aguapé ligeira modificação na inclinação da curva do perfil da radiação fotossinteticamente ativa próximo aos 3,0 m de profundidade (figura 101), onde ocorreu estratificação química de oxigênio dissolvido na água (figura 65) e aumento do valor da concentração de clorofila total e de matéria orgânica (figura 78).

6.4 Estudo da “Varredura da radiação solar subaquática” nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo - Broa (SP)

Este estudo foi desenvolvido nos reservatórios de *Barra Bonita e do Lobo-Broa* situados no Estado de São Paulo. Foram efetuadas medidas quantitativas e qualitativas da radiação solar subaquática em pontos varrendo toda a extensão dos ambientes aquáticos formados por transectos distantes aproximadamente por 10 km e 2 km para os respectivos reservatórios. No caso da represa de Barra Bonita estas medidas foram efetuadas nas margens direita e esquerda e posição central de cada transecto. As demais medidas foram realizadas somente na parte central de cada transecto. Para o reservatório do Lobo-Broa todas as medidas foram efetuadas somente na parte central do mesmo.

Nesta etapa do trabalho foram estabelecidos oito pontos de estudo para o reservatório de Barra Bonita, cujos pontos P6 e P7 estão localizados nos rios Tietê e Piracicaba respectivamente, a partir dos quais ocorre a união de suas águas onde estão situados os demais pontos estudados, ocupará o corpo central do reservatório até atingir a barragem, conforme as figuras 27 e 104.

Os pontos P1 e P2 do reservatório do Lobo-Broa correspondem aos pontos em que foram realizadas as medidas relativas à quantidade e qualidade da radiação solar subaquáticas e demais medidas, como também coleta de água para as análises laboratorias. Nos pontos P3 e P4 foram realizadas somente medidas em campo relacionadas com a radiação solar subaquática. A localização de tais pontos está ilustrada nas figuras 27 e 105.

6.4.1 Variáveis abióticas: físicas e químicas

É apresentado o perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para os ambientes

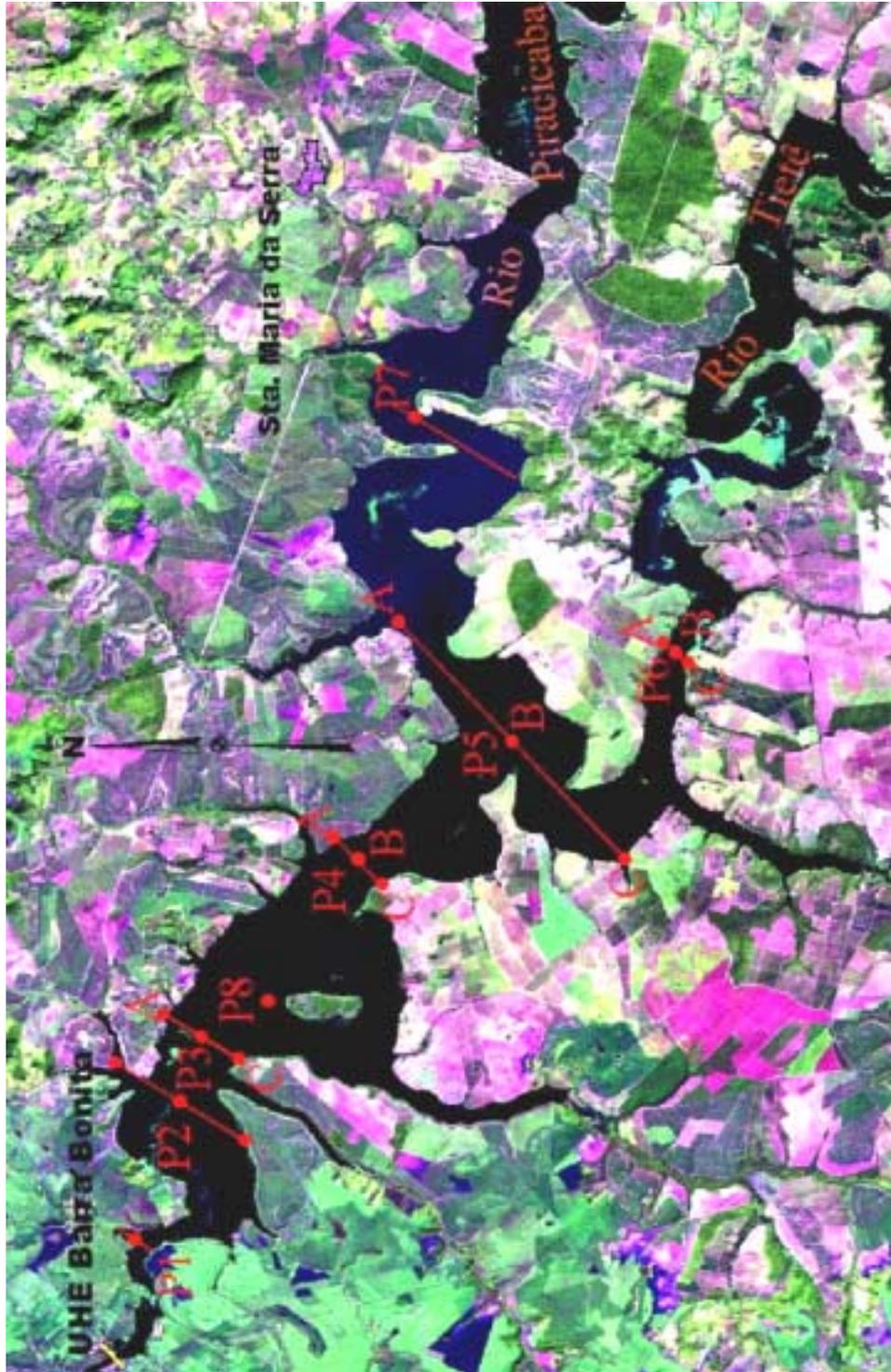


FIGURA 104. Região em que a represa de Barra Bonita (SP) está inserida, com a indicação de cada ponto de estudo da “Varredura da radiação solar subaquática”. Imagem Orbital do Satélite LANDSAT TM 7, data de passagem 23/03/01, composição colorida R5, G4, B3, resolução espacial 15 m.

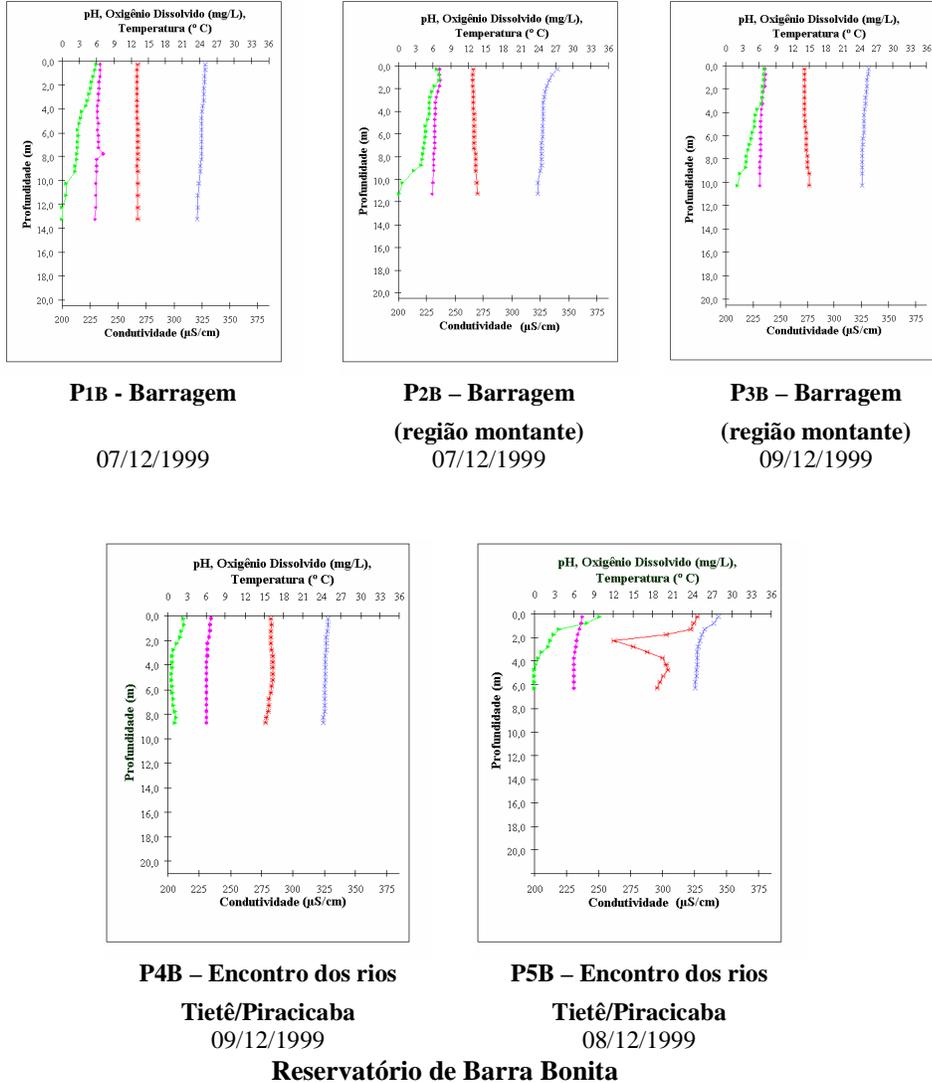
Fonte: Imagem de Satélite cedida pelo Instituto Internacional de Ecologia - IIE, elaborada por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.



FIGURA 105. Região em que a represa do Lobo-Broa (SP) está inserida, com a indicação de cada ponto de estudo da “Varredura da radiação solar subaquática”. Imagem Orbital do Satélite LANDSAT TM 7, data de passagem 23/03/01, composição colorida R5, G4, B3, resolução espacial 15 m.
Fonte: Imagem de Satélite cedida pelo Instituto Internacional de Ecologia - IIE, elaborada por CASAVIVA Projetos e Consultoria S/C Ltda.

aquáticos estudados em duas épocas do ano, o período seco entre julho e agosto e o período de alta precipitação no mês de dezembro.

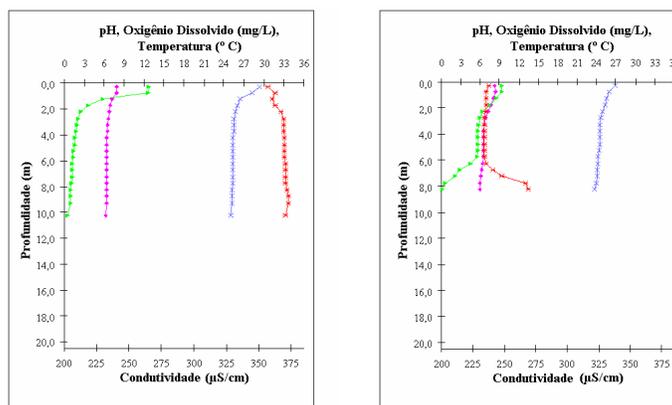
○ **Reservatório de Barra Bonita – Estado de São Paulo - Primeira Coleta**
(Período Chuvoso)



Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 106. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P5B, em dezembro de 1999, período chuvoso.



P6B – rio Tietê
08/12/1999

P7B - Piracicaba
08/12/1999

Reservatório de Barra Bonita

Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 107. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P6B e P7B, em dezembro de 1999, período chuvoso.

O ano de 1999 foi marcado por um período de escassez de chuvas, onde muitos reservatórios operavam abaixo de sua capacidade, com níveis de água aquém de suas necessidades. A profundidade máxima do reservatório de Barra Bonita foi uma das menores que se tem registrado até esta data, como mostram as figuras 59 para o mês de novembro, e as 106 e 107 para dezembro desse ano. No início do ano seguinte (2000) a regularização do nível de água dos reservatórios e de sua operação ocorreu com a chegada das chuvas.

A ocorrência de estratificação térmica foi observada nos três primeiros metros dos pontos P2B, P5B, P6B e P7B para a represa de Barra Bonita na primeira coleta em dezembro de 1999, como mostram as figuras 106 e 107. Nesta região da coluna d'água foi observado diminuição acentuada dos valores de oxigênio dissolvido, mantendo constante ou reduzindo-se ligeiramente nos níveis mais profundos atingindo o valor zero próximo do final da coluna d'água para os pontos mencionados. No ponto P5B a condutividade da água apresentou valor alto na superfície (327 µS/cm) com forte redução na região de termoclina

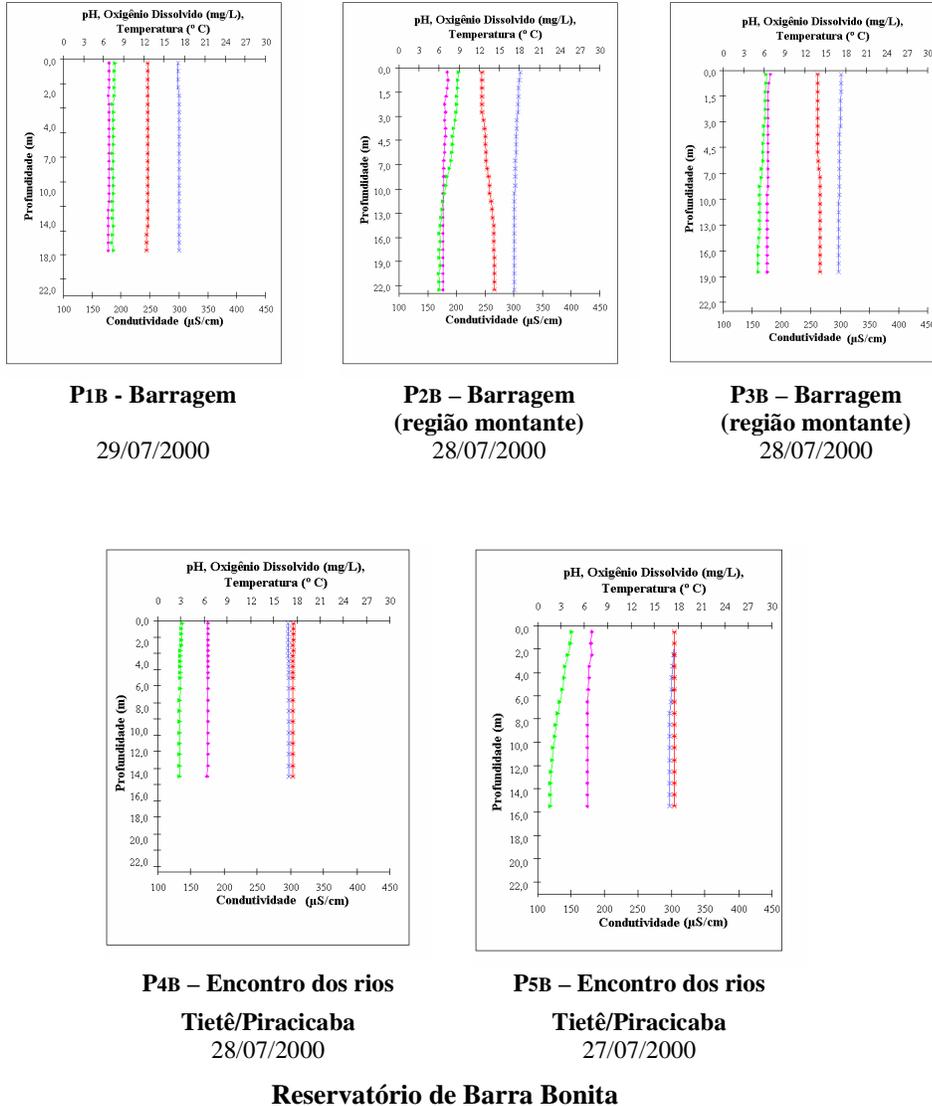
atingindo 262 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2,0 m e voltando a aumentar para 301 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 5,0 m não ocorrendo grandes variações até o fundo do corpo d'água neste ponto (figura 106). Para o ponto P6B nesta mesma região, houve aumento do valor da condutividade da água de 357 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na superfície para 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2,5 m mantendo-se assim pelo restante da coluna d'água e acentuada diminuição do valor de oxigênio dissolvido, com 12,6 mg/L na superfície atingindo 5,82 mg/L no primeiro metro de profundidade, permanecendo a redução até os 10 m. Ocorrência análoga a este ponto se deu para o ponto P7B, como mostra a figura 107, com aumento do valor de condutividade e redução do valor de oxigênio dissolvido a partir dos 6,0 m até o fundo do corpo d'água.

No ponto P4B do reservatório de Barra Bonita, nesta coleta (primeira, período chuvoso) os valores de oxigênio dissolvido foram baixos, desde a superfície (2,44 mg/L), atingindo na região compreendida entre 3,5 m e 5,5 m os seus menores valores da coluna d'água em cerca de 0,65 mg/L e a temperatura mostrou-se praticamente inalterada por toda a coluna d'água, fato que ocorreu também nos pontos P1B e P3B com diminuição dos valores de oxigênio dissolvido à medida em que aumentou a profundidade do corpo d'água, conforme a figura 106.

A segunda coleta de dados foi efetuada no mês de julho de 2000 para o reservatório de Barra Bonita, período em que a regularização de chuvas já havia ocorrido e a profundidade do reservatório retornou à normalidade em praticamente toda sua extensão, como indicam as figuras 108 e 109. Nesta época do ano é comum a ação de ventos que provoca circulação da massa de água e assim o perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas) foi praticamente homogêneo em toda a coluna d'água nos pontos observados, conforme figuras 108 e 109, nas quais foram verificados valores baixos para o oxigênio dissolvido na água no ponto P4B com 3,18 mg/L na superfície e praticamente mantendo este valor até o fundo da água. Na superfície do ponto P5B este valor foi de 4,36 mg/L reduzindo para 2,34 mg/L a 8,0 m continuando a diminuir pelo restante de sua profundidade e em P7B a redução do valor de oxigênio dissolvido na água foi

mais pronunciada, cujo valor na superfície foi de 3,78 mg/L atingindo 0,93 mg/L a 4,0 m reduzindo-se até zero na coluna d'água.

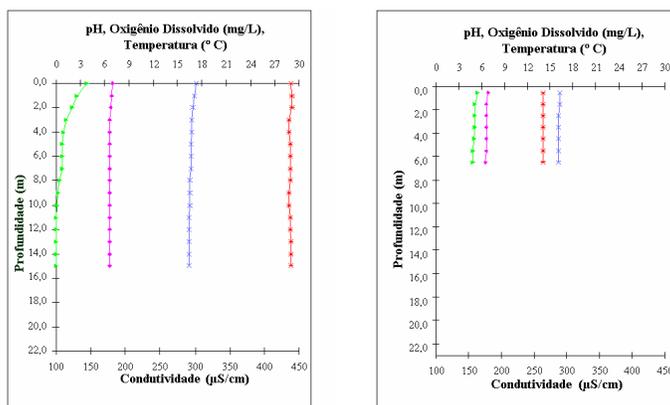
◉ **Reservatório de Barra Bonita – Estado de São Paulo - (Segunda Coleta)**
(Período Seco)



Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 108. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P5B, em julho de 2000, período seco.



P6B – rio Tietê
27/07/2000

P7B - Piracicaba
27/07/2000

Reservatório de Barra Bonita

Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

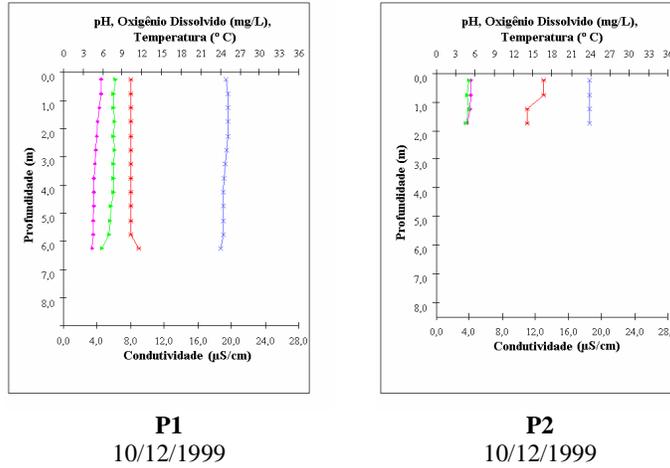
FIGURA 109. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P6B e P7B, em julho de 2000, período seco.

Nesta etapa da coleta, no mês de agosto para o reservatório do Lobo-Broa, figura 110 B, foi igualmente marcada pela ação de ventos, com homogeneidade do perfil das variáveis abióticas por praticamente toda a coluna d'água, sendo observado valores para condutividade da água bem menores e valores bem maiores para oxigênio dissolvido na água que aqueles obtidos no reservatório de Barra Bonita, na mesma época.

Para o reservatório Lobo-Broa, na primeira coleta, foi observado na figura 110 A que o perfil das variáveis abióticas se manteve praticamente inalterado em toda a coluna d'água, com ligeiro aumento no valor da condutividade no último metro do ponto P1 e redução a 1,0 m no ponto P2. Os valores para a condutividade da água foram muito menores que os obtidos na represa de Barra Bonita no mesmo período de coleta, e os valores para o oxigênio dissolvido na água não atingiram valores tão baixos como os observados nesta última.

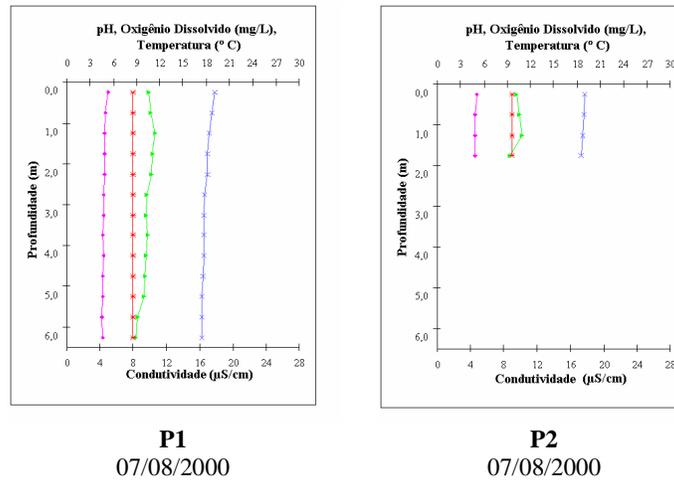
○ **Reservatório do Lobo-Broa – Estado de São Paulo – Primeira Coleta**
(Período Chuvoso)

(A)



○ **Reservatório do Lobo-Broa – Estado de São Paulo – Segunda Coleta**
(Período Seco)

(B)



Reservatório do Lobo-Broa

Legenda:

- ◆ pH
- ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- × Temperatura (°C)
- * Condutividade (µS/cm)

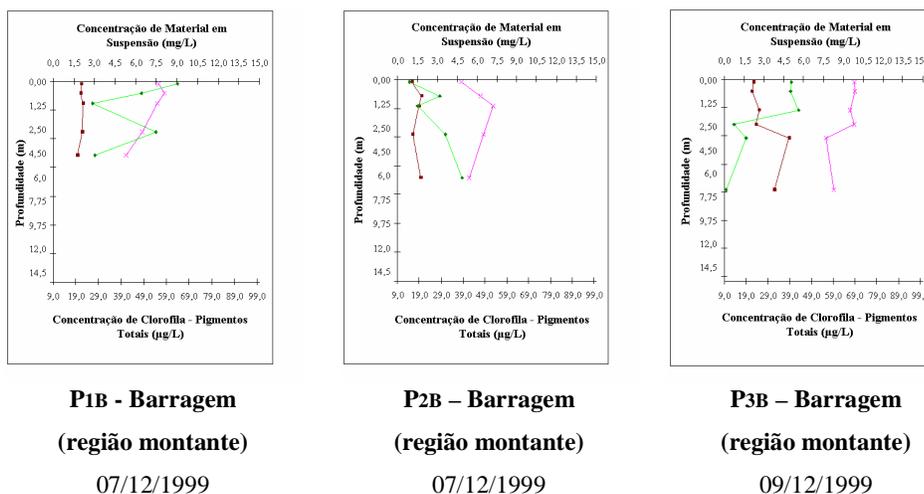
FIGURA 110. Perfil das variáveis abióticas (físicas e químicas): pH, Condutividade, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura da água, para o reservatório do Lobo-Broa nos pontos de coleta P1 e P2. (A) Período Chuvoso, em dezembro de 1999 e (B) Período Seco, em agosto de 2000.

6.4.2 Perfil Vertical de Clorofila Total e de Material em Suspensão

Os resultados obtidos para material em suspensão e clorofila são apresentados em forma de gráficos que mostram a variação das concentrações das frações orgânicas e inorgânicas para material em suspensão e das concentrações de pigmentos totais para clorofila total na coluna d'água, em cada ponto de coleta. As amostras de água foram coletadas em duas épocas do ano, o período seco entre julho e agosto e o período de alta precipitação em dezembro.

○ Reservatório de Barra Bonita – Estado de São Paulo

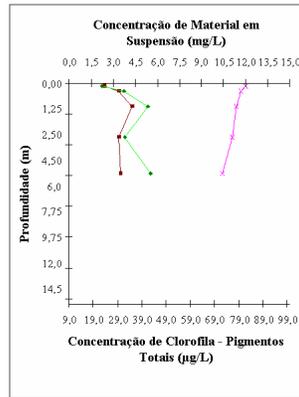
Primeira Coleta (Período Chuvoso)



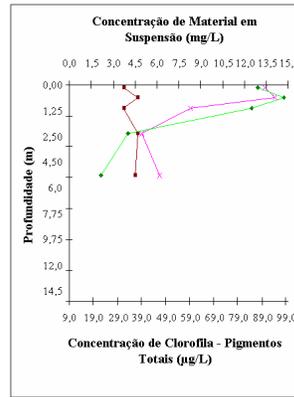
Reservatório de Barra Bonita

- Legenda:
- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
 - Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
 - × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

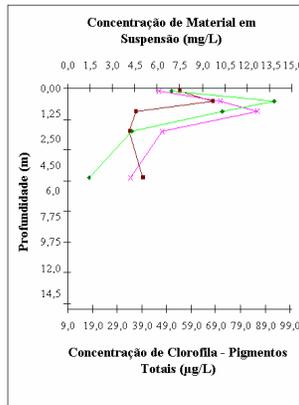
FIGURA 111. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P3B, em dezembro de 1999, período chuvoso.



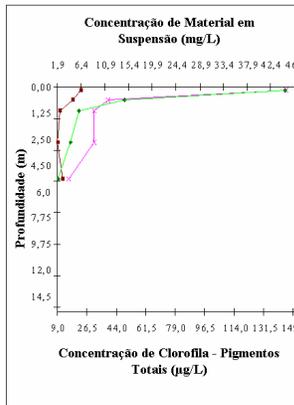
P4B – Encontro dos rios Tietê/Piracicaba
09/12/1999



P5B – Encontro dos rios Tietê/Piracicaba
08/12/1999



P6B – rio Tietê
08/12/1999



P7B - Piracicaba
08/12/1999

Reservatório de Barra Bonita

Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 112. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P4B a P7B, em dezembro de 1999, período chuvoso.

No mês de novembro de 1999, foi realizado o estudo da penetração da radiação solar na represa de Barra Bonita (figura 71), ficando demonstrado não

somente para este reservatório, mas também para a represa de Bariri (figuras 70 e 71), aumento na concentração de clorofila total na coluna d'água em relação aos demais reservatórios pertencentes ao sistema de reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê, que foram analisados em julho do mesmo ano. Para o estudo da “varredura de radiação solar subaquática” realizado em dezembro ainda do mesmo ano no reservatório de Barra Bonita se observou a mesma tendência, cujos valores de concentração de clorofila total foi maior no ponto P1B (figura 111) em relação aos obtidos em novembro no mesmo ponto (figura 71), situação similar ocorreu com a concentração de matéria orgânica (figura 111).

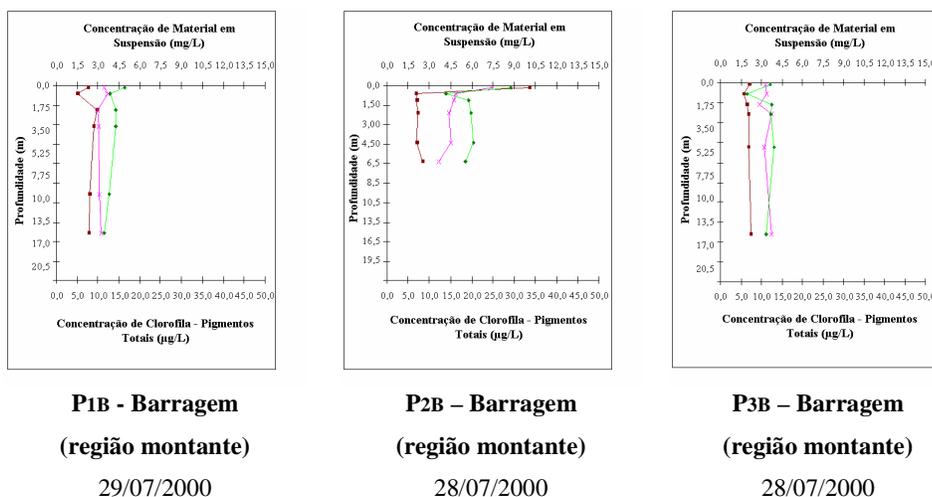
Exceção feita ao alto valor obtido na superfície do ponto P7B (figura 112), para as concentrações de clorofila total com 144,58 µg/L e de matéria orgânica com 45,33 mg/L, o ponto P5B foi o que apresentou, nos primeiros dois metros (figura 112), os maiores valores para estes parâmetros em relação a todos os outros estudados, no período chuvoso, região em que ocorreu estratificação térmica e química de oxigênio dissolvido e condutividade da água (figura 106).

Entre 0,0 m e 3,0 m do ponto P6B, a figura 107 ilustra a presença de termoclina e de estratificação química de oxigênio dissolvido e de condutividade da água, região em que se observou grande variação nas concentrações de material em suspensão, frações orgânica e inorgânica como de clorofila total (figura 112). O mesmo se observou no ponto P7B, mais acentuadamente para matéria orgânica e clorofila total (figura 112), cuja variação destas concentrações foi diferente daquela ocorrida em novembro de 1999 para o mesmo ponto (figura 71) (convém ressaltar que o ponto P7B aqui denominado, corresponde ao ponto P3 do item 6.3, localizado no rio Piracicaba).

No período chuvoso (verão) foram observadas estratificações térmica e química, com variação das concentrações de matéria orgânica e de clorofila total mais acentuada que a de matéria inorgânica na coluna d'água na maioria dos pontos analisados. A variação das concentrações destes parâmetros foi praticamente homogênea no período seco (inverno) e no ponto P2B, tais concentrações foram maiores na superfície da água (figura 113).

○ **Reservatório de Barra Bonita – Estado de São Paulo**

Segunda Coleta (Período Seco)



Reservatório de Barra Bonita

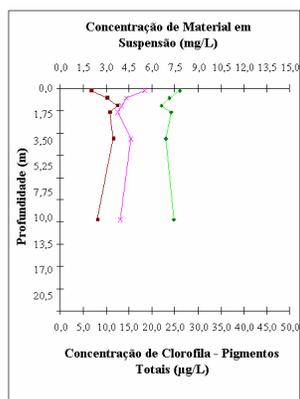
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

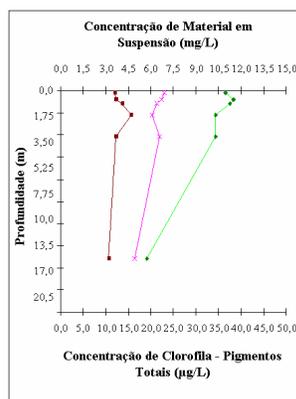
FIGURA 113. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P1B a P3B, em julho de 2000, período seco.

No inverno, os maiores valores para as concentrações de matéria orgânica e de clorofila total foram obtidos no ponto P5B (figura 114) e os de matéria inorgânica foram obtidos no ponto P7B (figura 114).

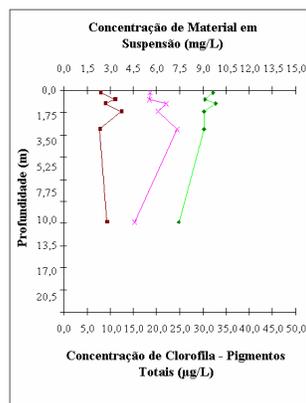
Nesta mesma época do ano para o reservatório do Lobo-Broa, ponto P1 (figura 115 B), a concentração de clorofila total aumentou a partir do primeiro metro de profundidade e as concentrações de matéria orgânica foram maiores e de inorgânica menores que as obtidas no verão (figura 115 A).



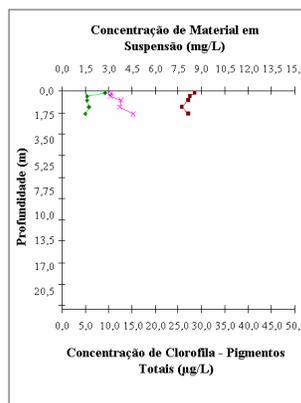
P4B – Encontro dos rios Tietê/Piracicaba
28/07/2000



P5B – Encontro dos rios Tietê/Piracicaba
27/07/2000



P6B – rio Tietê
27/07/2000



P7B - Piracicaba
27/07/2000

Reservatório de Barra Bonita

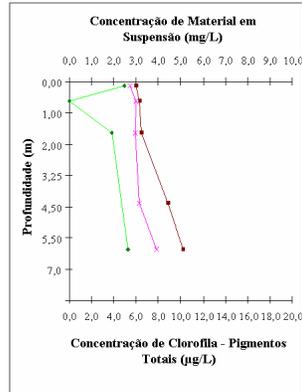
Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 114. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório de Barra Bonita nos pontos de coleta P4B a P7B, em julho de 2000, período seco.

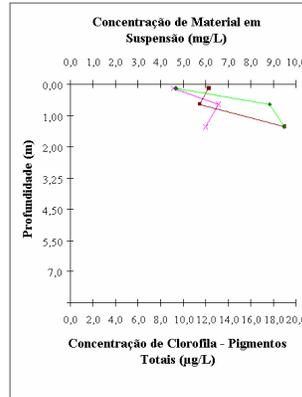
○ **Reservatório do Lobo-Broa – Estado de São Paulo – Primeira Coleta**
(Período Chuvoso)

(A)



P1

10/12/1999

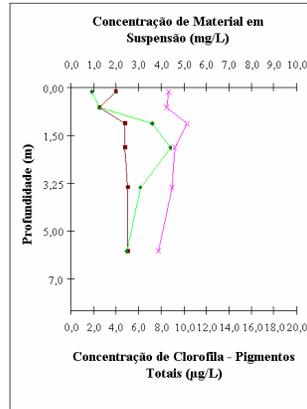


P2

10/12/1999

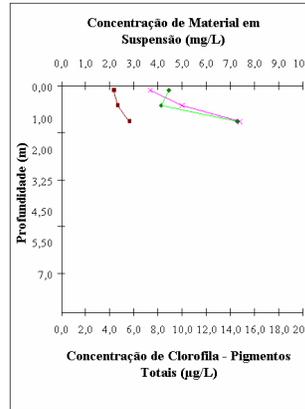
○ **Reservatório do Lobo-Broa – Estado de São Paulo – Segunda Coleta**
(Período Seco)

(B)



P1

07/08/2000



P2

07/08/2000

Reservatório do Lobo-Broa

Legenda:

- ◆ Clorofila - Pigmentos Totais (µg/L)
- Material em Suspensão - Fração Inorgânica (mg/L)
- × Material em Suspensão - Fração Orgânica (mg/L)

FIGURA 115. Perfil vertical de clorofila (pigmentos totais) e de material em suspensão: frações orgânica e inorgânica para o reservatório do Lobo-Broa nos pontos de coleta P1 e P2, em (A) Período chuvoso, dezembro de 1999 e em (B) Período seco, agosto de 2000.

O ponto P2 do reservatório do Lobo-Broa, apresentou variação semelhante para os valores de concentração de matéria orgânica na coluna d'água nas duas estações do ano. No verão estes valores para matéria inorgânica (figura 115 A) foram os maiores de todos os pontos estudados nos dois reservatórios, nesta época do ano, sendo que apenas no primeiro metro do ponto P6B do reservatório de Barra Bonita estes valores foram superados (figura 112). Neste mesmo ponto do reservatório do Lobo-Broa ocorreu aumento dos valores das concentrações de material em suspensão e de clorofila total no verão comparativamente ao ponto P1 na mesma época do ano, e no inverno houve somente aumento dos valores da concentração de clorofila total no ponto P2 com relação ao ponto P1.

6.4.3 Zona Eufótica: uma abordagem comparativa

Os dados das tabelas 35 e 36 indicam os valores de transparência da água (profundidade Secchi), profundidade da zona eufótica, profundidade da zona de mistura, profundidade máxima e suas relações para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa em diversos pontos de modo a varrer toda a extensão dos mesmos, em duas épocas do ano correspondentes ao período seco entre julho e agosto e o período de alta precipitação em dezembro.

A profundidade da zona eufótica foi determinada pela profundidade Secchi e pela profundidade na qual apresentou 1% da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., incidente em cada ponto de estudo do corpo d'água em questão, medida com o Quanta-meter em toda a coluna d'água. De uma forma geral, os valores obtidos para esta profundidade, através dos dois métodos utilizados para sua determinação, foram muito próximos nos pontos estudados em ambos reservatórios, o que demonstrou a viabilidade do uso do disco de Secchi dada a sua praticidade e simplicidade.

TABELA 35. Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios Barra Bonita e do Lobo/Broa em dezembro de 1999 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo dos Reservatórios	Z _{máx.} (m)	Z _{DS} (m)	Zeu (m)		Zeu/Z _{DS} *	$\overline{\text{Zeu}}$ (m)	Z _{mix.} (m)	Zeu/Z _{máx} *	Zeu/Z _{mix} *
			DiscoSecchi	Quantameter					
P1 – 07/12	14,0	0,90	2,70	2,50	2,78	2,60	14,0	0,18	0,18
P2 – 07/12	11,0	0,90	2,70	3,0	3,33	2,85	2,50	0,27	1,20
P3 – 09/12	10,0	1,10	3,30	3,25	2,95	3,28	10,0	0,33	0,33
Barra Bonita P4 – 09/12	8,50	1,00	3,00	2,50	2,50	2,75	8,50	0,29	0,29
P5 – 08/12	6,00	0,80	2,40	2,25	2,81	2,33	2,00	0,38	1,13
P6 – 08/12	10,0	0,60	1,80	2,00	3,33	1,90	3,00	0,20	0,67
P7 – 08/12	8,00	0,90	2,70	2,50	2,78	2,60	6,00	0,31	0,41
P8 – 09/12	9,0	0,80	2,40	2,50	3,12	2,45	-	0,27	-
Lobo/Broa P1 – 10/12	6,00	1,80	5,40	4,25	2,36	4,83	6,00	0,71	0,71
P2 ** – 10/12	1,25	0,70	2,10	1,25	-	-	1,25	1,0	1,0
P3 – 10/12	8,50	1,50	4,50	4,00	2,67	4,25	-	0,47	-
P4 – 10/12	4,00	0,80	2,40	2,75	3,43	2,58	-	0,69	-

* Zeu obtido a partir dos dados do Quantameter

** A coluna d'água é toda iluminada no ponto P2 da represa do Lobo/Broa.

TABELA 36. Abordagem comparativa de algumas características ópticas e da zona de mistura para os reservatórios Barra Bonita e do Lobo/Broa em julho e agosto de 2000, respectivamente (Segunda Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo dos Reservatórios	Z _{máx.} (m)	Z _{DS} (m)	Zeu (m)		Zeu/Z _{DS} *	$\overline{\text{Zeu}}$ (m)	Z _{mix.} (m)	Zeu/Z _{máx} *	Zeu/Z _{mix} *	
			DiscoSecchi	Quantameter						
Barra Bonita	P1 – 29/07	17,0	1,90	5,70	9,50	5,0	7,60	17,0	0,56	0,56
	P2 – 28/07	22,0	1,90	5,70	4,25	2,24	4,98	22,0	0,19	0,19
	P3 – 28/07	18,0	2,20	6,60	4,75	2,16	5,68	18,0	0,26	0,26
	P4 – 28/07	14,0	1,60	4,80	3,25	2,03	4,00	14,0	0,23	0,23
	P5 – 27/07	15,0	1,10	3,30	3,00	2,73	3,15	15,0	0,20	0,20
	P6 – 27/07	16,0	0,90	2,70	2,50	2,78	2,60	16,0	0,16	0,16
	P7 – 27/07	6,50	0,50	1,50	1,50	3,00	1,50	6,0	0,23	0,25
	P8 – 28/07	10,50	1,30	3,90	3,75	2,88	3,82	-	0,36	-
Lobo/Broa	P1 – 07/08	6,0	1,75	5,25	3,25	1,86	4,25	6,0	0,54	0,54
	P2** – 07/08	1,50	1,04	-	-	-	-	1,5	1,0	1,0
	P3 – 07/08	9,00	1,50	4,50	4,00	2,67	4,25	-	0,44	-
	P4 – 07/08	3,50	1,30	-	3,0	-	3,0	-	0,86	-

* Zeu obtido a partir dos dados do Quantameter

** A coluna d'água é toda iluminada no ponto P2 da represa do Lobo/Broa.

No período seco (segunda coleta), a diferença entre tais medidas foi mais evidenciada, devido possivelmente à ocorrência de ventos que provocam maior turbulência da massa de água e ressuspensão de material do sedimento na coluna d'água, dificultando o estabelecimento da medida realizada com o disco de Secchi. No ponto P1 do reservatório do Lobo-Broa e nos pontos P2B, P3B e P4B do reservatório de Barra Bonita, o valor obtido para ZDS foi superestimado e no ponto P1B deste último foi subestimado (tabela 36), apresentando nestes pontos, maiores diferenciações nos valores da profundidade da zona eufótica determinada por ambos os métodos citados.

Apenas na superfície do ponto P2B do reservatório de Barra Bonita (período seco) a concentração de matéria inorgânica com 10,10 mg/L (figura 113), foi mais elevada que nos demais pontos mencionados anteriormente, cujos valores para concentração de material em suspensão foram menores que este. Os valores de concentração de material em suspensão no ponto P7B foram um dos mais altos com relação a todos os pontos estudados, principalmente de matéria inorgânica (figura 114), e no entanto o valor encontrado para a profundidade da zona eufótica foi o mesmo segundo os dois métodos.

No verão o valor obtido para o ZDS foi superestimado somente para o ponto P1 do reservatório do Lobo-Broa (tabela 35), que apresentou valores para concentração de matéria inorgânica maior que os de matéria orgânica (figura 115 A) na coluna d'água, e também maiores que os de matéria inorgânica obtidos nos pontos P1B a P4B do reservatório de Barra Bonita, na mesma estação do ano, possivelmente devido a entrada de material alóctone com a ocorrência de chuvas na região.

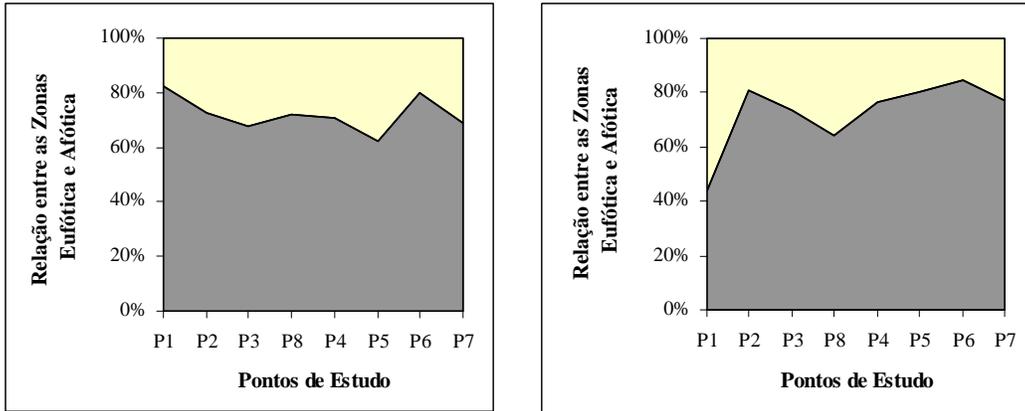
As figuras 116 e 119 indicam a relação entre as profundidades das zonas eufótica e afótica em toda a extensão dos reservatórios investigados, ilustrando qual percentual da coluna d'água que foi atingida pela radiação solar em cada ponto de estudo, oferecendo uma visão geral da parte que recebe radiação solar e da parte não iluminada de ambos reservatórios nas duas épocas do ano.

Uma comparação entre as relações $Z_{eu}/Z_{m\acute{a}x.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ em termos percentuais foi feita para os ambientes aquáticos estudados neste item, como ilustram as figuras 117 e 118 para o reservatório de Barra Bonita e as figuras 120 e 121 para o reservatório do Lobo-Broa, com a indicação da profundidade máxima de cada ponto, nos períodos estudados.

Nestes dois reservatórios, foram considerados como o ponto mais próximo à barragem, o ponto P3 para o reservatório do Lobo-Broa e P1B para o reservatório de Barra Bonita. Os demais pontos foram indicados conforme sua distância a estes pontos em relação à barragem, como ilustram as figuras 28 e 104 para a represa de Barra Bonita, e, 29 e 105 para a represa do Lobo-Broa. Esta ordenação de pontos nas figuras foi utilizada em todo o estudo da “varredura da radiação solar subaquática” na faixa fotossinteticamente ativa.

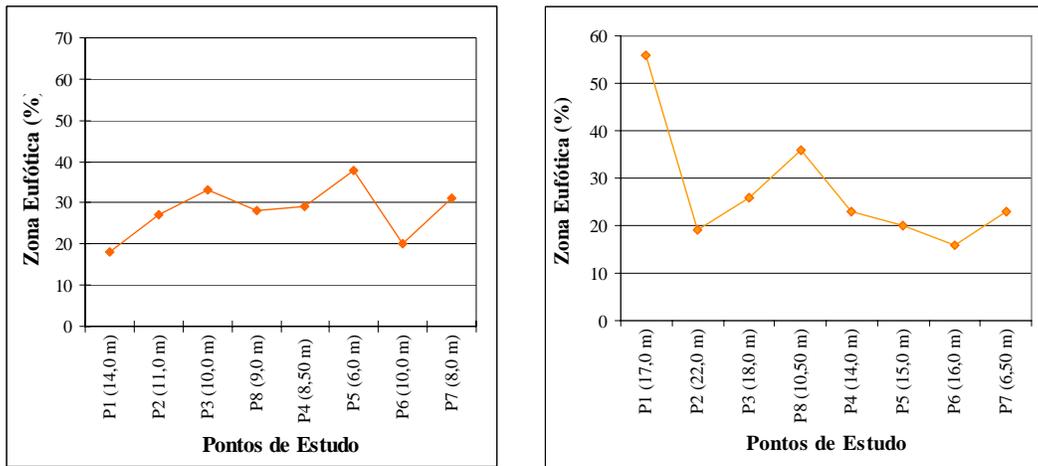
A profundidade da zona eufótica foi reduzida nos pontos estudados do reservatório de Barra Bonita em ambas as estações do ano, como mostram as figuras 116 (A e B). A radiação solar atingiu maior profundidade na coluna d’água no inverno (período seco) nos pontos P1B e P8B (figura 117 B), no verão (período chuvoso) nos pontos P2B, P3B, P5B e P7B (figura 117 A), e para os pontos P4B e P6B não ocorreu diferenciação relevante entre as duas estações do ano (figuras 117 A e B).

O percentual da coluna d’água que foi atingida pela radiação solar foi maior no reservatório do Lobo-Broa (figuras 119 A e B), comparada com aquele do reservatório de Barra Bonita (figuras 116 A e B) tanto no verão como inverno. O ponto P2 deste reservatório (Lobo-Broa) teve toda a coluna d’água iluminada em ambas as estações do ano, dada a sua reduzida profundidade; o ponto P4 apresentou 69% e 86% de sua profundidade máxima (em torno de 4,0 m) atingida pela radiação solar no verão e no inverno (figuras 119 A e B) respectivamente. No ponto P1 este percentual foi maior no verão atingindo 71% e o ponto P3 não apresentou diferenças relevantes entre ambas as estações do ano.



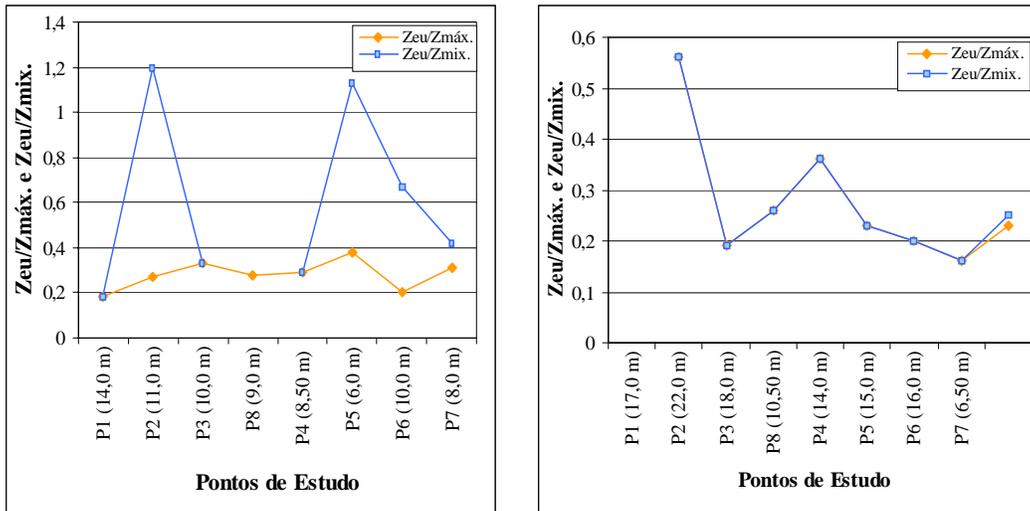
(A) Período de Alta Precipitação (B) Período Seco
Pontos de Estudo em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 116. Visão geral da penetração da radiação solar no reservatório de Barra Bonita através da relação entre as profundidades das zonas eufótica e afótica (%), em cada ponto de estudo nos períodos de alta precipitação em dezembro de 1999 (A), e seco em julho de 2000 (B).



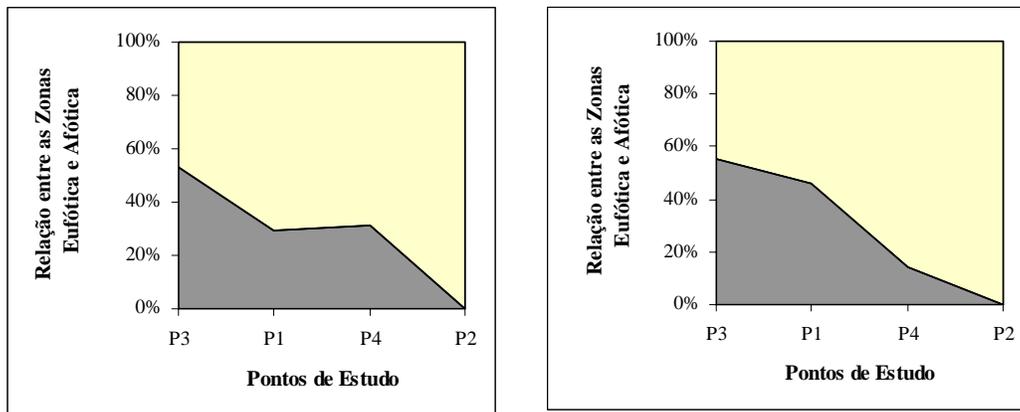
(A) Período Alta Precipitação (B) Período Seco
Pontos de Estudo em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 117. Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar em cada ponto de estudo (%) do reservatório de Barra Bonita, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em julho de 2000 (B).



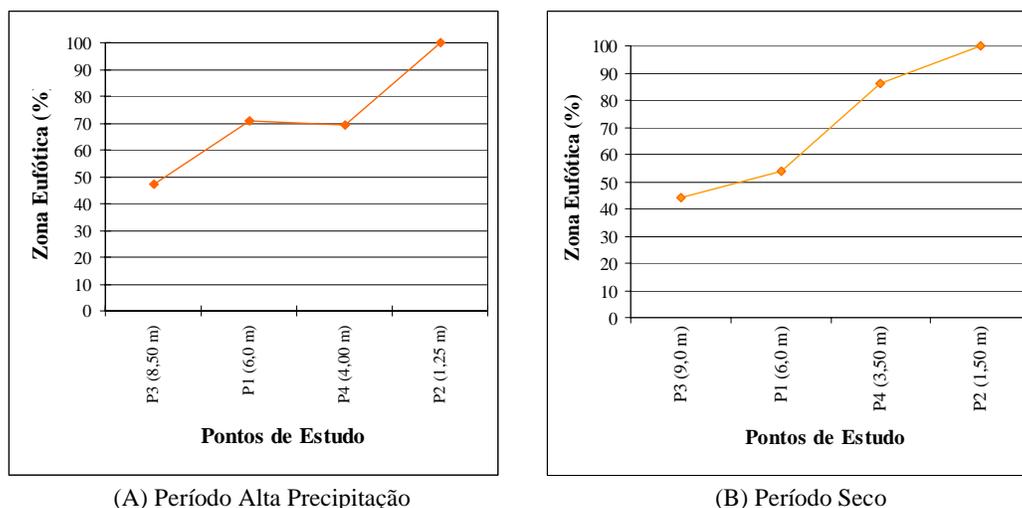
(A) Período Alta Precipitação (B) Período Seco
Pontos de Estudo em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 118. Comparação entre as relações $Zeu/Zmáx.$ e $Zeu/Zmix.$ em cada ponto de estudo do reservatório de Barra Bonita, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em julho de 2000 (B).



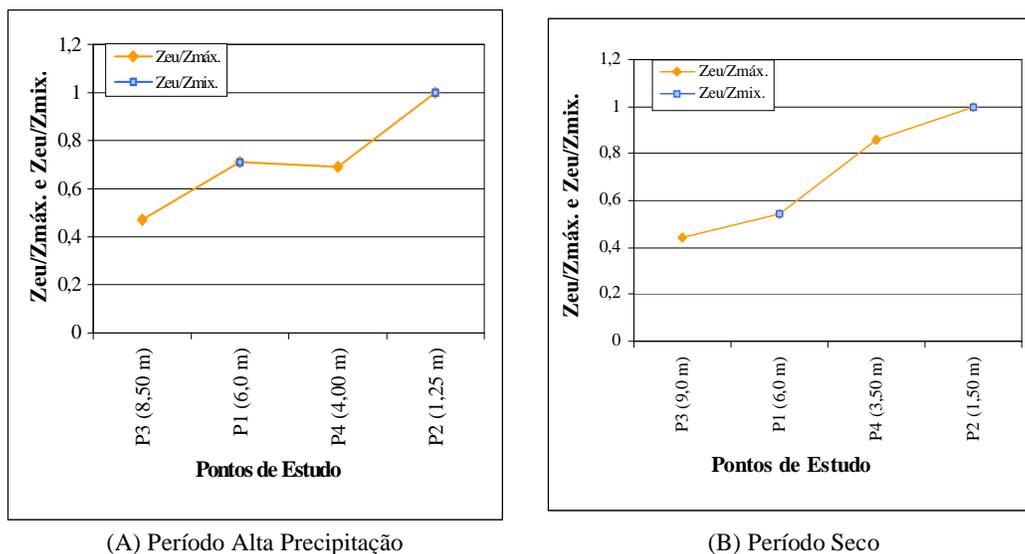
(A) Período de Alta Precipitação (B) Período Seco
Pontos de Estudo em toda a extensão do reservatório do Lobo-Broa

FIGURA 119. Visão geral da penetração da radiação solar no reservatório do Lobo-Broa através da relação entre as profundidades das zonas eupfótica e afótica (%), em cada ponto de estudo nos períodos de alta precipitação em dezembro de 1999 (A), e seco em agosto de 2000 (B).



Pontos de Estudo em toda a extensão do reservatório do Lobo-Broa

FIGURA 120. Comparação do quanto a coluna d'água foi atingida pela radiação solar em cada ponto de estudo (%) do reservatório do Lobo-Broa, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em agosto de 2000 (B).



Pontos de Estudo em toda a extensão do reservatório do Lobo-Broa

FIGURA 121. Comparação entre as relações $Zeu/Zmáx.$ e $Zeu/Zmix.$ em cada ponto de estudo do reservatório do Lobo-Broa, com a indicação da profundidade máxima nos mesmos, para os períodos de alta precipitação, em dezembro de 1999 (A); e seco, em agosto de 2000 (B).

No inverno, praticamente não ocorreu estratificação térmica ou química, nos pontos estudados em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita, em que a profundidade da zona de mistura foi praticamente coincidente com a profundidade máxima. Assim, neste período, as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ apresentaram valores aproximadamente iguais em cada ponto de sua extensão (figura 118 B), com valores entre 0,16 e 0,56 (tabela 36), indicando que a profundidade da zona eufótica foi menor que a da zona de mistura.

A estratificação térmica e química ocorreu no verão para este reservatório, nos pontos P2B, P5B e P6B com a profundidade da zona de mistura entre 2,0 m e 3,0 m nestes pontos e com valores para $Z_{eu}/Z_{mix.}$ iguais a 1,2 e 1,13 respectivamente para os pontos P2B e P5B, indicando que nestes pontos as profundidades das zonas de mistura e eufótica foram muito semelhantes, o que não ocorreu em P6B, que teve a profundidade da zona eufótica menor que a zona de mistura (figura 118 A). Os pontos P1B, P3B e P4B apresentaram toda a coluna d'água misturada (tabela 35) e os valores das relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ foram iguais em cada um desses pontos entre 0,18 e 0,33, sendo portanto, a profundidade da zona eufótica menor que a da zona de mistura.

Para o reservatório do Lobo-Broa, a profundidade da zona de mistura foi praticamente coincidente com a profundidade máxima nos pontos onde foram realizados o perfil térmico em ambas as estações do ano, cujos valores encontrados para $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$ foram os mesmos em cada ponto e menor que 1,0 para o ponto P1 e igual a 1,0 para P2, indicando que em P1 a profundidade da zona eufótica foi menor que a da zona de mistura e em P2 estas profundidades foram iguais (figuras 121 A e B).

6.4.4 Atenuação da radiação solar subaquática e sua composição

As tabelas 37 a 42 contém os valores para o coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x , devido respectivamente à própria água e compostos dissolvidos, fitoplâncton e material

particulado (frações orgânica e inorgânica) contidos na água dos reservatórios ora estudados.

As coletas realizadas para o reservatório de Barra Bonita em novembro de 1999 (tabela 24) e dezembro de 1999 (tabelas 37 e 38), apresentaram os percentuais relativos à contribuição de cada componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar relativamente semelhantes, nos mesmos pontos estudados nestas coletas, a saber: P1 (denominado P1B na coleta de dezembro), P2 (denominado P6B na coleta de dezembro, em trecho do rio Tietê) e P3 (denominado P7B na coleta de dezembro, em trecho do rio Piracicaba). A parcela referente a K_c foi de 79,3% do valor de K_t , na superfície do ponto P7B, do estudo realizado em dezembro de 1999 (tabela 38), constituindo-se da maior parcela de contribuição deste componente de todos os pontos estudados.

No período seco, para os pontos estudados nesse mesmo reservatório, (em julho de 2000), o percentual do componente relativo ao fitoplâncton (K_c), foi maior em grande parte da coluna d'água (tabela 40 e 41) que para este mesmo componente nos pontos estudados nos reservatórios do Baixo Tietê: Três Irmãos (tabela 20), Nova Avanhandava (tabela 21) e Promissão (tabela 22), obtidos no inverno do ano anterior (julho de 1999).

O estudo realizado em toda a extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa mostrou que o valor de K_t , coeficiente de atenuação total da radiação solar, foi maior no verão na maioria dos pontos estudados. Este valor foi menor a partir de 0,5 m no ponto P7B do primeiro reservatório (tabela 38) e do primeiro metro no ponto P1 do último reservatório citado (tabela 39), nesta época do ano.

O componente K_x , devido ao material em suspensão contido na água, foi o maior contribuinte para a atenuação da radiação solar subaquática na maioria dos casos, dado o escoamento de matéria de origem orgânica e inorgânica para o corpo d'água com a ocorrência de chuvas, neste período.

TABELA 37. Coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P1B, P2B, P3B e P4B, em dezembro/99 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
P1B 07/12/99 11:50h Z. Afótica	100	0,00	3,952	0,035	0,8	1,022	25,9	2,895	73,3
	19	0,50	3,284	0,035	1,1	0,768	23,4	2,481	75,5
	11	1,00	2,181	0,035	1,6	0,422	19,3	1,724	79,1
	1	2,50	1,821	0,037	2,0	0,869	47,7	0,915	50,3
	Z. Afótica	4,50	1,555	0,037	2,4	0,439	28,2	1,079	69,4
P2B 07/12/99 15:25h Z. Afótica	100	0,00	2,651	0,030	1,1	0,232	8,8	2,389	90,1
	20	0,75	2,129	0,041	1,9	0,453	21,3	1,635	76,8
	10	1,25	1,822	0,035	1,9	0,288	15,8	1,499	82,3
	0,8	3,00	1,601	0,037	2,3	0,497	31,0	1,067	66,7
	Z. Afótica	6,00	1,110	0,055	5,0	0,618	55,7	0,437	39,3
P3B 09/12/99 13:20h Z. Afótica	100	0,00	1,588	0,035	2,2	0,637	40,1	0,916	57,7
	42	0,50	1,735	0,037	2,1	0,630	36,3	1,068	61,6
	24	1,50	0,951	0,039	4,1	0,687	72,2	0,225	23,7
	7,6	2,25	1,145	0,032	2,8	0,214	18,7	0,899	78,5
	1	3,25	1,430	0,035	2,4	0,307	21,5	1,088	76,1
Z. Afótica	7,00	1,019	0,041	4,0	0,153	15,0	0,825	81,0	
P4B 09/12/99 11:00h Z. Afótica	100	0,00	3,760	0,037	1,0	0,359	9,5	3,364	89,5
	25	0,25	5,545	0,037	0,7	0,509	9,2	4,999	90,1
	7,7	1,00	2,560	0,044	1,7	0,665	26,0	1,851	72,3
	0,8	2,50	1,911	0,037	1,9	0,510	26,7	1,364	71,4
	Z. Afótica	5,00	1,678	0,037	2,2	0,679	40,5	0,962	57,3

RESULTADOS

TABELA 38. Coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P5B, P6B, e P7B, em dezembro/99 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
	100	0,00	2,903	0,046	1,6	1,396	48,1	1,461	50,3
P5B	30	0,50	2,379	0,048	2,0	1,569	66,0	0,762	32,0
08/12/99	10	1,00	2,347	0,041	1,7	1,354	57,7	0,952	40,6
13:45h	0,9	2,25	2,072	0,041	2,0	0,536	25,9	1,495	72,1
Z. Afótica		5,00	1,825	0,041	2,3	0,351	19,2	1,433	78,5
	100	0,00	2,596	0,071	2,7	0,817	31,5	1,708	65,8
P6B	23	0,50	2,897	0,067	2,3	1,482	51,2	1,348	46,5
08/12/99	7	1,00	2,678	0,060	2,2	1,145	42,8	1,473	55,0
15:10h	1	2,00	2,334	0,062	2,7	0,563	24,1	1,709	73,2
Z. Afótica		5,00	1,483	0,051	3,4	0,284	19,1	1,148	77,5
	100	0,00	2,917	0,214	7,3	2,313	79,3	0,390	13,4
P7B	23	0,50	2,927	0,032	1,1	0,783	26,8	2,112	72,1
08/12/99	8	1,00	2,530	0,083	3,3	0,344	13,6	2,103	83,1
11:25h	1	2,50	1,835	0,032	1,7	0,264	14,4	1,539	83,9
Z. Afótica		5,00	2,179	0,039	1,8	0,155	7,1	1,985	91,1

TABELA 39. Coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa do Lobo-Broa, em dezembro/99 (Primeira Coleta – Período Chuvoso).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
	100	0,00	2,401	0,039	1,6	0,079	3,3	2,283	95,1
P1	20	0,50	3,219	0,039	1,2	0,000	0,0	3,180	98,8
10/12/99	11	1,50	1,465	0,037	2,5	0,061	4,2	1,367	93,3
09:40h	1	4,25	1,092	0,041	3,8	-	-	-	-
Z. Afótica		6,00	1,201	0,044	3,7	0,084	7,0	1,073	89,3
P2	100	0,00	4,312	0,064	1,5	0,150	3,5	4,098	95,0
10/12/99	7	0,50	5,416	0,066	1,2	0,283	5,2	5,067	93,6
09:15h	0,7	1,25	4,009	0,076	1,9	0,304	7,6	3,629	90,5

O maior valor para K_t foi obtido no verão a 0,25 m de profundidade no ponto P4B, com 90,1% de contribuição do componente K_x (tabela 37), que apresentou os maiores valores para concentração de matéria orgânica de todos os pontos estudados (figura 112). Somente em determinadas profundidades dos pontos de estudo no reservatório de Barra Bonita, é que a maior contribuição passou a ser do componente K_c , como ocorreu a 6,0 m de profundidade do ponto P2B que teve sua parcela de contribuição em 55,7 % do valor de K_t ; a 1,5 m de P3B com 72,2% (tabela 37); no ponto P5B esta contribuição foi de 66,0% a 0,5 m e 57,7% a 1,0 m e no primeiro metro dos pontos P6B e P7B este percentual foi respectivamente de 51,2% e de 79,3% (tabela 38).

Na região em que ocorreu estratificação térmica ou química no reservatório de Barra Bonita no verão, foi observado aumento do valor das concentrações de matéria orgânica e de clorofila total (figura 111) e aumento na parcela de contribuição de K_c para o ponto P2B (tabela 37); no primeiro metro dos pontos P5B e P6B o valor destas concentrações foi maior que no restante da coluna d'água (figura 113) e foi também maior a contribuição de K_c nestas profundidades, atingindo a 0,5 m de P5B percentual maior que o de K_x , o mesmo ocorreu nesta profundidade para P6B (tabela 38). Na superfície do ponto P7B foi verificado o maior aumento das concentrações mencionadas, comparadas com todos os pontos de estudos deste reservatório, cujo percentual obtido para K_w e K_c foram respectivamente 7,3% e 79,3%, sendo estas as maiores contribuições de tais componentes nesta época do ano.

Em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita, no inverno, houve aumento na contribuição do componente K_w , em termos percentuais comparativamente à do verão. No ponto P3B a parcela de contribuição deste componente foi de 7,4% na superfície e de 17,7% a 4,75 m de profundidade, os maiores valores obtidos para K_w dentre todos os pontos estudados (tabela 40).

A maior parcela de contribuição do componente K_c , neste período, foi a 9,5m no ponto P1B com 49,1% de K_t , restando para o componente K_x o percentual de 44,0% (tabela 40). Nesta época do ano, o componente K_x teve a

contribuição mais relevante para a atenuação da radiação solar subaquática, embora os valores percentuais, em algumas profundidades, tenham sido menos expressivos que no verão. Na superfície dos pontos P2B, P3B e P4B a parcela Kx foi respectivamente de 54,6%, 48,0% e de 57,7%, e assim os demais componentes tiveram contribuição maior, conforme a tabela 40.

TABELA 40. Coeficiente de atenuação total da radiação solar, Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx para a represa de Barra Bonita, nos pontos P1B, P2B, P3B e P4B, em julho/2000 (Segunda Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx	
				(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%	(m ⁻¹)	%
P1B 29/07/2000 08:15h	100	0,00	0,869	0,023	2,6	0,260	30,0	0,586	67,4
	53	0,50	1,272	0,023	1,8	0,204	16,0	1,045	82,2
	22	1,75	0,871	0,025	2,9	0,226	26,0	0,620	71,1
	10	3,00	0,768	0,025	3,3	0,228	29,7	0,515	67,0
	1	9,50	0,409	0,028	6,9	0,201	49,1	0,180	44,0
Z. Afótica	15,00	0,542	0,023	4,2	0,183	33,8	0,336	62,0	
P2B 28/07/2000 13:20h	100	0,00	1,212	0,083	6,9	0,467	38,5	0,662	54,6
	53	0,50	1,265	0,071	5,6	0,224	17,7	0,970	76,7
	28	1,00	1,269	0,030	2,4	0,310	24,4	0,929	73,2
	10	2,00	1,128	0,030	2,7	0,317	28,1	0,781	69,2
	0,8	4,25	1,124	0,030	2,7	0,328	29,2	0,766	68,1
Z. Afótica	15,00	0,738	0,028	3,8	0,297	40,2	0,413	56,0	
P3B 28/07/2000 11:15h	100	0,00	0,433	0,032	7,4	0,193	44,6	0,208	48,0
	46	0,75	1,047	0,041	3,9	0,104	9,9	0,902	86,2
	21	1,50	1,039	0,030	2,9	0,200	19,2	0,809	77,9
	10	2,25	1,023	0,028	2,7	0,195	19,1	0,800	78,2
	0,8	4,75	1,019	0,180	17,7	0,209	20,5	0,630	61,8
Z. Afótica	15,00	0,730	0,035	4,8	0,178	24,4	0,517	70,8	
P4B 28/07/2000 09:00h	100	0,00	1,136	0,064	5,6	0,417	36,7	0,655	57,7
	47	0,50	1,508	0,046	3,1	0,379	25,1	1,083	71,8
	20	1,0	1,609	0,048	3,0	0,353	21,9	1,208	75,1
	9,4	1,50	1,575	0,032	2,0	0,386	24,5	1,157	73,5
	0,8	3,25	1,500	0,037	2,5	0,369	24,6	1,094	72,9
Z. Afótica	10,00	1,043	0,037	3,5	0,397	38,1	0,609	58,4	

TABELA 41. Coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa de Barra Bonita, nos pontos P5B, P6B, e P7B, em julho/2000 (Segunda Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x		
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	
P5B	100	0,00	1,709	0,051	3,0	0,584	34,2	1,074	62,8	
	38	0,50	1,911	0,046	2,4	0,613	32,1	1,252	65,5	
	27/07/2000	23	0,75	1,955	0,062	3,2	0,601	30,7	1,292	66,1
	14:30h	8	1,50	1,677	0,039	2,3	0,550	32,8	1,088	64,9
		0,8	3,00	1,583	0,041	2,6	0,551	34,8	0,991	62,6
Z. Afótica		15,00	0,724	0,037	5,1	0,307	42,4	0,380	52,5	
P6B	100	0,00	1,459	0,053	3,6	0,513	35,2	0,893	61,2	
	33	0,50	2,197	0,055	2,5	0,486	22,1	1,656	75,4	
	27/07/2000	13	0,75	2,039	0,055	2,7	0,525	25,7	1,459	71,6
	15:45h	8	1,25	2,015	0,055	2,7	0,484	24,0	1,476	73,3
		0,7	2,50	2,004	0,052	2,6	0,484	24,2	1,468	73,2
Z. Afótica		10,00	1,279	0,055	4,3	0,398	31,1	0,827	64,6	
P7B	100	0,00	2,301	0,127	5,5	0,147	6,4	2,027	88,1	
	50	0,25	2,773	0,129	4,7	0,088	3,2	2,556	92,1	
	27/07/2000	19	0,50	3,284	0,131	4,0	0,087	2,7	3,066	93,3
	10:15h	3,2	1,00	3,434	0,129	3,8	0,092	2,7	3,213	93,5
		0,8	1,50	3,214	0,134	4,2	0,080	2,5	3,000	93,3

O nível da água do reservatório do Lobo-Broa não sofreu grandes variações nas duas estações do ano, cujas medidas foram efetuadas em horários semelhantes para o ponto P1 e para o ponto P2 respectivamente, como ilustram as tabelas 39 e 42. Situações estas, que de certa forma facilitaram o estudo comparativo da penetração da radiação solar nos pontos estudados, o que não ocorreu para o reservatório de Barra Bonita cujos dados da primeira coleta, no verão (dezembro de 1999) apresentaram níveis de água inferiores aos obtidos na segunda coleta, no inverno (julho de 2000), e portanto, este reservatório apresentou grande variação na profundidade máxima em cada ponto analisado, para cada uma das estações do ano (tabelas 35 e 36).

Até 1,5 m de profundidade do ponto P1 do reservatório do Lobo-Broa, o coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , foi maior no verão (tabela 39), depois ocorreu o contrário, com valores menores que os do inverno (tabela 42) e a profundidade da zona eufótica foi maior no verão (tabela 35). No período seco, os valores do componente K_c , em percentagem, foi maior entre 1,0 m e 1,75 m do ponto P1 (tabela 42), região em que as concentrações de matéria orgânica e de clorofila total também foram maiores na coluna d'água (figura 109 B). A contribuição do componente K_c , em termos percentuais, no ponto P2, e do componente K_w em ambos os pontos de estudo, foram maiores no inverno (tabela 42) comparados aos do verão (tabela 39).

TABELA 42. Coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a represa do Lobo-Broa, em agosto/2000 (Segunda Coleta – Período Seco).

Pontos de Estudo	R.F.A (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x		
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	
P1 07/08/2000	100	0,00	1,402	0,041	2,9	0,030	2,1	1,331	95,0	
	50	0,50	1,386	0,044	3,2	0,041	3,0	1,301	93,8	
	27	1,00	1,317	0,041	3,1	0,115	8,7	1,161	88,1	
	10:05h	10	1,75	1,326	0,039	2,9	0,142	10,7	1,145	86,4
	1	3,25	1,446	0,044	3,0	0,098	6,8	1,304	90,2	
	Z. Afótica	5,50	1,296	0,046	3,6	0,079	6,1	1,171	90,3	
P2 07/08/2000	100	0,00	1,386	0,055	4,0	0,142	10,2	1,189	85,8	
	39	0,50	1,902	0,058	3,0	0,132	6,9	1,712	90,1	
	09:15h	15	1,00	1,928	0,053	2,7	0,233	12,1	1,642	85,2

6.4.5 Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A)

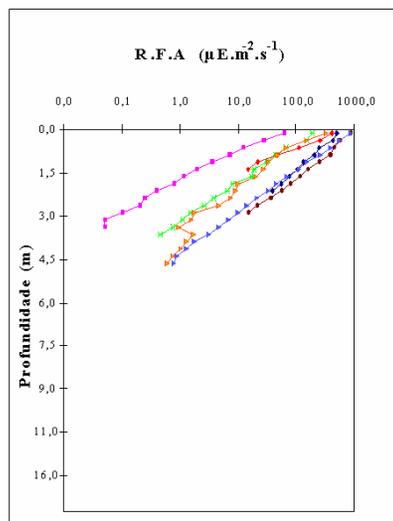
O fluxo da radiação solar incidente sobre a superfície de um corpo d'água, está sujeito aos processos de absorção e de espalhamento, em decorrência disto, a irradiância do campo de radiação solar diminui exponencialmente com a profundidade desse ambiente aquático.

É apresentado, sob a forma de gráficos, como ocorreu a penetração da radiação solar relacionando o logaritmo da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) com a profundidade em cada ponto dos reservatórios de Barra Bonita, como ilustram as figuras 122 e 123 e do Lobo-Broa (figura 124), de modo a percorrer toda a extensão dos mesmos, em duas épocas do ano diferenciadas: o período seco entre julho e agosto e o período chuvoso em dezembro.

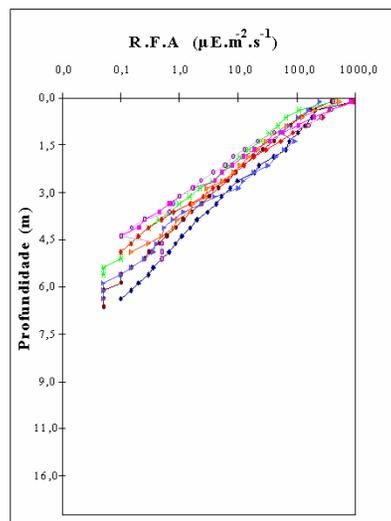
A radiação solar foi fortemente atenuada desde a superfície do meio aquático, na maioria dos pontos estudados, cuja representação está ilustrada através de gráficos que indicam os valores, em percentagem, da radiação solar que atingiu a superfície aquática e aquela em que correspondeu à radiação solar atenuada na interface ar-água, uma vez medida a radiação solar no ar. As figuras 125 e 126 mostram a comparação entre estes percentuais nas épocas de verão e inverno respectivamente, no reservatório de Barra Bonita e a figura 127 para o reservatório do Lobo-Broa, em ambas as estações do ano.

Mediante a radiação solar que atinge a superfície aquática desses reservatórios, tomada como referencial, foi determinado o percentual em que esta atingiu em determinadas profundidades e que estão indicadas nas figuras 128 e 129 para os respectivos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, sendo anotado no eixo das abscissas a profundidade máxima de cada um desses pontos. Com base nestes percentuais, pôde-se fazer a comparação de como ocorreu a penetração da radiação solar em cada ponto destes reservatórios, nas duas épocas do ano e em toda sua extensão.

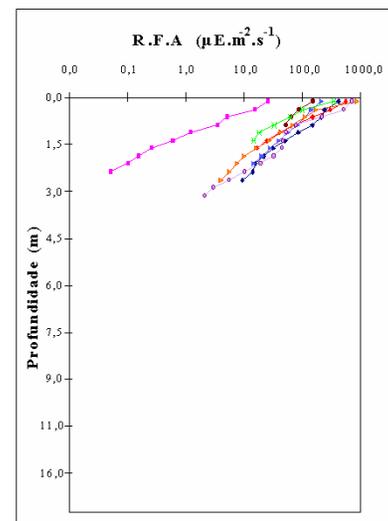
Os pontos analisados do reservatório do Lobo-Broa apresentaram, no inverno, a menor atenuação da radiação solar ao passar do ar para a superfície



MARGEM DIREITA: PA



CENTRO: PB



MARGEM ESQUERDA: PC

Período de Alta Precipitação

PONTOS DE ESTUDO EM TODA A EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

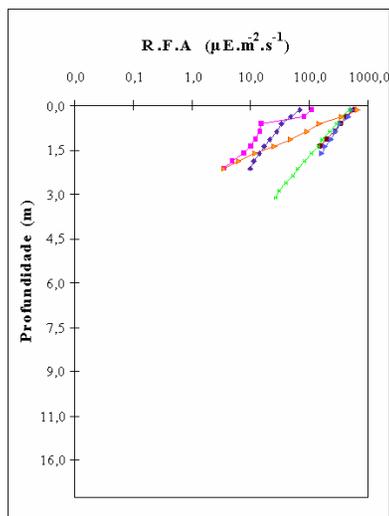
Legenda:

- ◆ P1 (Barragem) 07/12/99
- P2 (Barragem) 07/12/99
- ▲ P3 (Barragem) 09/12/99
- * P4 (Tietê/Piracicaba) 09/12/99
- P5 (Tietê/Piracicaba) 08/12/99
- P6 (Tietê) 08/12/99
- ▲ P7 (Piracicaba) 08/12/99
- P8 (Tietê/Piracicaba) 09/12/99

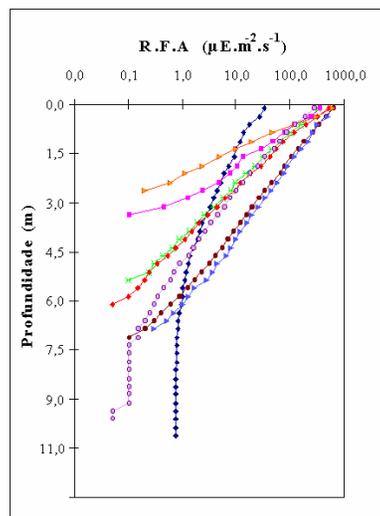
Horários:

	PA	PB	PC	PA	PB	PC	
P1	13:00h	11:50h	13:40h	P5	17:15h	13:45h	16:35h
P2	14:30h	15:25h	16:25h	P6	17:50h	15:10h	18:20h
P3	15:05h	13:20h	14:30h	P7	13:00h	11:25h	12:25h
P4	12:30h	11:00h	12:00h	P8	-	16:00h	16:50h

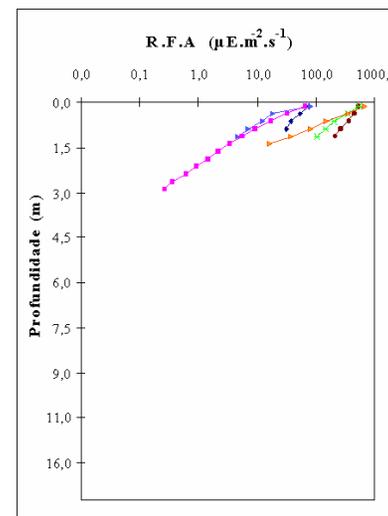
FIGURA 122. Perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A , em escala logarítmica, nas margens direita (PA) e esquerda (PC) e no centro (PB) de cada um dos oito pontos estudados em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita, no período chuvoso em dezembro de 1999.



MARGEM DIREITA: PA



CENTRO: PB



MARGEM ESQUERDA: PC

Período Seco

PONTOS DE ESTUDO EM TODA A EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

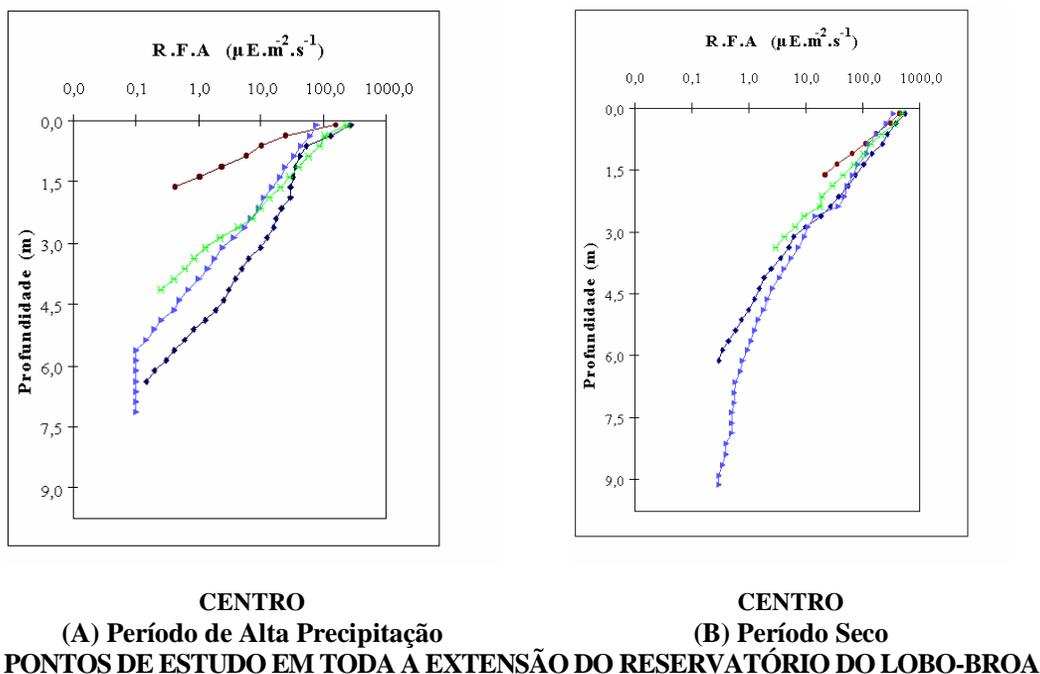
Legenda:

- ◆ P1 (Barragem) 29/07/00
- P2 (Barragem) 28/07/00
- ▲ P3 (Barragem) 28/07/00
- * P4 (Tietê/Piracicaba) 28/07/00
- P5 (Tietê/Piracicaba) 27/07/00
- P6 (Tietê) 27/07/00
- ▲ P7 (Piracicaba) 27/07/00
- P8 (Tietê/Piracicaba) 28/07/00

Horários:

	PA	PB	PC	PA	PB	PC
P1	09:00h	08:15h	09:25h	P5	-	14:30h
P2	13:00h	13:20h	14:15h	P6	16:45h	17:00h
P3	12:10h	11:15h	17:10h	P7	12:10h	10:15h
P4	10:30h	09:00h	10:00h	P8	-	16:00h

FIGURA 123. Perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A , em escala logarítmica nas margens direita (PA) e esquerda (PC)e no centro (PB) de cada um dos oito pontos estudados em toda a extensão do reservatório de Barra Bonita, no período seco em julho de 2000.



Legenda:

(A) Período de Alta Precipitação

- ◆ P1 10/12/99 - 09:40h
- P2 10/12/99 - 09:15h
- ▲ P3 10/12/99 - 10:45h
- * P4 10/12/99 - 11:45h

(B) Período Seco

- ◆ P1 07/08/00 - 10:05h
- P2 07/08/00 - 09:10h
- ▲ P3 07/08/00 - 10:40h
- * P4 07/08/00 - 09:40h

FIGURA 124. Perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A , em escala logarítmica, no centro de cada um dos quatro pontos estudados em toda a extensão do reservatório do Lobo-Broa nos períodos chuvoso, em dezembro de 1999 (A); e seco, em agosto de 2000 (B).

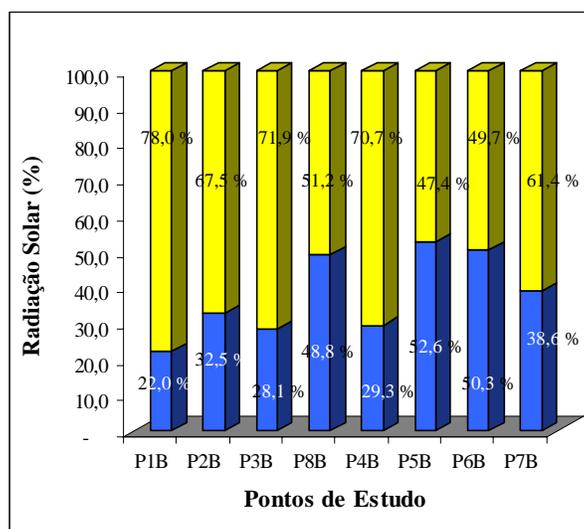
aquática atingindo a mesma entre 36,8 % e 38,6 % daquela medida no ar, e a maior ocorreu no verão, no ponto P3, com penetração de 21,9 % desta, como mostra a figura 127. Esta atenuação, contudo foi homogênea em cada época estudada, levando-se em consideração toda a extensão do reservatório.

Esta homogeneidade em cada época do ano não ocorreu nos pontos observados do reservatório de Barra Bonita. A atenuação da radiação solar ao atingir a superfície aquática foi maior no verão para os pontos situados no centro do reservatório, a saber: P1B com 22,0% do valor da radiação solar medida no ar,

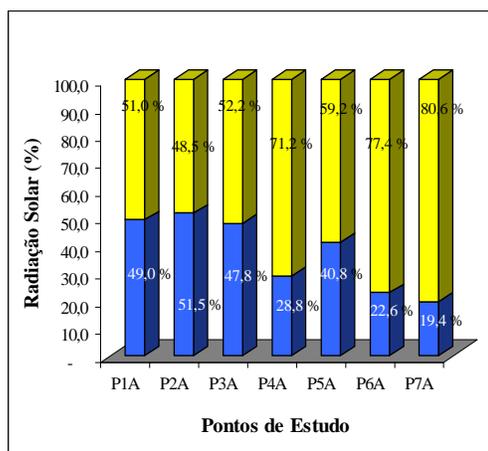
P3B e P4B com valores respectivamente iguais a 28,1% e 29,3% (figura 125). Para os pontos situados nas margens, esta atenuação foi maior no inverno (figura 126), cujos valores foram de 12,8% e 12,3% nas respectivas margens direita (P6A) e esquerda (P6C) do ponto P6. No verão, o ponto P3C (margem esquerda) apresentou a maior atenuação deste período, com apenas 13,5% da radiação solar medida no ar atingindo a superfície aquática (figura 118).

A curva obtida para o perfil da radiação fotossinteticamente ativa, representada em escala logarítmica, foi aproximadamente linear na maioria dos estudos realizados. No inverno (figura 123) ocorreu alteração na inclinação da curva de modo acentuado nos pontos P1B e P6B localizados na parte central do reservatório de Barra Bonita e nas margens nos pontos P6A (margem direita), P6C e P3C (margem esquerda). O valor da concentração de clorofila total na coluna d'água do ponto P1B foi maior na superfície e o valor da concentração de material em suspensão foi baixo (figura 113), região em que ocorreu a alteração na inclinação da curva do perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., já para o ponto P6B esta alteração ocorreu nos dois primeiros metros, região em que houve diminuição do valor de oxigênio dissolvido na água (figura 109) e valores altos para concentração de clorofila total (figura 114) com a maior contribuição do componente Kc em 35,2% para o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática (tabela 41) de toda a coluna d'água neste ponto.

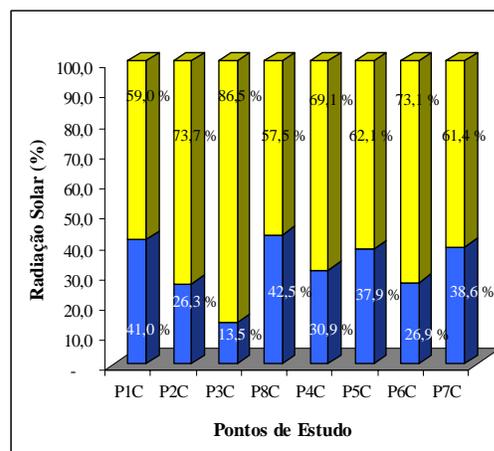
Neste mesmo período, devido a ação de ventos fortes no local do ponto P3 (centro e margens), o estudo em P3C só foi possível de ser realizado às 17:10h, cinco horas depois do estudo realizado nos outros pontos, P3A e P3B, como ilustra a figura 123, em cuja superfície foi formada uma camada espessa de *microcystis* sp influenciando a penetração da radiação solar neste ponto, o que pode ser claramente observado na figura 128. No ponto P3B a 0,75 m o Kt foi consideravelmente maior que a 0,0 m (tabela 40), proximidades em que ocorreu mudança na inclinação da curva do perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A.



CENTRO



MARGEM DIREITA



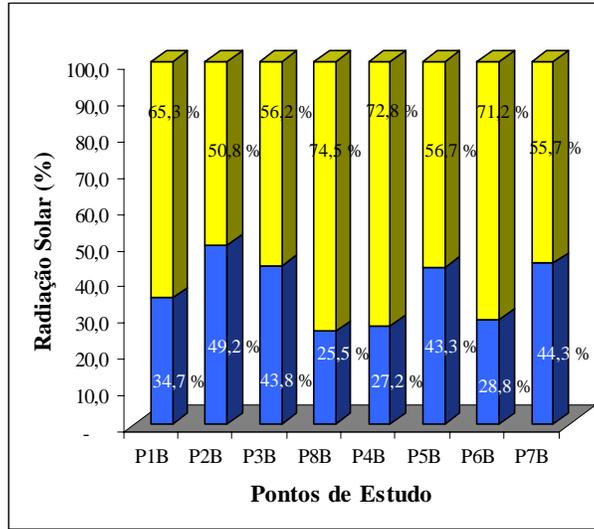
MARGEM ESQUERDA

Período de Alta Precipitação

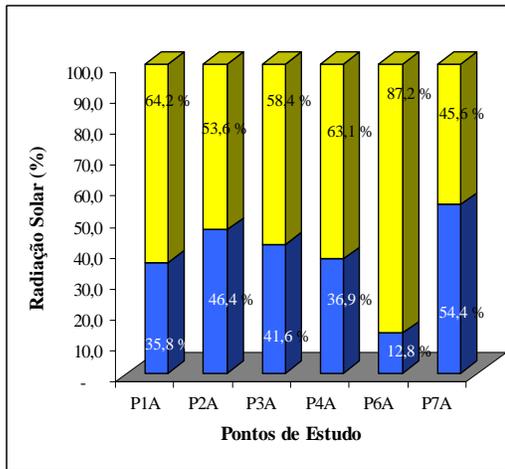
PONTOS DE ESTUDO EM TODA EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

- Legenda:
- Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
 - Radiação Solar na superfície da água (%)

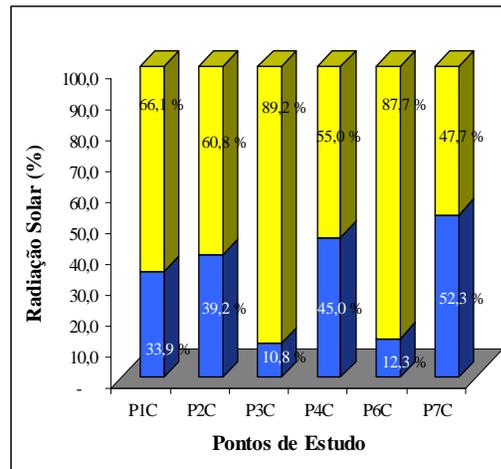
FIGURA 125. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nas margens direita e esquerda e no centro dos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso.



CENTRO



MARGEM DIREITA



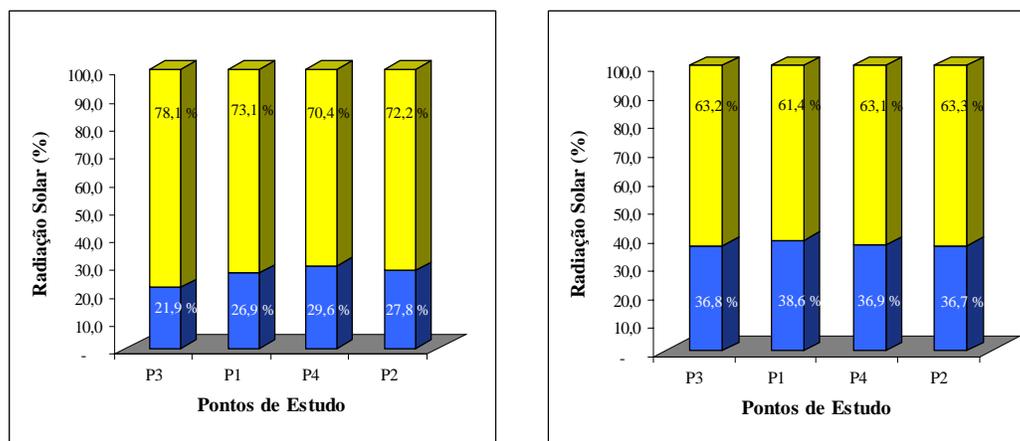
MARGEM ESQUERDA

Período Seco

PONTOS DE ESTUDO EM TODA EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

- Legenda:
- Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
 - Radiação Solar na superfície da água (%)

FIGURA 126. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água nas margens direita e esquerda e no centro dos pontos de estudo do reservatório de Barra Bonita em julho de 2000, período seco.



(A) Período de Alta Precipitação

(B) Período Seco

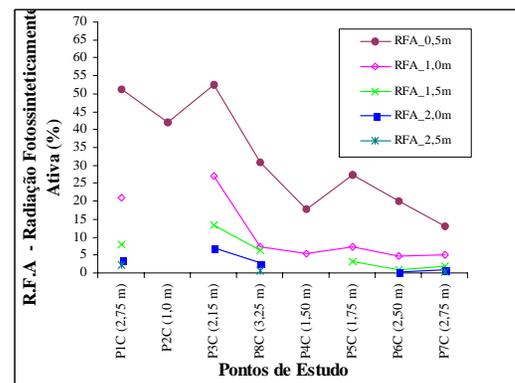
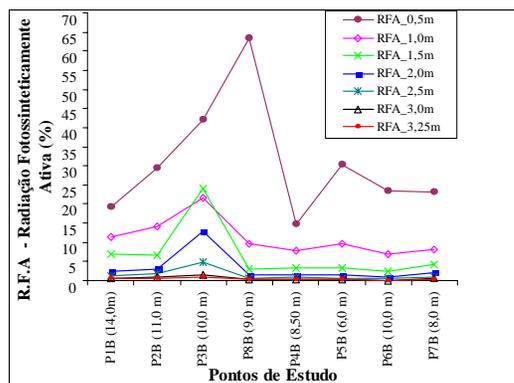
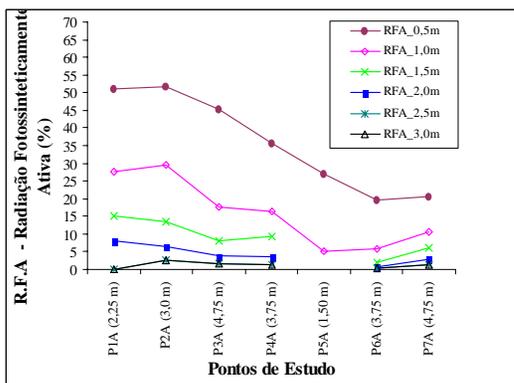
PONTOS DE ESTUDO EM TODA EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO O LOBO-BROA

Legenda: ■ Radiação Solar atenuada ao atravessar a interface ar-água (%)
■ Radiação Solar na superfície da água (%)

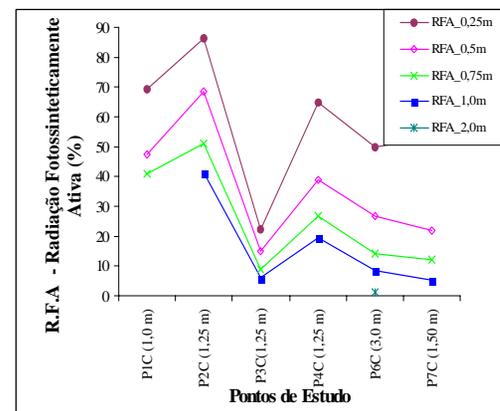
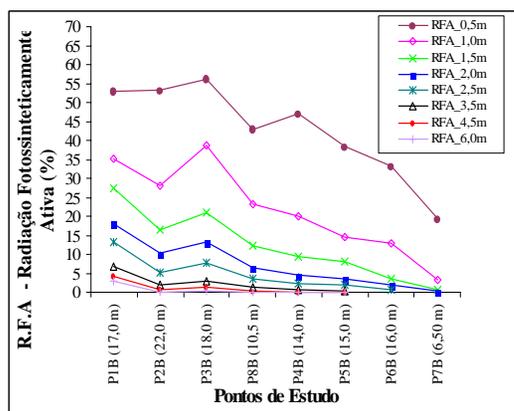
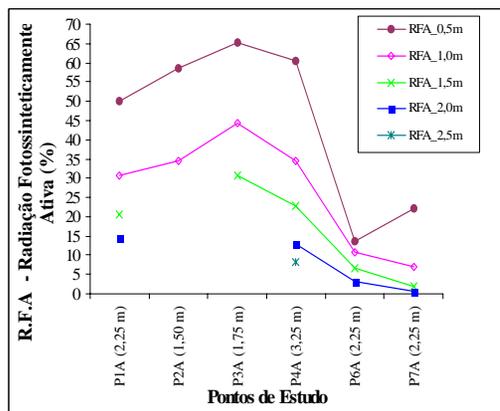
FIGURA 127. Comparação entre o percentual da radiação solar que atinge a superfície aquática e o da radiação solar atenuada ao atravessar a interface ar-água no centro dos pontos de estudo do reservatório do reservatório do Lobo-Broa, em dezembro de 1999, período chuvoso (A); e em agosto de 2000, período seco (B).

O percentual de radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A, que penetrou na coluna d'água foi maior no período seco (inverno), principalmente para os pontos localizados na parte central do reservatório de Barra Bonita, como ilustra a figura 128, cujos valores para Kt, de uma forma geral foram menores que no verão. Nesta época do ano (período seco), o valor de Kt na superfície do ponto P3B foi o menor valor obtido de todo o estudo (tabela 40) e a menor atenuação para a radiação solar (figura 128 B).

No verão, para este mesmo reservatório (Barra Bonita), foi observada variação na inclinação da curva do perfil da radiação fotossinteticamente ativa em várias profundidades (figura 122), dada a presença de nuvens encobrindo o Sol em grande parte do período em que foram efetuadas as medidas de radiação solar subaquática, ora aumentando de valor, ora diminuindo, o que pode ser constatado com mais evidência entre a superfície e 1,50 m de profundidade dos pontos P3B, P8B e P8C; e entre 2,50 m e 3,50 m de profundidade em P7A (figura 122), esta situação também é ilustrada na figura 128 A.



(A) Período de Alta Precipitação



(B) Período Seco

MARGEM DIREITA

CENTRO

MARGEM ESQUERDA

PONTOS DE ESTUDO EM TODA A EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

FIGURA 128. Percentual da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., que atinge determinadas profundidades que estão indicadas na figura, em cada ponto estudado nas margens direita e esquerda e no centro do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso (A); e em julho de 2000, período seco (B).

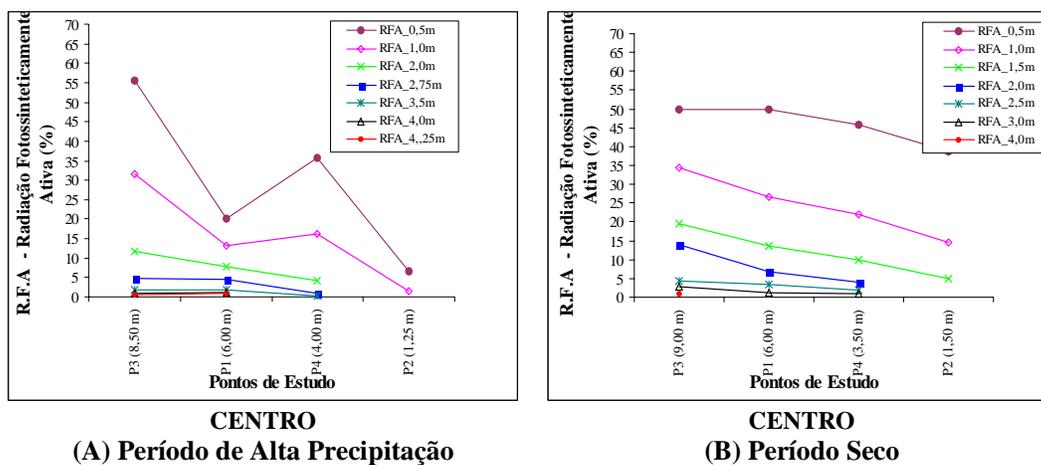
Em outros pontos do reservatório de Barra Bonita não foi observado o aparecimento de nuvens encobrendo o Sol, mas foi observada alteração na inclinação da curva para o perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., no primeiro metro de P6B (figura 122). Essa região apresentou altos valores para concentração de clorofila total e de material em suspensão com redução dos mesmos para as demais profundidades (figura 112). O ponto P1B, neste período chuvoso, apresentou redução da concentração de clorofila total (figura 111), região em que apresentou alteração na inclinação da curva (figura 112) do perfil de radiação fotossinteticamente ativa, semelhante ocorrência no ponto P7B em que os valores de concentração de clorofila total e de matéria orgânica foram altos na superfície reduzindo de valor ao longo da coluna d'água (figura 112).

O valor de K_t a 0,25m no ponto P4B, no verão, foi o maior valor obtido durante o estudo das duas épocas do ano (tabela 37) e a conseqüente maior atenuação da radiação solar em torno de 0,50 m, conforme a figura 128 A. Nas proximidades de 0,50 m de profundidade do ponto P7B, o valor obtido para K_t foi semelhante nas duas estações do ano, o mesmo ocorreu com o valor do percentual da radiação fotossinteticamente ativa atingindo esta profundidade (figura 128). A 1,0 m de profundidade deste mesmo ponto, o valor de K_t foi maior no inverno, aumentando a atenuação da radiação solar na coluna d'água, e como conseqüência, o percentual de radiação fotossinteticamente ativa nesta profundidade foi menor (figura 128 B), enquanto que no verão ocorreu o contrário, uma vez que o valor de K_t foi menor. O efeito resultante foi que a profundidade da zona eufótica no verão foi maior que no inverno.

Situação semelhante a esta ocorreu no reservatório do Lobo-Broa, no ponto P1 (apenas região central), no qual o valor de K_t até 1,0 m de profundidade foi maior no verão (tabela 39) com atenuação da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., maior que no inverno nesta região (figura 129); contudo a partir desta profundidade a situação inverteu-se, cujo resultado final foi que a profundidade da zona eufótica foi maior no verão.

A radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., não atingiu toda a coluna d'água em alguns pontos localizados nas margens do reservatório de Barra Bonita, como ocorreu no verão para o ponto situado na margem esquerda P2C em que a mesma atingiu apenas os 0,5 m de profundidade (figura 128 A); e no inverno, 2,5 m de profundidade nos ponto P4A da margem direita (figura 128 B).

O perfil da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., para o reservatório do Lobo-Broa apresentou linearidade com mudanças na inclinação da curva como no reservatório de Barra Bonita. No verão, o ponto P2 apresentou aumento no valor das concentrações de clorofila total e de matéria inorgânica (figura 115) a 0,5 m de profundidade, onde ocorreu a alteração na inclinação da curva. Neste mesmo ponto, o valor de Kt foi maior no verão que no inverno em toda a coluna d'água (tabelas 39 e 42), e conseqüentemente maior atenuação da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., atingindo a 1,0 m de profundidade 14,5% no inverno, enquanto que verão foi apenas de 1,5%, como ilustra a figura 129.



PONTOS DE ESTUDO EM TODA A EXTENSÃO DO RESERVATÓRIO DO LOBO-BROA

FIGURA 129. Percentual da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., que atinge determinadas profundidades que estão indicadas na figura, em cada ponto estudado no centro do reservatório do Lobo-Broa em dezembro de 1999, período chuvoso (A); e em agosto de 2000, período seco (B).

A partir do primeiro metro do ponto P1 deste reservatório, no período seco (inverno) houve aumento do valor das concentrações de clorofila total e material em suspensão (figura 115), sendo que o maior valor para concentração de clorofila total na coluna d'água foi a 1,75m, com a maior parcela de contribuição do componente Kc ao coeficiente de atenuação total da radiação solar (tabela 42), região em que se observou alteração na inclinação do perfil de radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A.. No ponto P2 esta mesma alteração ocorreu a aproximadamente 1,0 m de profundidade, onde o valor para as concentrações de clorofila total e de material em suspensão foram os maiores da coluna d'água (figura 115).

6.5 Radiação Solar Total e Seletiva: Equipamento Teste - *Fotômetro Subaquático*

6.5.1 Desenvolvimento do equipamento teste

Foi utilizado o equipamento hidrofotômetro (Modelo Nº 268WA310 GM MF & Instrument Corp Bronx N. Y. 10 451) no qual foi inserido o detector fotocondutivo (PIN-25DP), constituído de fotodiodos difusos de silício, para efetuar as medidas relacionadas à penetração de luz nos ambientes aquáticos durante as atividades de campo. Foi também estudado e planejado o posicionamento de filtros de luz sobre o detector, de modo a obter o perfil de radiação solar total e seletiva, na faixa fotossinteticamente ativa. Tais filtros de luz atuam em bandas espectrais estreitas nas faixas do violeta, azul, verde e vermelho. Este aparelho teste foi reconstruído mediante a estrutura do antigo e foi denominado *Fotômetro Subaquático*.

Esta “reconstrução” foi realizada em conjunto com o Grupo de Óptica do Instituto de Física da USP de São Carlos, que ofereceu todo apoio necessário para que o mesmo pudesse ser colocado em funcionamento. Para que isto fosse possível, no período de coletas de dados deste trabalho, este foi utilizado simultaneamente com o Quanta-meter LI-COR (LI-185A) para se efetuar os testes do fotômetro subaquático, a serem avaliados os seguintes aspectos: sensibilidade, estabilidade, manuseio, ajustes das medidas efetuadas e vedação da parte em que o detector está inserido.

As dificuldades encontradas foram anotadas e, após o retorno das atividades de campo, estas foram discutidas com o Grupo de Óptica para posteriormente estabelecer as linhas de ações reparadoras para solução dos problemas apresentados, pois por mais simples que seja a aplicação, qualquer equipamento em desenvolvimento deve passar por fases de testes de campo, de modo que sejam colocados à prova todos os componentes, desde eletrônicos até mecânicos. Uma vez determinadas e realizadas as propostas de reparos, o aparelho era novamente levado a campo para novos testes, o que era feito na data

da próxima atividade de campo. Estão relacionados a seguir, os testes realizados e as etapas que foram desenvolvidas durante todo o processo de adequação do instrumento com as atividades de campo.

◉ **Teste 1**

Na coleta de agosto de 1999 no sistema de lagos do Vale do rio Doce, foi a primeira vez que o equipamento foi levado a campo. Um amplificador de baixo ruído, finalizando com um dispositivo de visualização comercial do tipo digital foi conectado ao equipamento a ser submerso. No intuito de facilitar as medidas foi colocado, no circuito amplificador, valores de ganho que resultassem numa leitura direta de potência óptica, necessitando para isso, apenas uma multiplicação de potência de dez.

No primeiro lago estudado em que este equipamento foi utilizado, foram detectadas dificuldades operacionais. A primeira, foi na determinação do valor medido, devido a falta de estabilidade do valor registrado no visor digital do medidor, como também a intensidade luminosa do display e a reflexão da luz solar ocorrida sobre o mesmo dificultaram a visão dos números lidos.

O cabo de conexão do equipamento que fica submerso e o suporte da bateria inserido no medidor apresentaram problemas de ordem mecânica dadas as condições inerentes a este tipo de atividade.

Diante dos problemas surgidos em campo, as medidas, com o fotômetro subaquático, foram realizadas somente nos lagos D. Helvécio e Aguapé.

◉ **Teste 2**

Como o circuito padrão tem uma resposta bastante rápida (centenas de Hz) isso refletia no indicador do medidor, mesmo que essa não respondesse rapidamente (alguns Hz). Para compensar, foi inserido, no circuito de amplificação, um capacitor de valor maior que o original, oferecendo assim

melhor integração no sinal lido e possibilitando maior facilidade na determinação do valor registrado no visor digital.

Foi modificado o sistema de trava de posição do seletor de escalas, alterando-se as diferentes posições que indicavam quatro múltiplos de potências de dez, para duas escalas estabelecidas em Volt (*V*) e outra em miliVolt (*mV*) e os registradores do visor digital passou a ser de cristal líquido.

Para maior segurança, também foi adicionado ao medidor um indicador de bateria baixa, objetivando evitar imprevistos durante a operação do aparelho causados por medidas não confiáveis.

No mês de novembro de 1999, nesta fase de teste que foram realizados nos reservatórios de Barra Bonita e de Bariri, ainda se observou instabilidade do valor registrado no visor digital do medidor, o que pode ter a contribuição da ação de ventos e a ocorrência de chuvas no local das coletas. Em dezembro do mesmo ano, esta situação foi normalizada com a continuação do teste nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa e a inclusão do filtro de luz na faixa espectral do violeta, uma vez que para as coletas anteriores foram utilizados filtros nas faixas do azul, verde e vermelho.

◉ Teste 3

Este teste foi realizado durante a coleta de fevereiro de 2000 nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e dos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce. A maior parte dos problemas estavam solucionados servindo esta etapa de verificação e anotação de todos os detalhes que foram corrigidos ou a serem corrigidos futuramente.

◉ Teste 4

No reservatório de Barra Bonita foi feita a atividade de campo em julho de 2000, o fotômetro subaquático, voltou a apresentar o problema no

seletor de escala de leitura, resultando em valores medidos absolutamente equivocados.

○ Teste 5

Antes deste teste, o sistema de trava do seletor de escalas passou por outra verificação, mas dado o espaço de tempo pequeno entre esta coleta (reservatório do Lobo-Broa, em agosto de 2000) e a anterior só foi possível utilizar a escala para Volt (V).

6.5.2 Testes comparativos do *fotômetro subaquático*

A penetração da radiação solar em uma superfície de um sistema aquático é influenciada pelos processos de absorção e espalhamento da mesma na coluna d'água, cuja irradiância do campo de luz diminui exponencialmente com a profundidade desse sistema.

Foram realizadas medidas em campo da radiação solar a cada 0,25 m da coluna d'água para os pontos de estudo nos diversos ambientes aquáticos mencionados neste trabalho com a utilização do *Fotômetro Subaquático*, ou Equipamento Teste. Os valores assim obtidos foram comparados com aqueles utilizando-se o Quanta-meter LI-COR (LI-185A), o qual fornece a radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., disponível naquelas profundidades estabelecidas.

As medidas efetuadas em campo com ambos equipamentos foram utilizadas na elaboração de gráficos que relacionam a diminuição exponencial da radiação solar na coluna d'água e, assim foi comparado o comportamento da curva obtida com a utilização de cada equipamento, como ilustram as figuras 130 a 148. Foi determinada a normalização de todos os dados para cada equipamento. Dada a variedade de ambientes aquáticos e o grande número de pontos estudados, a normalização dos dados está ilustrada apenas para alguns pontos investigados.

○ Teste 1 – Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce (MG)

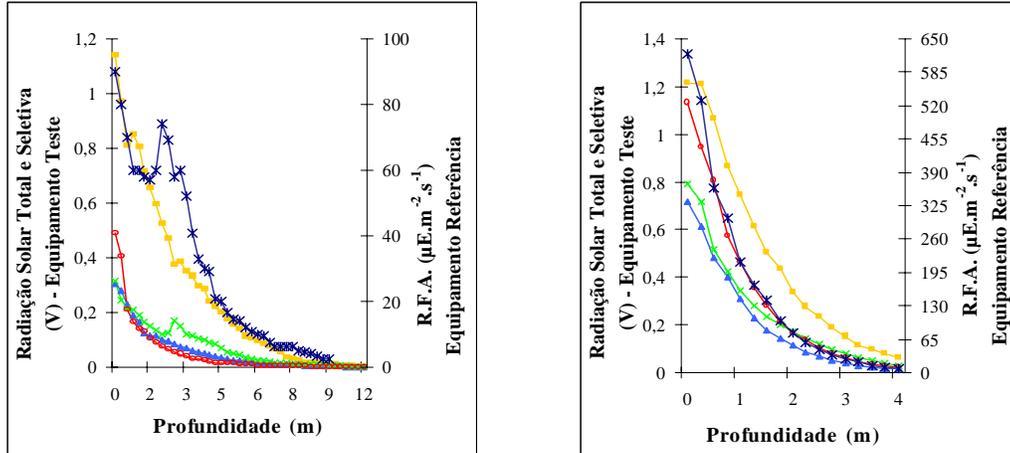
(Agosto de 1999) – Período Seco

As curvas obtidas foram aproximadamente exponenciais e de comportamento similar para os dados obtidos com ambos aparelhos, ou seja, para a radiação solar total e a radiação fotossinteticamente ativa como ilustra a figura 130. No lago D. Helvécio foi observado alterações na curva exponencial devido o aparecimento de nuvens encobrendo o Sol no dia da atividade de campo, o que de certo modo resultou em dados com valores em dado instante maiores e em outros menores na coluna d'água, o que foi igualmente ilustrado na figura 98.

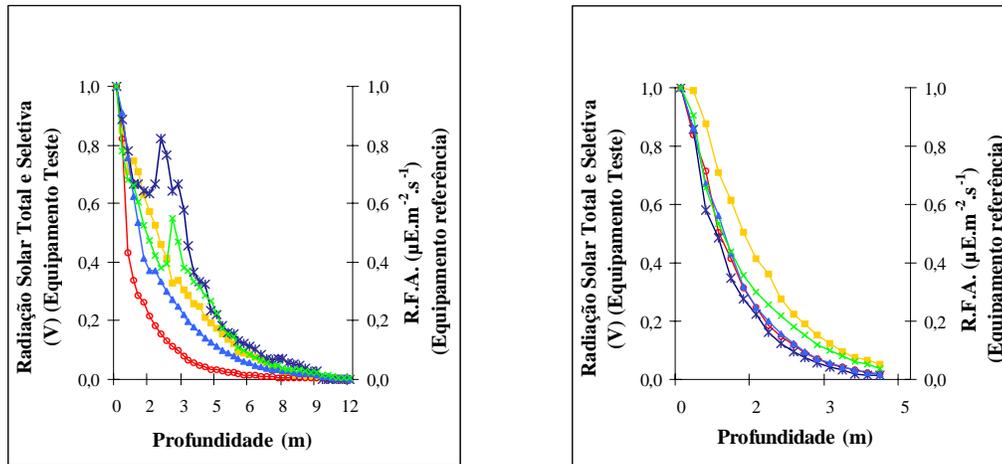
A atenuação da radiação solar na superfície foi maior na faixa espectral do azul para a lagoa Aguapé e na do azul e verde para o lago D. Helvécio. Para este último a figura 130 mostra a atenuação mais acentuada na faixa espectral do azul e do verde, indicativo de presença de compostos dissolvidos e material em suspensão na água. Foi observado que as maiores contribuições para a atenuação da radiação solar para o lago foi de Kw e de Kx, confirmando positivamente a resposta do aparelho.

Quando normalizados os dados obtidos com a utilização dos dois equipamentos se verificou a semelhança entre as curvas obtidas em cada corpo d'água como mostra a figura 130 B.

(A) Medidas efetuadas com o *Fotômetro Subaquático* e com o *Quanta-meter LI-COR 185A*



(B) Normalização das Medidas



Prof. Máx. = 21,0 m
09/08/99 – 14:45h

L. D. Helvécio – Ponto P1

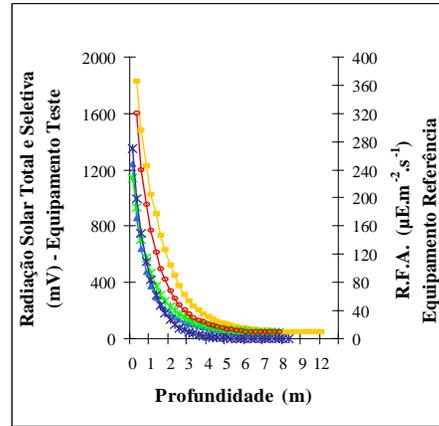
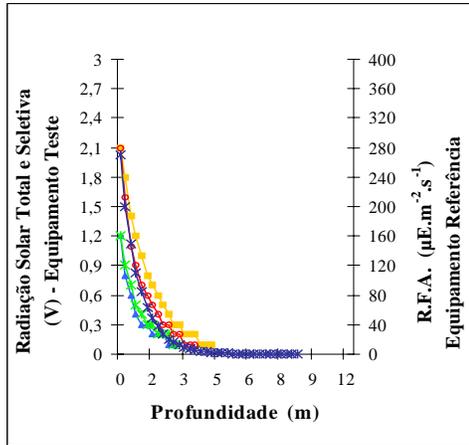
Prof. Máx. = 4,50 m
10/08/99 – 13:00h

L. Aguapé – Ponto P1

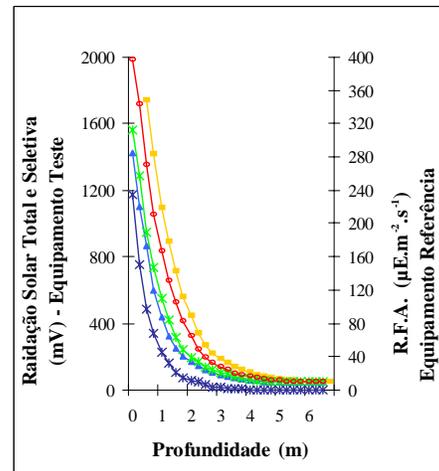
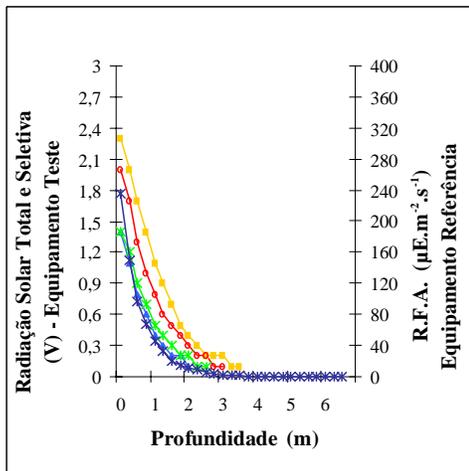
Legenda:
 × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) (Equipamento Referência)
 ■ Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 ○ Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)

FIGURA 130. Teste 1. Comparação da atenuação da radiação solar total (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos lagos D. Helvécio e Aguapé, em agosto de 1999, período seco (A); Valores Normalizados (B).

☛ **Teste 2 - Reservatórios do Médio e Baixo Tietê e reservatório do Lobo-Broa (SP)**
 (Novembro de 1999) – Período Seco



Prof. Máx. = 20,0 m
 04/11/99 – 14:00h
P1 – Barragem

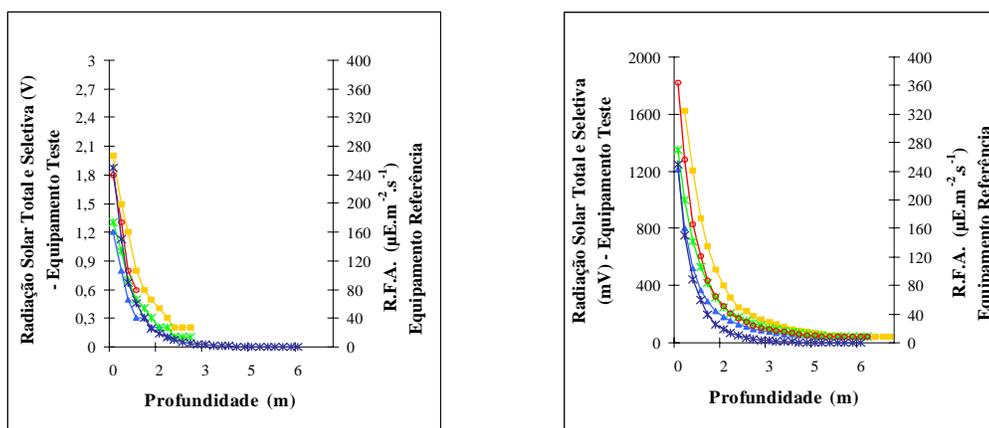


Prof. Máx. = 7,0 m
 04/11/99 – 13:00h
P2 – rio Jaú

Reservatório de Bariri

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)

FIGURA 131. Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (V e mV), nos pontos P1 e P2 do reservatório de Bariri em novembro de 1999, período seco.



Prof. Máx. = 13,0 m
04/11/99 – 11:30h

**P3 – Itapuí
Reservatório de Bariri**

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)

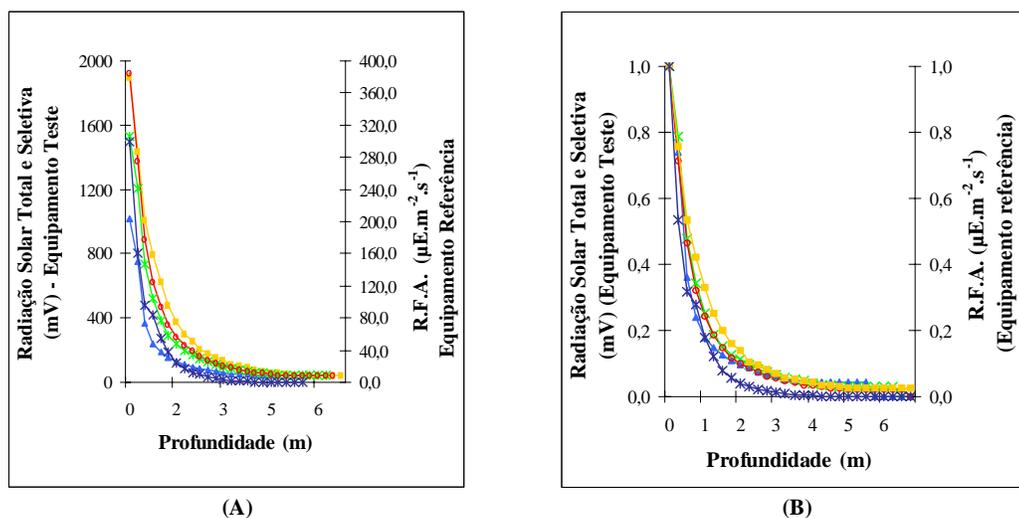
FIGURA 132. Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (V e mV), no ponto P3 do reservatório de Bariri em novembro de 1999, período seco.

No primeiro momento do teste 2, mês de novembro, foram analisados os problemas detectados quando do teste 1, especialmente quanto aos seguintes itens: sistema de trava do seletor de escala de leitura, instabilidade no valor registrado no visor digital e facilidade de visualização do valor a ser lido. O segundo item ainda mostrava irregularidades, embora em menor proporção. Num segundo momento deste mesmo teste, mês seguinte, foram novamente balizados estes itens e foi incluído o filtro de luz na faixa espectral do violeta a ser utilizado com o equipamento teste: Fotômetro Subaquático.

Foram elaborados gráficos utilizando os dados obtidos com ambos os equipamentos (teste e referência) ilustrando a comparação entre ambos e entre as duas escalas de medidas: V e mV (equipamento teste) para o reservatório de Bariri nos pontos P1 a P3 (figuras 131 e 132) como também foi elaborada a

normalização destes dados no ponto P4 como mostra a figura 133. Como o decaimento exponencial das curvas obtidas foram semelhantes nos demais ambientes estudados a apresentação do resultado obtido na escala V foi suprimida, para evitar apresentação repetitiva de dados. Desta forma, é apresentado o resultado obtido com a escala mV (equipamento teste) para os reservatórios de Barra Bonita nos meses de novembro (figura 134) e de dezembro (figura 135) e do Lobo-Broa, no mês de dezembro (figura 137). É também ilustrada na figura 136 a normalização dos dados obtidos no ponto P3B do reservatório de Barra Bonita.

As escalas de medidas V e mV utilizadas mostraram-se adequadas uma vez que não se obteve em nenhum dos ambientes analisados disparidades no comportamento exponencial das curvas, como se observa nas figuras 131 e 132.



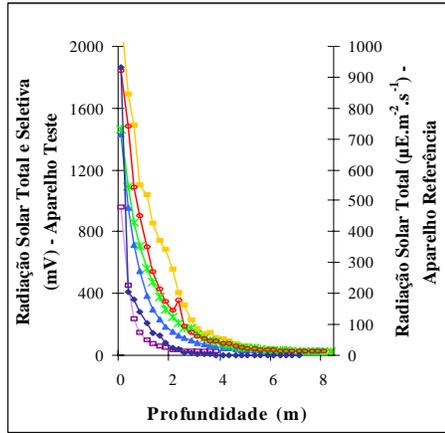
Prof. Máx. = 8,0 m
04/11/99 – 10:25h

P4 – rio Bauri
Reservatório de Bariri

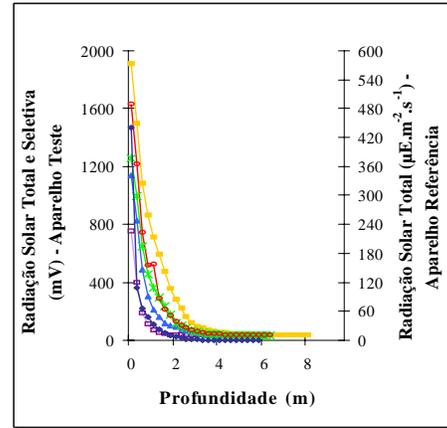
- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu E.m^{-2}.s^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)

FIGURA 133. Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quantameter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) no ponto P4 do reservatório de Bariri, em novembro de 1999, período seco (A); Valores Normalizados (B).

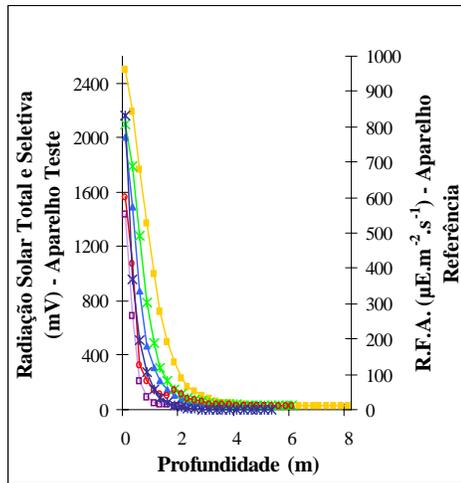
(Dezembro de 1999) – Período Chuvoso



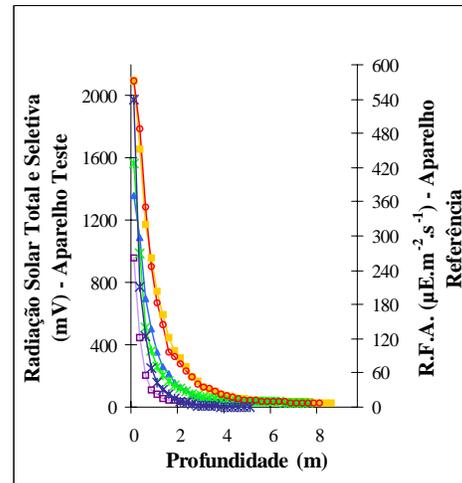
Prof. Máx. = 14,0 m
07/12/99 – 11:50h
P1B – Barragem



Prof. Máx. = 8,50 m
08/12/99 – 11:00h
P4B – Tietê/Piracicaba



Prof. Máx. = 10,0 m
08/12/99 – 15:10h
P6B – rio Tietê

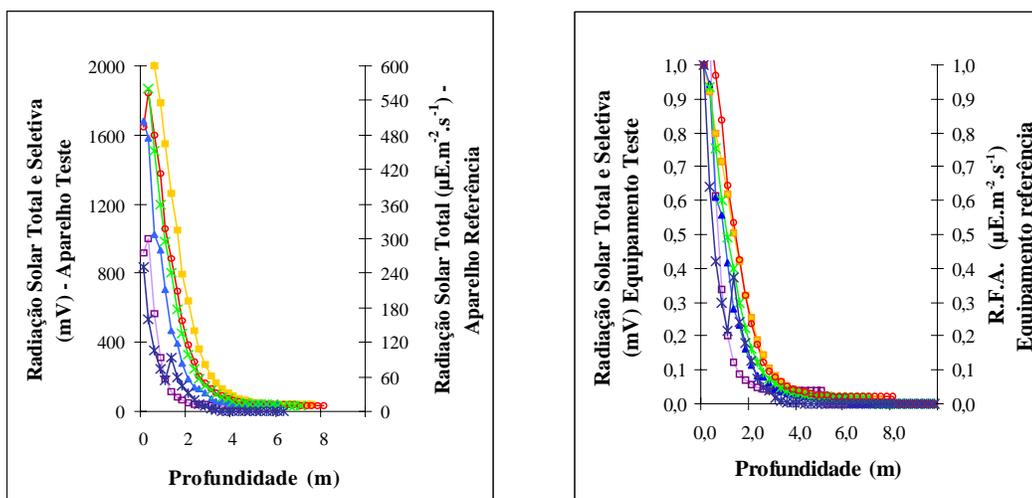


Prof. Máx. = 8,0 m
08/12/99 – 11:25h
P7B – rio Piracicaba

Reservatório de Barra Bonita

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 135. Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1B, P4B, P6B e P7B do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso.



(A)

(B)

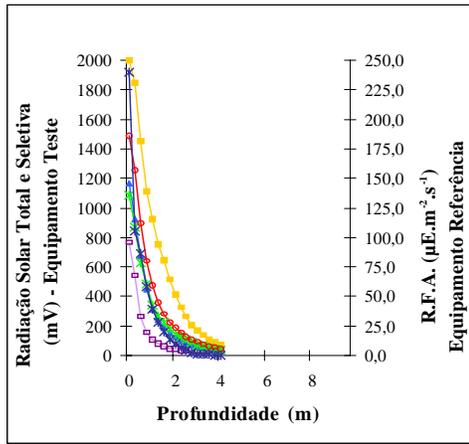
Prof. Máx. = 10,0 m
08/12/99 – 13:20h

**P3B –Tietê/Piracicaba
Reservatório de Barra Bonita**

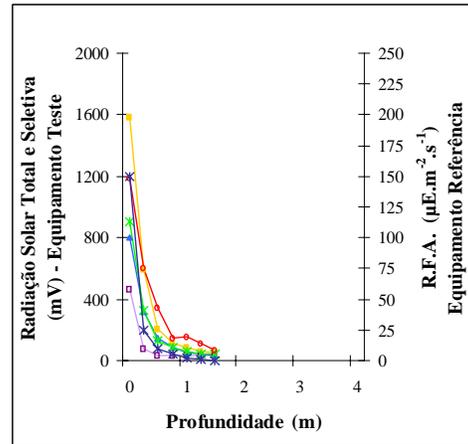
- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 136. Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático), no ponto P3B do reservatório de Barra Bonita em dezembro de 1999, período chuvoso (A); Valores Normalizados (B).

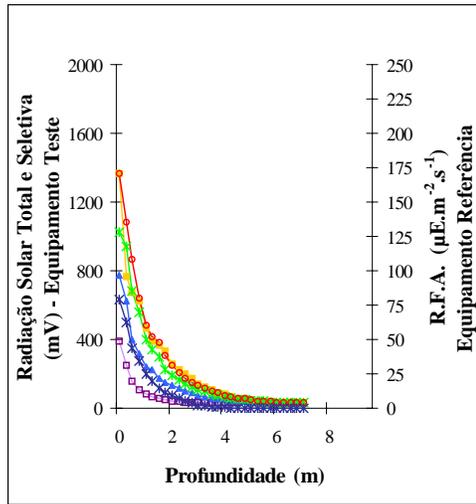
Ao se considerar toda a coluna d'água, no mês de novembro, a faixa espectral do vermelho foi a mais atenuada na maioria dos pontos nos reservatórios de Bariri e de Barra Bonita (figura 131 a 134), mas no mês de dezembro para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa a maior atenuação ficou na faixa espectral do violeta e em seguida a do azul. Nos pontos P4B e P6B do reservatório de Barra Bonita e no ponto P2 do reservatório do Lobo-Broa depois da faixa espectral do violeta, a mais atenuada foi respectivamente a do vermelho (figura 135) e a do verde (figura 137).



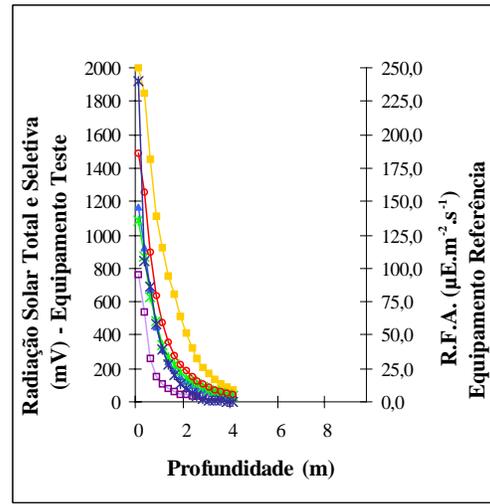
Prof. Máx. = 6,0 m
10/12/99 – 09:40h
P1



Prof. Máx. = 1,50 m
10/12/99 – 09:15h
P2



Prof. Máx. = 8,50 m
10/12/99 – 10:45h
P3



Prof. Máx. = 4,0 m
10/12/99 – 11:45h
P4

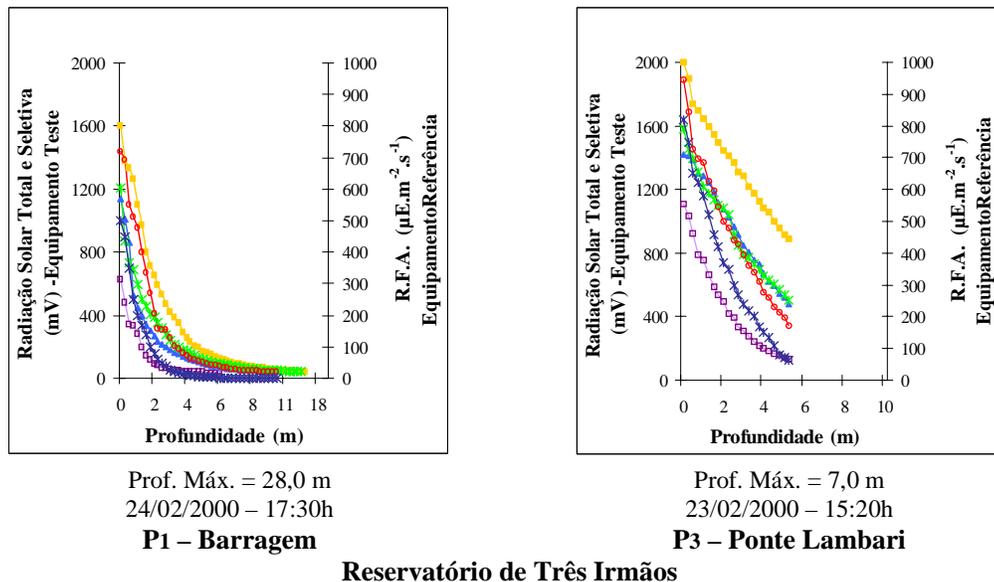
Reservatório do Lobo-Broa

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 137. Teste 2. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático - Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 a P4 do reservatório do Lobo-Broa em dezembro de 1999, período chuvoso.

☉ **Teste 3 – Reservatórios do Médio e Baixo Tietê e lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce**

(Fevereiro de 2000) – Período Chuvoso: Reservatórios do Médio e Baixo Tietê



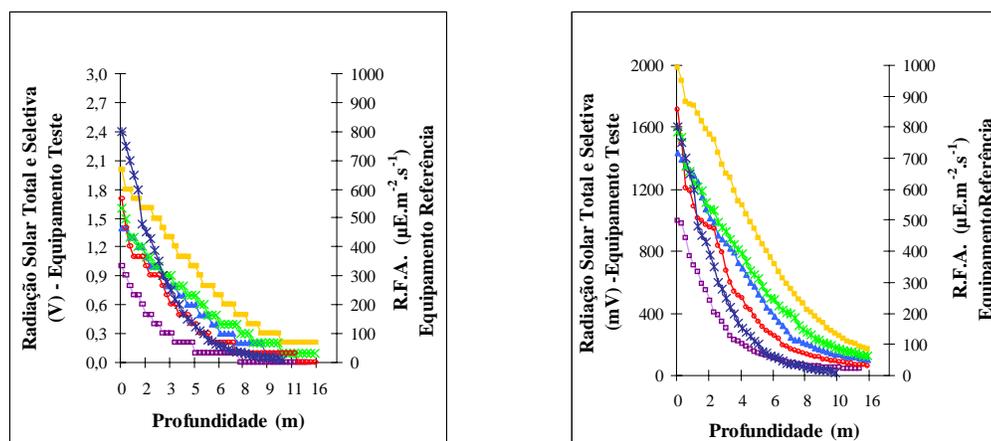
- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Radiação Seletiva: Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 138. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P3 do reservatório de Três Irmãos em fevereiro de 2000, período chuvoso.

Neste teste (terceiro) também foram feitas as comparações entre as duas escalas de medida; V e mV e analisada a compatibilidade entre elas. No ponto P1 do reservatório de Bariri, em novembro de 1999 (teste 2), foi observado que a partir de aproximadamente 2,5 m a atenuação da radiação solar subaquática foi mais amenizada, em relação às profundidades acima, indicada na figura 131. Na curva exponencial obtida com os dados medidos na escala em V, é observada a presença de “degraus”, devido a menor variação entre uma medida e a seguinte. No reservatório de Três Irmãos o mesmo foi observado com maior evidência. A figura 138 mostra como foi diferente a atenuação da radiação solar ao penetrar

a coluna d'água nos pontos P1 e P3 deste reservatório, sendo que no primeiro ponto a diminuição da curva exponencial foi acentuada e para o ponto P3 suave e gradativa, o que também ocorreu no ponto P2, cuja figura 139 mostra em cada uma das escalas (*V* e *mV*) esta característica, que embora se mantenha a similaridade no comportamento exponencial da curva, a presença marcante dos “degraus” na curva obtida com os dados das medidas na escala em *V* é destacadamente observada.

Outra observação é que, no ponto P1 do reservatório de Três Irmãos, o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, *Kt* foi cerca de 2,0 a 2,5 vezes maior que no ponto P3 do mesmo reservatório (tabela 25). A partir deste dado se espera que a curva de decaimento exponencial no ponto P1 seja mais acentuada que no ponto P3, como ocorreu, segundo a figura 138.



Prof. Máx. = 15,0 m
24/02/2000 – 147:40h

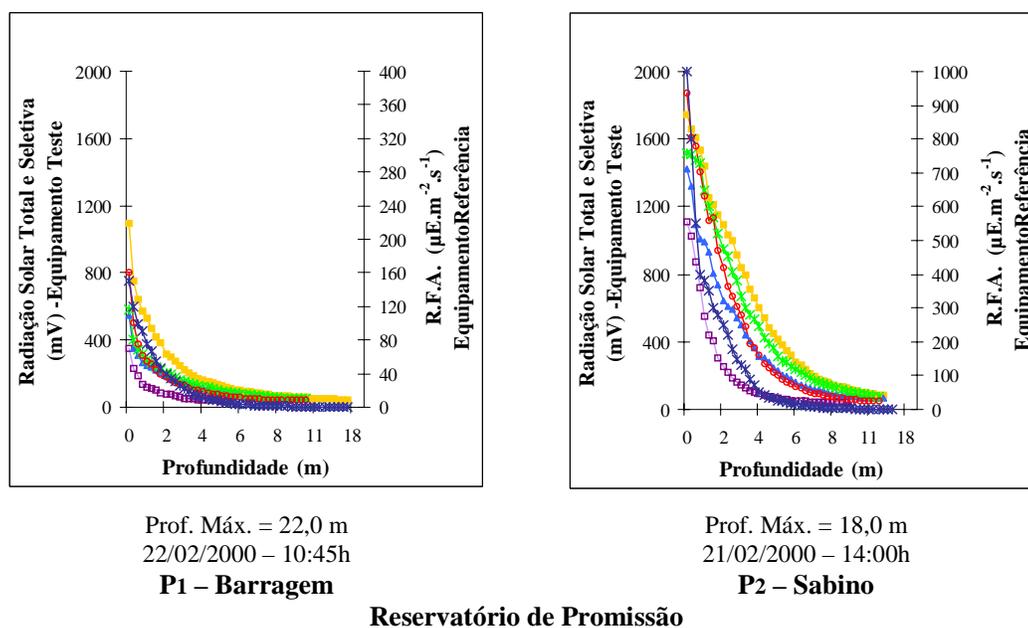
P2 – Ponte Araçatubinha
Reservatório de Três Irmãos

- | | |
|--|--|
| <p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência) ■ Radiação Solar Total (<i>V</i>) ou (<i>mV</i>) (Equipamento Teste) | <p>Radiação Seletiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Faixa Espectral do Azul (<i>V</i>) ou (<i>mV</i>) × Faixa Espectral do Verde (<i>V</i>) ou (<i>mV</i>) ○ Faixa Espectral do Vermelho (<i>V</i>) ou (<i>mV</i>) ■ Faixa Espectral do Violeta (<i>V</i>) ou (<i>mV</i>) |
|--|--|

FIGURA 139. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas as escalas (*V* e *mV*) no ponto P2 do reservatório de Três Irmãos em fevereiro de 2000, período chuvoso.

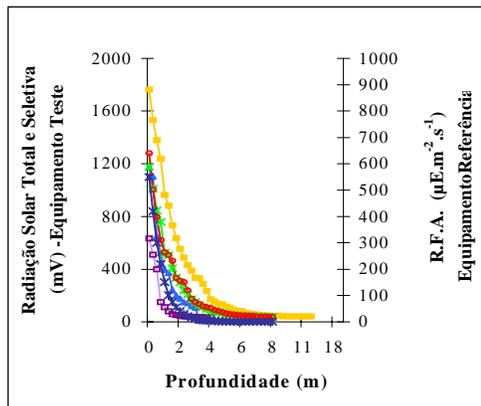
Na superfície da maioria dos pontos estudados, nesta etapa dos testes, a faixa espectral mais atenuada foi a do violeta seguida pelo azul, em alguns casos a faixa espectral do verde ficou muito próximo a do azul como ocorreu nos reservatórios de Três Irmãos, ponto P1 (figura 138), de Promissão no ponto P1 (figura 140) e de Bariri, ponto P4 (figura 141).

A figura 142 ilustra a atenuação da radiação solar no reservatório de Barra Bonita, onde na superfície do ponto P3 foi maior na faixa espectral do violeta seguido do verde. De todos os reservatórios nesta etapa, a maior atenuação ocorrida na superfície foi no ponto P2 no reservatório de Barra Bonita, na faixa espectral do violeta e depois do azul.

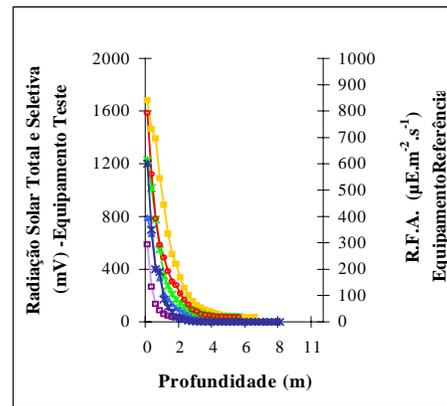


- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

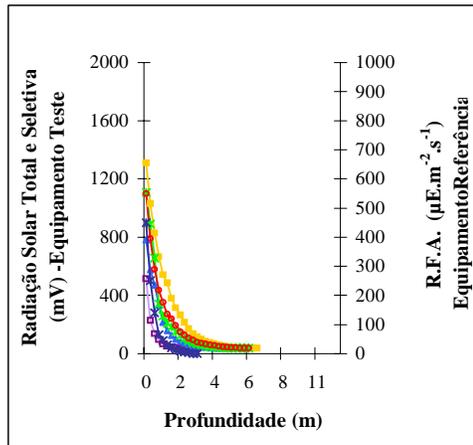
FIGURA 140. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P2 do reservatório de Promissão em fevereiro de 2000, período chuvoso.



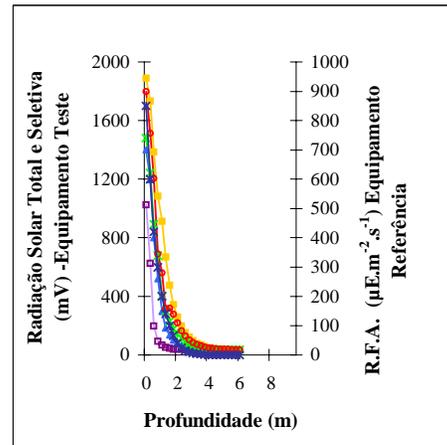
Prof. Máx. = 21,0 m
19/02/2000 – 14:00h
P1 – Barragem



Prof. Máx. = 8,0 m
19/02/2000 – 17:15h
P2 – rio Jaú



Prof. Máx. = 14,0 m
19/02/2000 – 17:55h
P3 – Itapuí

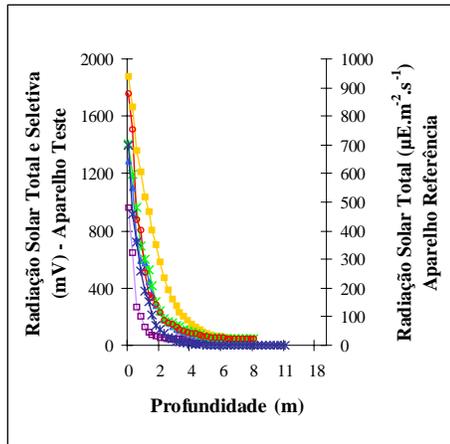


Prof. Máx. = 8,0 m
19/02/2000 – 15:15h
P4 – rio Bauru

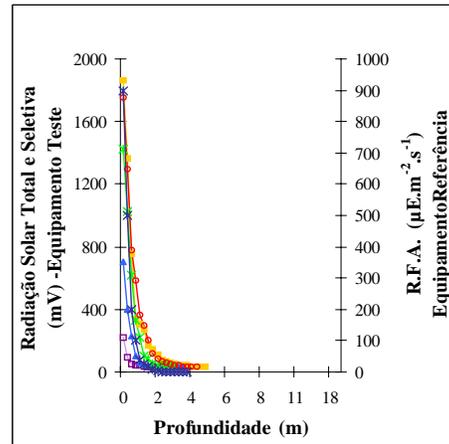
Reservatório de Bariri

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

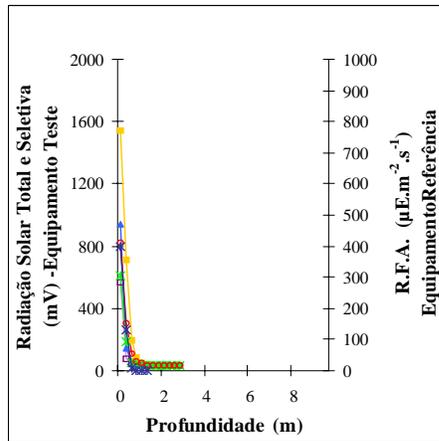
FIGURA 141. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 a P4 do reservatório de Bariri em fevereiro de 2000, período chuvoso.



Prof. Máx. = 20,0 m
18/02/2000 – 16:40h
P1 – Barragem



Prof. Máx. = 18,0 m
18/02/2000 – 12:40h
P2 – rio Tietê



Prof. Máx. = 10,0 m
18/02/2000 – 09:25h
P3 – rio Piracicaba
Reservatório de Barra Bonita

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

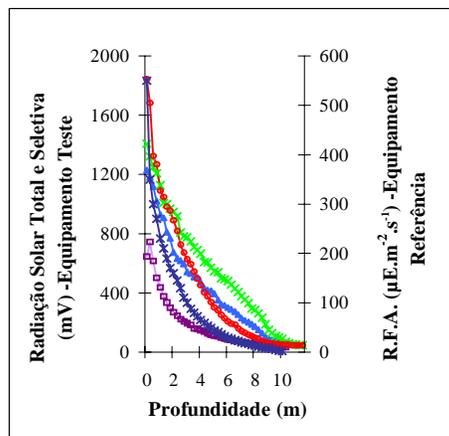
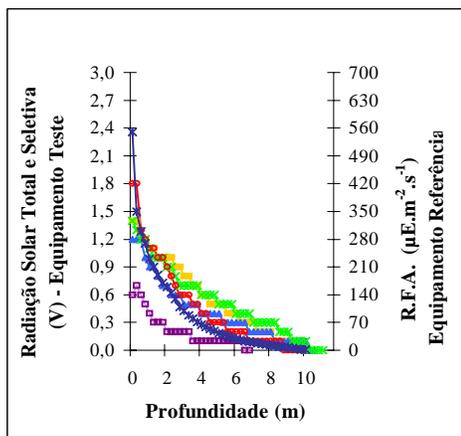
FIGURA 142. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A., (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 a P3 do reservatório de Barra Bonita em fevereiro de 2000, período chuvoso.

A atenuação da radiação solar ao penetrar toda a coluna d'água ocorreu de forma diferenciada em cada um dos reservatórios nesta etapa de investigação, como também em cada um dos pontos do mesmo reservatório. Para o reservatório de Três Irmãos, no ponto P1, esta atenuação foi mais acentuada na faixa espectral do violeta seguida à do azul (figura 138), enquanto que para os demais pontos, depois da faixa espectral do violeta, a mais atenuada foi a do vermelho (figuras 139 e 140).

Comportamento semelhante ao ocorrido no ponto P1 do reservatório de Três Irmãos, foi obtido nos pontos P3 e P4 do reservatório de Bariri (figura 141) e ponto P2 em Barra Bonita (figura 142). Analogamente aos pontos P2 e P3 do primeiro reservatório a mesma ocorrência se deu para os pontos P1 e P2 do reservatório de Promissão (figura 140). Porém, no ponto P3 do reservatório de Barra Bonita a faixa espectral mais atenuada de toda a coluna d'água foi a do azul e em seguida do vermelho, como ilustra a figura 142.

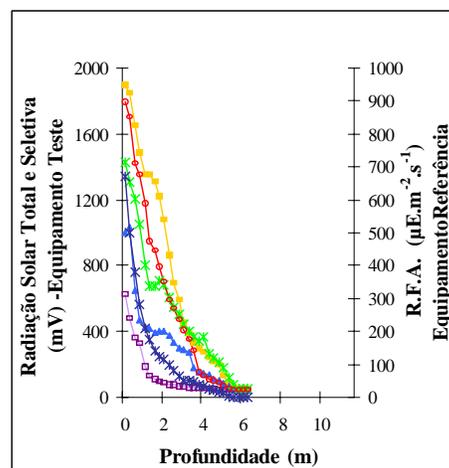
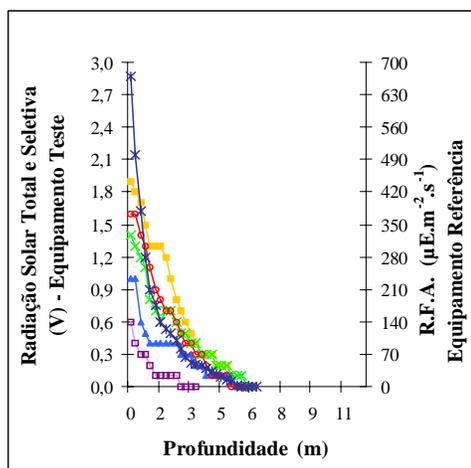
Em outros pontos estudados houve mais de uma faixa espectral fortemente atenuada, como em P1 do reservatório de Bariri, em que depois do violeta e do azul, foi semelhante a atenuação na faixa espectral do verde e vermelho, e no ponto P2 deste mesmo reservatório a atenuação foi praticamente a mesma nas faixas espectrais dos filtros utilizados, exceto na do violeta que se mostrou mais atenuada que as demais, conforme figura 141.

(Fevereiro de 2000) – Período Chuvoso: Lagos do Sistema de Lagos do Vale do rio Doce



Prof. Máx. = 18,0 m
04/02/2000 – 09:00h

L. D. Helvécio – Ponto P1



Prof. Máx. = 10,0 m
06/02/2000 – 15:20h

L. Carioca – Ponto P1

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 143. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (V e mV) nos lagos D. Helvécio e Carioca, em fevereiro de 2000, período chuvoso.

Da mesma forma que ocorreu nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce o comportamento exponencial das curvas obtidas para a atenuação da radiação solar subaquática entre os dados obtidos com os equipamento teste e referência foram semelhantes.

A figura 143 ilustra a diminuição exponencial da radiação solar ao penetrar a coluna d'água nos lagos D. Helvécio e Carioca. No primeiro lago esta atenuação ocorreu de forma mais suave que no segundo, apresentando a curva exponencial em forma de “degraus” para os dados obtidos com a escala em V , dada a pequena variação entre as medidas, cujo número de divisões desta escala é menor que a de mV . Análoga situação foi na lagoa Verde, sendo esta mais profunda que a lagoa Amarela e que houve similaridade nas curvas exponenciais obtidas com os dados medidos em ambas as escalas (figura 144). O decaimento suave da curva exponencial também foi observado nas lagoas Águas Claras e Aníbal (figura 146).

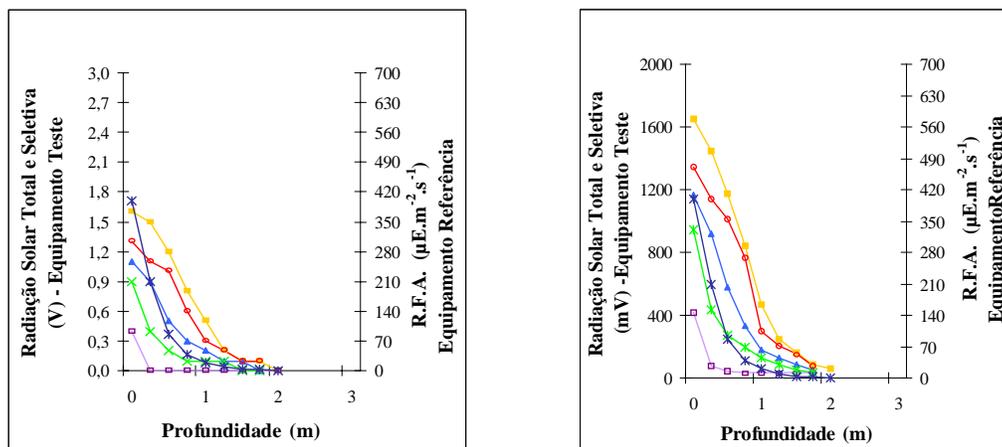
Na figura 145 é ilustrada não somente a atenuação exponencial da radiação solar nas lagoas Aguapé e Ferrugem, como também o comportamento dos dados normalizados, evidenciando a compatibilidade entre eles.

Na superfície da maioria dos lagos analisados a atenuação da radiação solar foi fortemente atenuada na faixa espectral do violeta, seguido pela faixa espectral do azul nos lagos D. Helvécio, Carioca (figura 143), Verde (figura 144) e Ferrugem (figura 145); e seguido pela faixa espectral do verde nas lagoas Amarela (figura 144), Aguapé (figura 145), Águas Claras e Aníbal (figura 146).

Em cada lago estudado foi diferente a quantidade e qualidade espectral da radiação solar em toda a coluna d'água. A faixa espectral que mais atenuou na lagoa Verde foi a do vermelho e em seguida a do violeta (figura 144), entretanto, para os demais lagos esta última foi a faixa mais atenuada de toda a coluna d'água. Depois, a faixa seguinte foi a do azul para as lagoas Carioca (figura 143) e Ferrugem, na qual a partir do primeiro metro teve a faixa espectral do vermelho atenuando semelhantemente a do azul (figura 145).

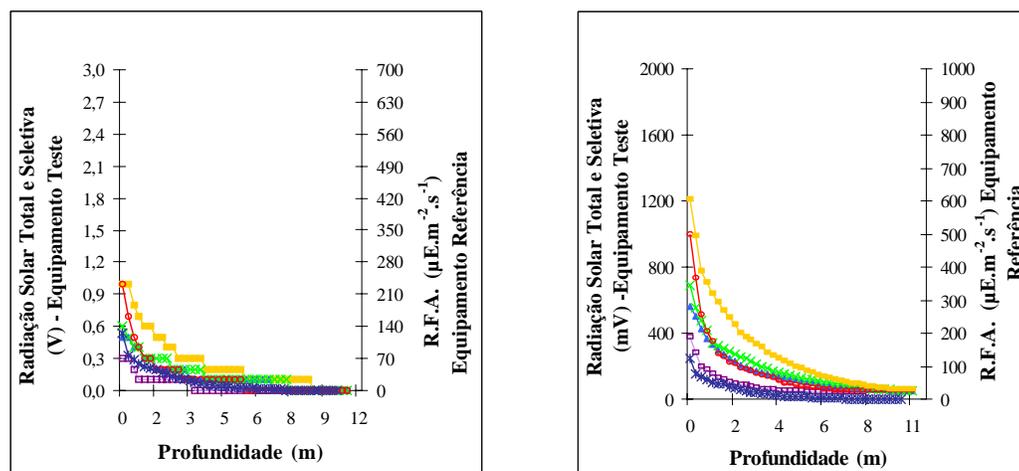
Depois da faixa espectral do violeta, a verde foi atenuada para a lagoa Amarela (figura 144) e a do vermelho foram para os lagos D. Helvécio (figura 143),

Aníbal, Águas Claras (figura139) e Aguapé que ambas faixas espectrais do vermelho e do azul atenuaram de modo semelhante (figura 138) na coluna d'água.



Prof. Máx. = 2,0 m
09/02/2000 – 11:00h

L. Amarela – Ponto P1

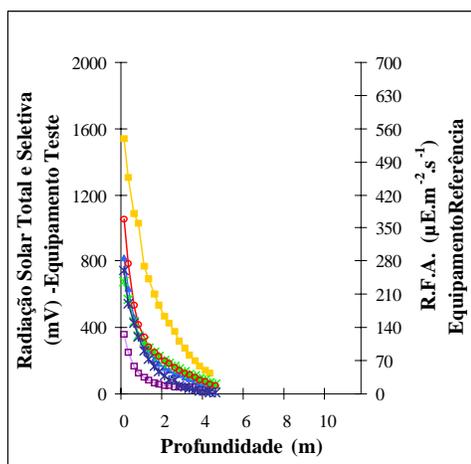


Prof. Máx. = 19,0 m
09/02/2000 – 16:45h

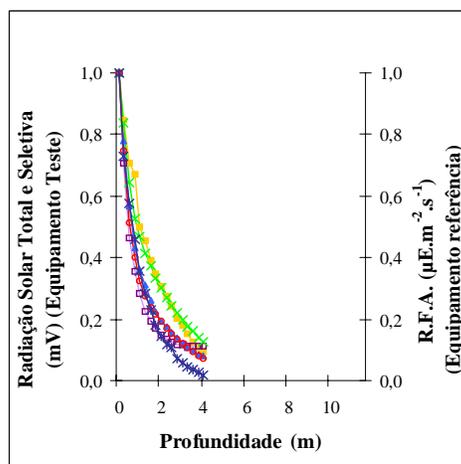
L. Verde– Ponto P3

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 144. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quantameter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) em ambas escalas (V e mV) nas lagoas Amarela e Verde, em fevereiro de 2000, período chuvoso.



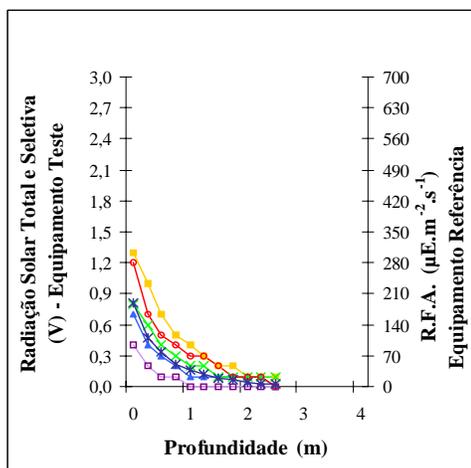
(A)



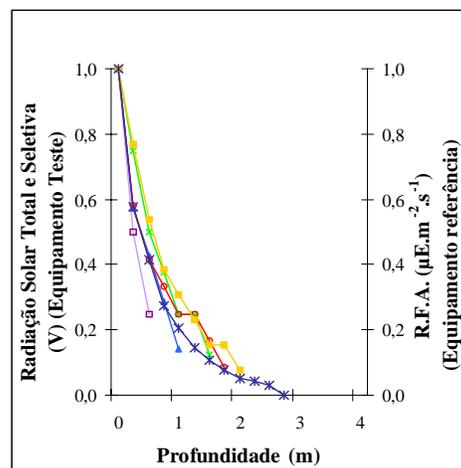
(B)

Prof. Máx. = 4,0 m
06/02/2000 – 11:25h

L. Aguapé – Ponto P1



(A)



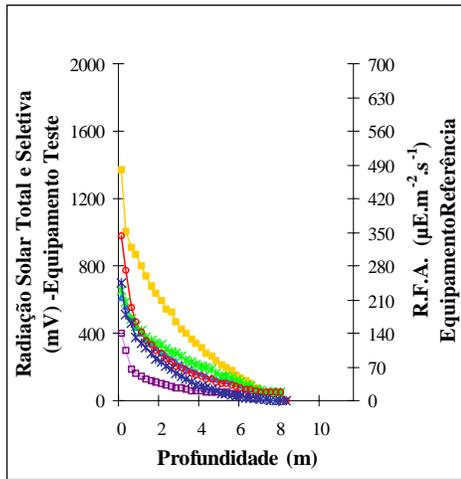
(B)

Prof. Máx. = 2,50 m
09/02/2000 – 14:00h

L. Ferrugem – Centro

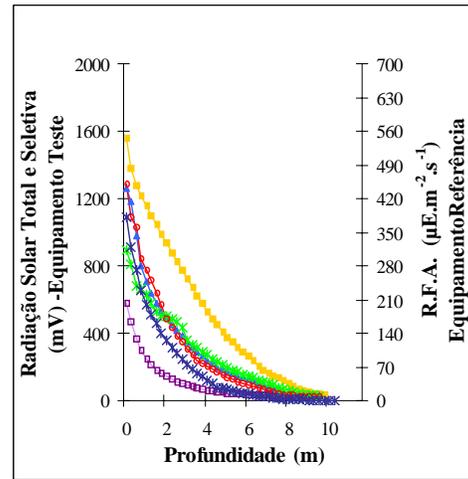
- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 145. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nas lagoas Aguapé e Ferrugem, em fevereiro de 2000, período chuvoso (A); Valores Normalizados (B).



Prof. Máx. = 7,50 m
07/02/2000 – 14:40h

L. Águas Claras – P1



Prof. Máx. = 9,50 m
05/02/2000 – 14:40h

L. Aníbal – P3

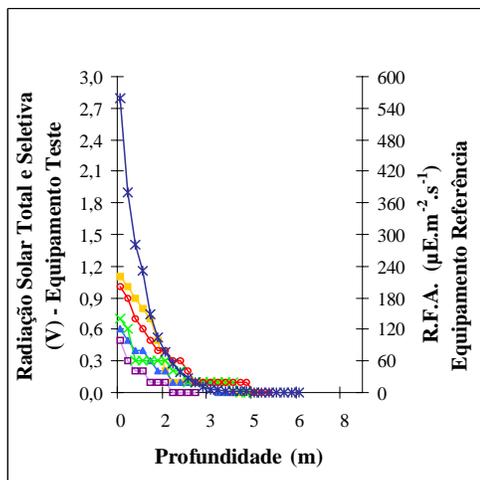
- Legenda: × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 (Equipamento Referência)
- Radiação Solar Total (V) ou (mV)
 (Equipamento Teste)

- Radiação Seletiva:
- ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

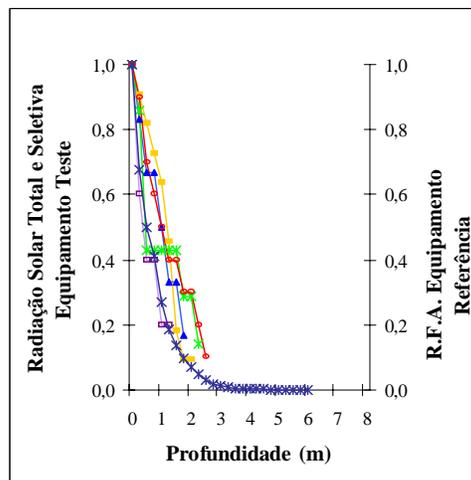
FIGURA 146. Teste 3. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos lagos Aníbal e Águas Claras, em fevereiro de 2000, período chuvoso.

► **Teste 5 – Reservatórios do Lobo-Broa (SP)**

(Agosto de 2000) – Período Seco



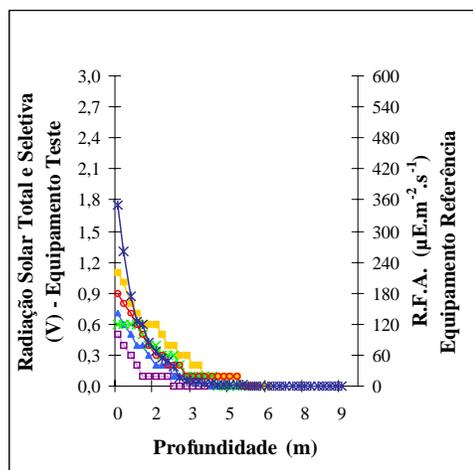
(A)



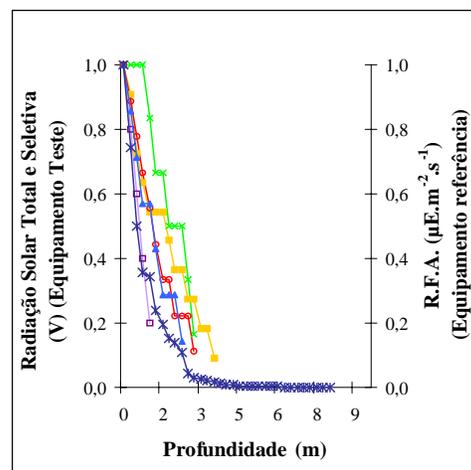
(B)

Prof. Máx. = 6,0 m
07/08/2000 – 10:050h

P1



(A)



(B)

Prof. Máx. = 9,0 m
07/08/2000 – 10:40h

P3

Reservatório do Lobo-Broa

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 147. Teste 5. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P1 e P3 do reservatório do Lobo-Broa, em agosto de 2000, período seco (A); Valores Normalizados (B).

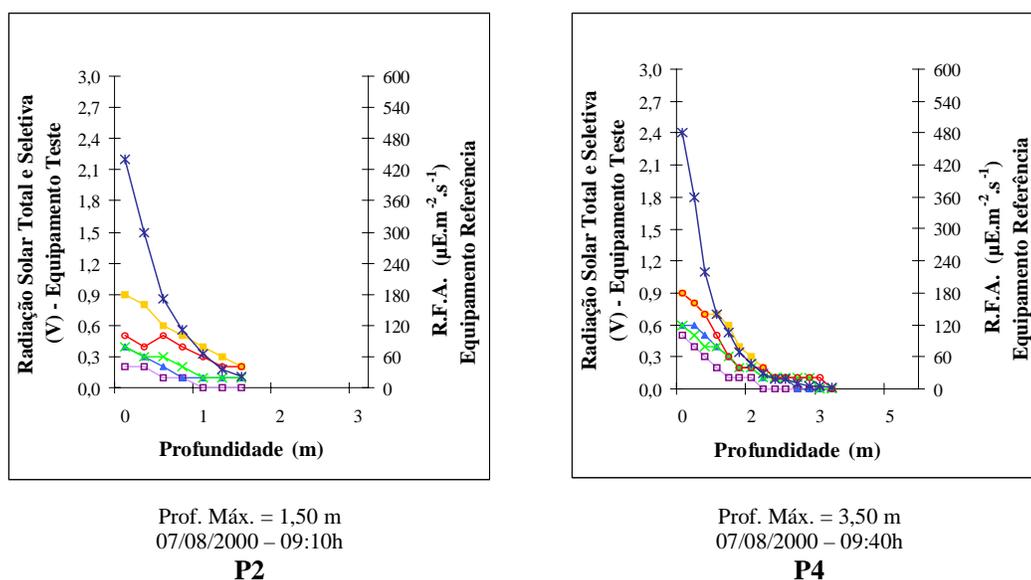
O teste 4 foi realizado no mês de julho de 2000, junto com as atividades de campo para o reservatório de Barra Bonita, no qual o equipamento voltou a apresentar problemas no sistema de trava de posição do seletor de escalas. No teste 5, realizado no mês seguinte, outras alternativas de solução foram testadas com a utilização do equipamento em campo.

As figuras 147 e 148 mostram a diminuição exponencial da radiação solar ao penetrar a coluna d'água na represa do Lobo-Broa. Como nos ambientes aquáticos anteriores, neste também foi observado o “degrau” para a curva exponencial com os dados obtidos na escala V, com decaimento suave da curva e mais evidência no ponto P3 (figura 147).

Na superfície dos pontos estudados a faixa espectral mais atenuada foi a violeta, seguida da azul nos pontos P1 e P3 (figura 147) e nos outros dois pontos restantes foram atenuadas praticamente juntas no azul e no verde (figura 148).

A atenuação da radiação solar em toda coluna d'água foi mais acentuada na faixa espectral do violeta para todos os pontos, seguida do verde para os pontos P1 e P4, e nos pontos P2 e P3 do azul, conforme as figuras 147 e 148.

É conveniente mencionar que na tabela 42 indica a contribuição expressiva de Kx na atenuação da radiação solar subaquática no ponto P1 do reservatório do Lobo-Broa. Este componente é devido ao material em suspensão contido na água que absorve mais intensamente na faixa espectral do verde, como foi observado na figura 147.



Reservatório do Lobo-Broa

- Legenda:
- × Radiação Fotossinteticamente Ativa, R.F.A. ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (Equipamento Referência)
 - ▲ Faixa Espectral do Azul (V) ou (mV)
 - Radiação Solar Total (V) ou (mV) (Equipamento Teste)
 - × Faixa Espectral do Verde (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Vermelho (V) ou (mV)
 - Faixa Espectral do Violeta (V) ou (mV)

FIGURA 148. Teste 5. Comparação da atenuação da radiação solar (Fotômetro Subaquático-Equipamento Teste) com a da radiação fotossinteticamente ativa, R.F.A. (Quanta-meter LI-COR (LI-185A) - Equipamento Referência) na coluna d'água; e da atenuação da radiação solar subaquática total e seletiva (Fotômetro Subaquático) nos pontos P2 e P4 do reservatório do Lobo-Broa, em agosto de 2000, período seco.

6.6 Espectrograma da radiação solar na água dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo (SP)

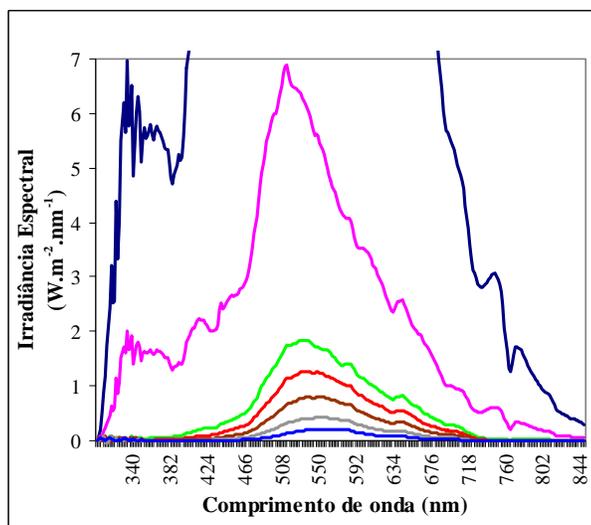
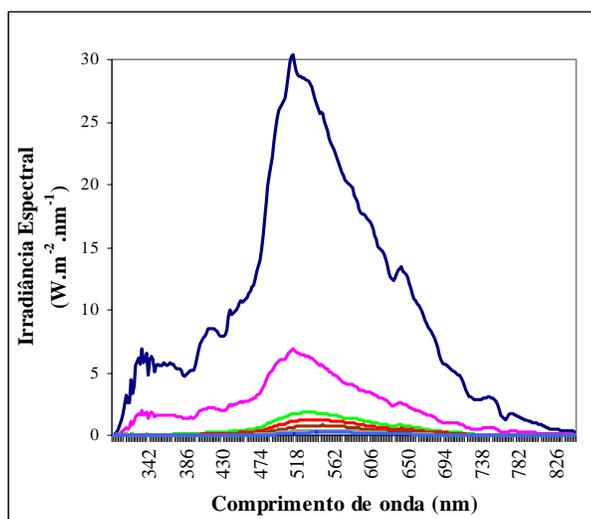
O fluxo radiante incidente num corpo d'água está submetido aos processos de espalhamento e de absorção, com isto a quantidade e a qualidade espectral da radiação solar é influenciada não somente pelas propriedades ópticas e as propriedades inerentes do sistema aquático, como também pela entrada de material alóctone devido as condições hidrometeorológicas e as atividades antrópicas desenvolvidas na região, determinando assim, a radiação solar disponível em cada ambiente aquático na forma de matrizes ópticas específicas.

Foi determinada a irradiância espectral, que é o fluxo radiante incidente por unidade de área, por comprimento de onda, em várias profundidades dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa (Estado de São Paulo), constituindo o espectrograma da radiação solar na água desses reservatórios.

De uma maneira geral, em ambos os reservatórios, a radiação solar subaquática disponível nestes sistemas aquáticos concentrou-se na faixa espectral entre 450 nm e 700 nm (irradiância espectral) que compreende a faixa espectral do processo fotossintético, como ilustram as figuras 149 a 151.

Em cada espectrograma do reservatório do Lobo-Broa (figuras 149 e 150) foram elaborados dois gráficos com diferentes escalas para irradiância espectral, possibilitando melhor visualização de sua disponibilidade em diferentes profundidades do reservatório. Os valores obtidos em julho de 2002, apresentados na figura 150 indicam oscilação na medida em cada comprimento de onda, possivelmente devido a ação de ventos nesta época do ano, o que provoca movimentação e turbulência da massa de água ocasionando sombreamento durante a leitura das medidas, o que não foi observado tão marcadamente no mês de junho (figura 149). Em consequência disto, até 2,0 m de profundidade foram observados poucos “picos” de irradiância numa faixa espectral estreita em junho (figura 149) e muitos em julho (figura 150).

Na estação 6 do reservatório de Barra Bonita ocorreu o mesmo efeito no primeiro metro (figura 151), que o do reservatório do Lobo-Broa (em julho), porém de forma mais suave, e a oscilação entre as leituras efetuadas foi mais acentuada na faixa espectral compreendida entre aproximadamente 520 nm e 620 nm. Nesta mesma estação de estudo a radiação solar atingiu profundidades menores que na estação 3, como ilustra a figura 150.

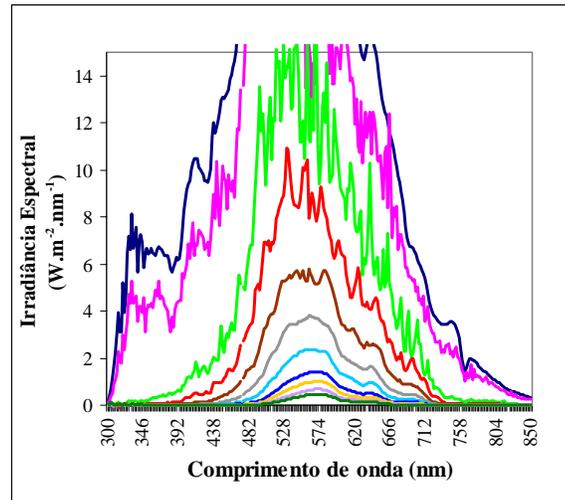
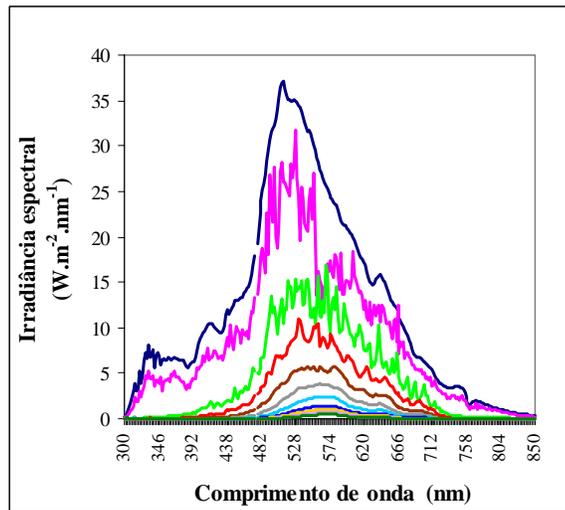


Reservatório do Lobo-Broa em 25/06/2002 – 15:00h

- Legenda:
- | | |
|--|---|
| — Ar | — 1,0 m |
| — 0,0 m | — 1,5 m |
| — 0,25 m | — 2,0 m |
| — 0,50 m | |

FIGURA 149. Espectrograma da radiação solar subaquática no reservatório do Lobo-Broa, no ponto localizado no corpo central do mesmo, em junho de 2002, período seco.

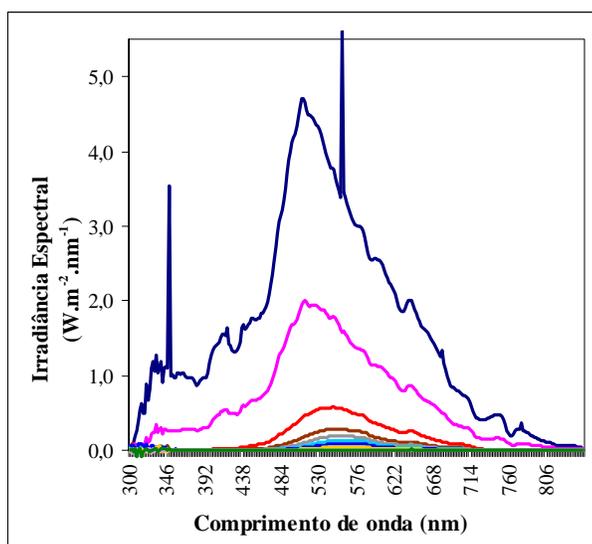
Nas duas estações de estudo do reservatório de Barra Bonita as faixas espectrais disponíveis em toda a coluna d'água concentrou-se entre 480 nm e 570 nm, ou seja, entre o azul e o verde (figura 150). Para o reservatório do Lobo-Broa, no mês de junho a faixa espectral mais disponível foi a verde, variando de 510 nm a 550 nm, e de 520 nm a 600 nm, do verde para o amarelo no mês de julho para este mesmo ponto, como ilustram as figuras 149 e 150 respectivamente.



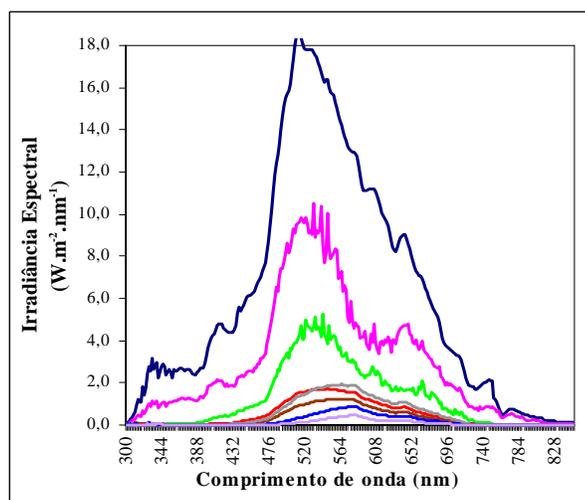
Reservatório do Lobo-Broa em 17/07/2002 – 12:00h

- Legenda:
- | | | |
|----------|---------|---------|
| — Ar | — 1,5 m | — 3,5 m |
| — 0,0 m | — 2,0 m | — 4,0 m |
| — 0,50 m | — 2,5 m | — 4,5 m |
| — 1,0 m | — 3,0 m | |

FIGURA 150. Espectrograma da radiação solar subaquática no reservatório do Lobo-Broa, no ponto localizado no corpo central do mesmo em julho de 2002, período seco.



(A) ITC - Estação 3 em 05/09/02 – 16:15h



(B) ITC - Estação 6 em 05/09/02 – 08:05h

Reservatório de Barra Bonita

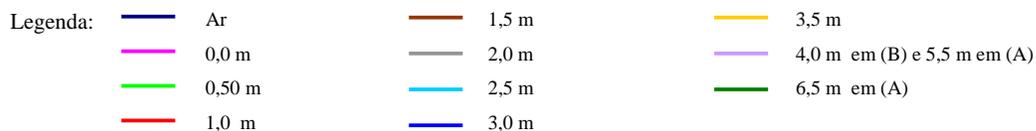


FIGURA 151. Espectrograma da radiação solar subaquática no reservatório de Barra Bonita, em setembro de 2002, período seco.

6.7 Espectro de absorção da água superficial nos ambientes aquáticos situados nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil

O espectro de absorção da água superficial foi obtido através da leitura ponto a ponto, ou seja, feita a cada 10 nm, da absorbância da luz na amostra de água coletada, com a utilização do espectrofotômetro MICRONAL-B280. Cada espectro obtido está ilustrado na forma de gráficos da absorbância da luz na água em função do comprimento de onda na faixa espectral do visível (350 nm-750 nm), e foi feita a comparação do mesmo em águas superficiais de rios, lagos e reservatórios, os quais apresentaram diferenciação quanto aos usos e ocupações das regiões em que tais sistemas aquáticos estão inseridos e de localizações geográficas.

A absorbância da luz na água do rio Tocantins apresentou valores baixos comparativamente aos obtidos nos ambientes aquáticos analisados no Estado do Amazonas (figura 152). No rio Tocantins a água foi coletada ainda em

REGIÃO NORTE

◉ Estados: Amazonas e Tocantins

(Julho de 1999)

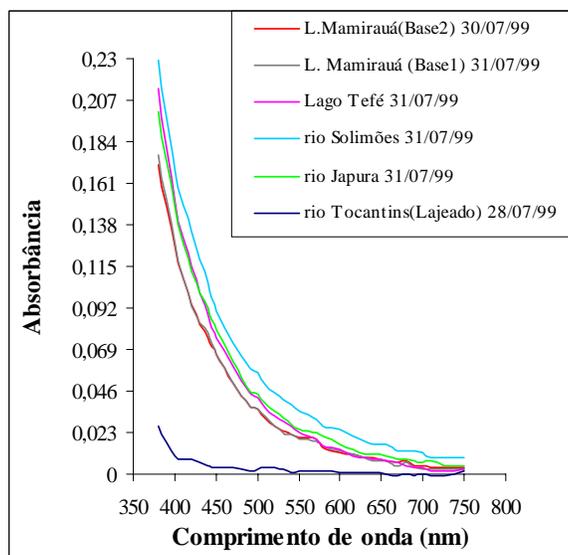


FIGURA 152. Espectro de absorção da água superficial para os lagos Mamirauá e Tefé e os rios Solimões e Japurá, no Estado do Amazonas; e rio Tocantins, no Estado de Tocantins, em julho de 1999, períodos chuvoso e seco respectivamente.

fase de rio, sem ter ocorrido o enchimento da Usina Hidrelétrica de Lajeado – Luis Eduardo Magalhães, no período seco, possivelmente apresentando baixa concentração de ácido húmico, contrariamente com o que ocorreu na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, em período chuvoso, cuja influência na absorção da luz nestas águas está relacionada com a alta concentração deste ácido e de compostos dissolvidos na água, e a existência de extensas planícies de inundação.

As águas coletadas na região metropolitana de Natal, no Estado do Rio Grande do Norte, apresentaram valores baixos para absorbância da luz em suas águas (figura 153). A presença de material em suspensão devido a circulação da massa de água, dado o elevado número de turistas frequentadores, pode representar um fator relevante na absorção da luz nestas águas.

A figura 154 mostra os altos valores da absorbância da luz em águas superficiais dos córregos Ressaca e Sarandi, localizados no município de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais. Estes tributários recebem esgotos sanitários, efluentes de centenas de indústrias de pequeno e médio portes do Distrito Industrial de Contagem e chorume do aterro sanitário de Belo Horizonte,

REGIÃO NODESTE

◉ Estado: Rio Grande do Norte (Natal)

(Setembro de 1999)

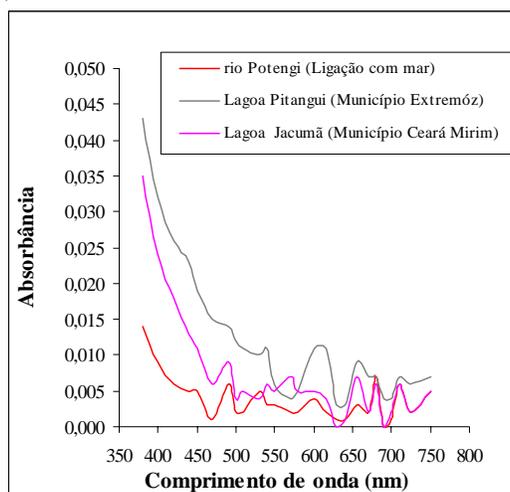


FIGURA 153. Espectro de absorção da água superficial para o rio Potengi e as lagoas Jacumã e Pitangui, em Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte, em 14 de setembro de 1999, período seco.

fatores tais de interferência na absorção da luz em águas superficiais, os quais são bem diferentes daqueles enumerados nos sistemas aquáticos citados nos itens anteriores.

REGIÃO SUDESTE

◉ Estado: Minas Gerais

(i) Belo Horizonte (Dezembro de 1999) – Período Chuvoso

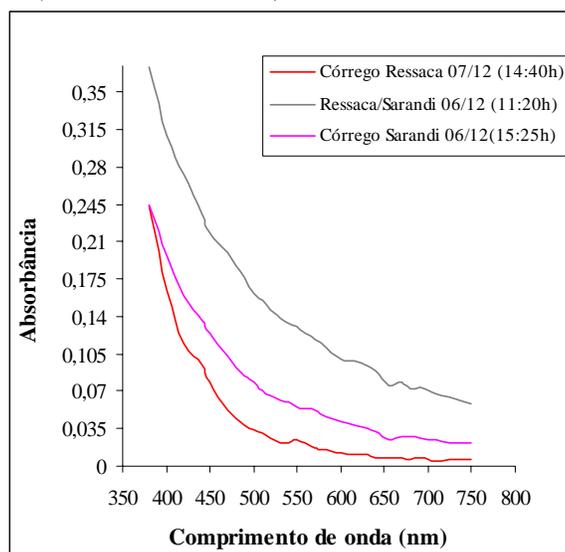


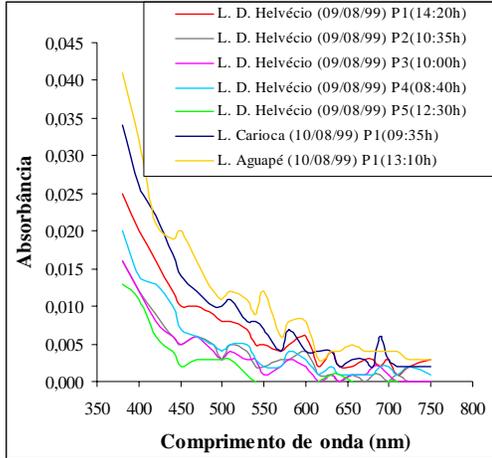
FIGURA 154. Espectro de absorção da água superficial para os córregos Ressaca (próximo ao aterro sanitário) e Sarandi (nas proximidades do Horto Florestal) e na junção entre eles, em Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, em dezembro de 1999, período chuvoso.

A diversidade de fatores que influenciam na absorção da luz na água é novamente evidenciada nas figuras 155 e 156 que ilustram a absorbância da luz em águas superficiais para lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, no Estado de Minas Gerais, que não apresentam o grau de contaminação e poluição da água existente nos córregos Ressaca e Sarandi, do mesmo estado.

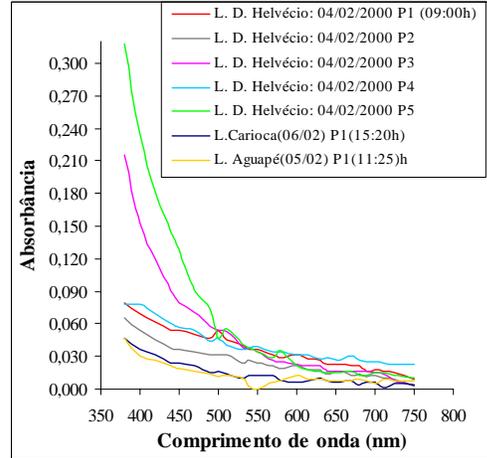
No período chuvoso, no ponto P5 do lago D. Helvécio (figura 155), o valor da absorbância da luz na água superficial atingiu o valor 0,317, aproximadamente vinte e quatro vezes maior que o obtido no mesmo ponto no período seco (0,013) e próximo do valor obtido na junção dos córregos Ressaca e

(ii) *Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce* (A) Agosto de 1999 – Período Seco

(B) Fevereiro de 2000 – Período Chuvoso

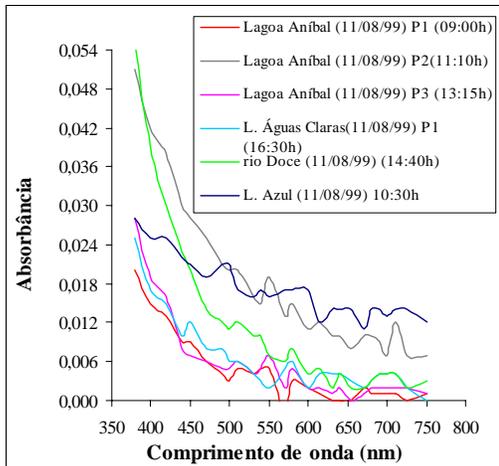


(A) Período Seco

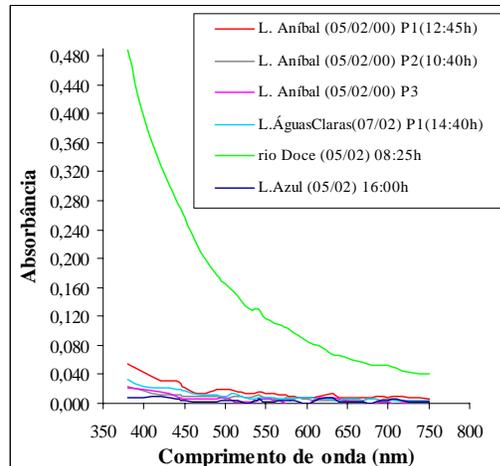


(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo dos lagos: D. Helvécio, Carioca e Aguapé



(A) Período Seco

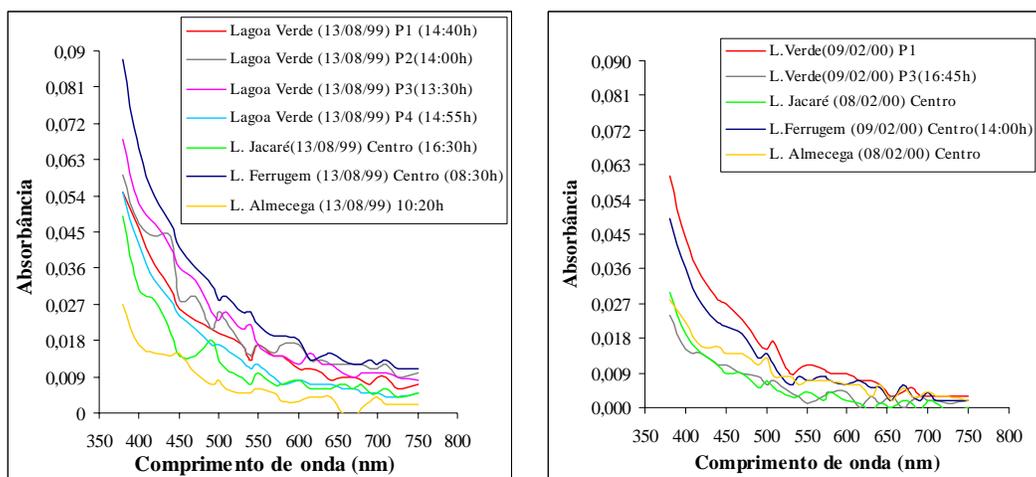


(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo dos lagos: Aníbal, Águas Claras e Azul e do rio Doce

Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

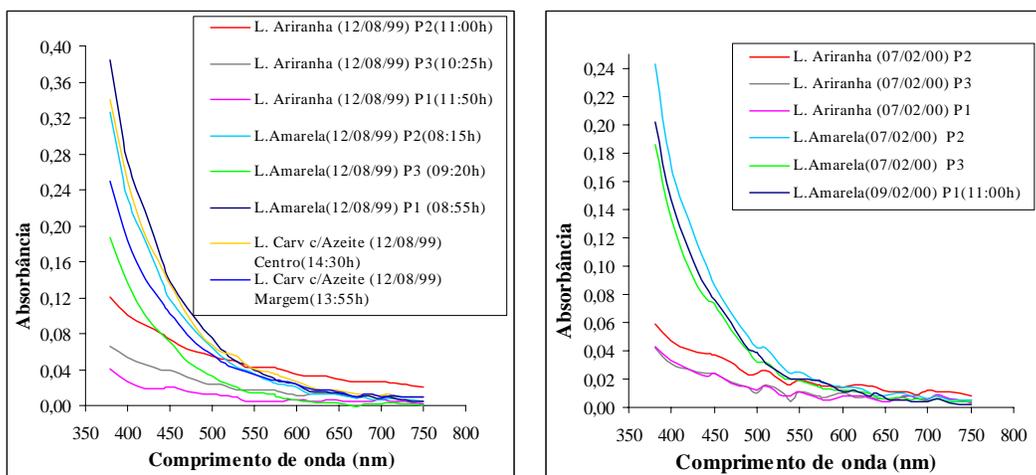
FIGURA 155. Espectro de absorção da água superficial para os pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce: D. Helvécio, Carioca, Aguapé, Aníbal, Águas Claras e Azul; e do rio Doce, no Estado de Minas Gerais, em agosto de 1999, período seco (A) e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).



(A) Período Seco

(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo das lagoas: Verde, Jacaré, Ferrugem e Almecega.



(A) Período Seco

(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo das lagoas: Ariranha, Amarela e Carvão com Azeite.

Lagos do Sistema de lagoas do Vale do rio Doce

FIGURA 156. Espectro de absorção da água superficial para os pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagoas do Vale do rio Doce: Verde, Jacaré, Ferrugem, Almecega, Ariranha, Amarela e Carvão com Azeite, no Estado de Minas Gerais, em agosto de 1999, período seco (A) e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).

Sarandi na mesma época do ano (0,373). Neste caso, a absorção da luz na água não está relacionada com poluição e contaminação da mesma, mas por compostos dissolvidas na água e pela entrada de material alóctone de origem orgânica e inorgânica no sistema aquático pela ação das chuvas.

Como nos pontos estudados do lago D. Helvécio, no rio Doce, no ponto P1 do lago Aníbal e da lagoa Carioca, a absorção da luz na água superficial foi maior no período chuvoso, enquanto que para os demais lagos, no período seco. Estes lagos estão localizados no Parque Estadual do Vale do rio Doce e apresentam entorno preservado e paisagem natural praticamente inalterada.

A maioria dos demais lagos encontram-se na área da CAF – Companhia Agrícola Florestal, com extensas áreas de florestamento artificial de *Eucaliptus* sp, áreas de corte, cultivo de eucalipto abandonado, entremeado por espécies nativas. A lagoa Amarela (figura 156) é um exemplo, onde o ponto P1 apresentou valor para Kw maior que no período chuvoso (tabela 32), indicativo de aumento de compostos dissolvidos na água.

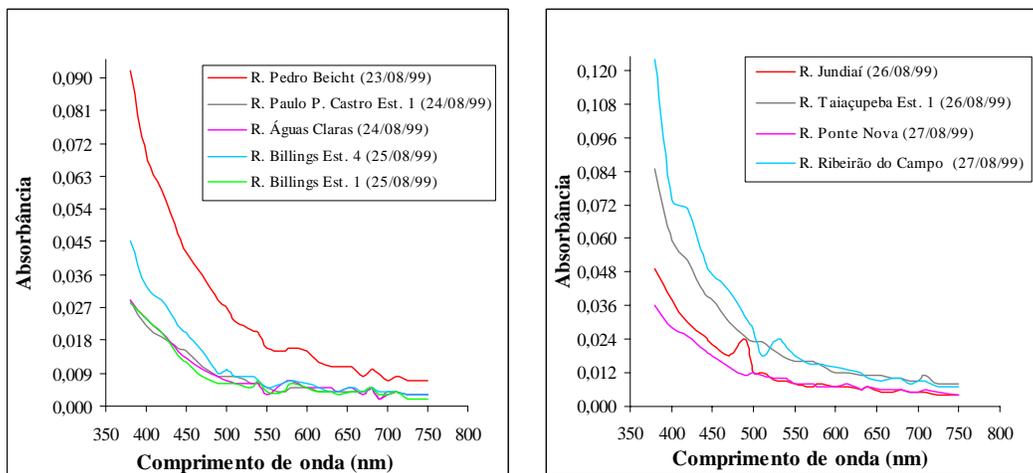
A lagoa Carvão com Azeite e a lagoa Amarela (figura 156) no período seco, apresentaram valores altos para absorbância da luz na água superficial e comportamento exponencial da curva semelhante para ambas lagoas em toda a faixa espectral do visível, considerando ainda que a primeira apresentou cobertura vegetal por toda a sua extensão, como ilustra a figura 25.

A lagoa Azul (figura 156) em contraposição, apresentou valores baixos para a absorbância da luz na água superficial nas duas épocas do ano, sendo esta de difícil acesso e com vegetação praticamente natural.

Até o momento foram mencionados neste tópico os ecossistemas naturais, exceto o do município de Belo Horizonte (MG), a partir de então, a atenção é voltada para os ecossistemas artificiais que apresentam grandes diferenciações nos usos e ocupações, desde o cultivo ocasional da terra até a urbanização e industrialização em larga escala.

📍 Estado: São Paulo

(i) Reservatórios do Alto Tietê (Agosto de 1999) – Período Seco



Reservatórios: Pedro Beicht, Paulo P. Castro, Águas Claras e Billings (Estações 1 e 4).

Reservatórios: Jundiá, Taiapuêba, Ponte Nova e Ribeirão do Campo

Reservatórios do Alto Tietê

FIGURA 157. Espectro de absorção da água superficial para os reservatórios do Alto Tietê: Pedro Beicht, Paulo P. Castro, Billings (Estações 1 e 4), Jundiá, Taiapuêba, Ponte Nova e Ribeirão do Campo, no Estado de São Paulo, em agosto de 1999, período seco.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos a qual pertencem os reservatórios do Alto Tietê é composta por trinta e quatro municípios que abrangem atividades agrícolas e indústrias poluidoras.

Os reservatórios que apresentaram maior valor da absorbância da luz em águas superficiais foram Ribeirão do Campo (*Bacia do Alto Tietê*) e Pedro Beicht (*Bacia do rio Cotia*), como ilustra a figura 157. Usos e ocupações da bacia do primeiro deles envolve atividades hortifrutigranjeiras, pastagens naturais e cultivadas, industrialização e extração de areia, como também despejo de esgoto doméstico e industrial nas proximidades do município de Mogi das Cruzes. O reservatório da Ponte Nova, pertencente a esta bacia, também apresentou valor maior para absorbância da luz na água superficial que os demais reservatórios (figura 157).

A região em que se encontra o reservatório Pedro Beicht, tem características específicas, com trechos de matas naturais da Reserva Estadual de Morro Grande e outros trechos urbanizados e florestados, que segundo relatório de toxicidade da CETESB (1999) acusou efeito agudo, podendo-se considerar a existência de lançamentos de substâncias tóxicas na bacia do Cotia associados às atividades antrópicas.

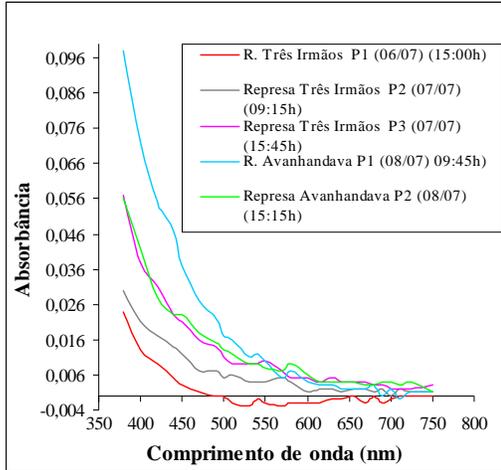
Os aspectos mencionados quanto aos usos e ocupações da região em que os reservatórios do Alto Tietê estão inseridos representam grande interferência no espectro de absorção de suas águas superficiais. Fato este não diferente para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, que apresentam analogamente fontes de poluição e contaminação da água seja no âmbito de culturas extensivas, como de cana-de-açúcar na região do reservatório de Barra Bonita como pela intrusão de águas com lançamentos domésticos e industriais dos rios Tietê e Piracicaba no mesmo reservatório (figura 159) ou de tributários, como por exemplo o rio Jacaré-Guaçu na represa de Ibitinga (figura 158).

Outro aspecto de grande relevância a ser citado é o fato de que os seis reservatórios constituintes do Médio e Baixo Tietê estão dispostos em um sistema de cascata desde o reservatório de Barra Bonita até o de Três Irmãos terminando com o rio Tietê encontrando o rio Paraná. O primeiro desta seqüência, reservatório de Barra Bonita, apresentou valor maior para absorbância da luz em suas águas superficiais com a tendência para valores menores nos reservatórios mais distantes deste em ambas estações do ano como ilustram as figuras 158 e 159.

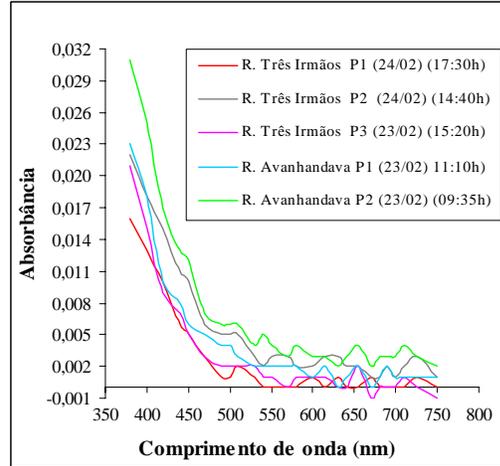
Do reservatório de Promissão (pontos P1 e P2) ao de Três Irmãos o valor da absorbância da luz em águas superficiais foi maior no período seco, e para o reservatório de Ibitinga no ponto P1 praticamente o valor foi o mesmo em ambas estações do ano, e no ponto P2 do mesmo reservatório, seu valor foi muito alto (0,418) no período chuvoso, sendo que este ponto localiza-se no tributário Jacaré-Guaçu com a contribuição de material particulado no sistema aquático.

(ii) Reservatórios do Médio e Baixo Tietê (A) Julho de 1999 – Período Seco

(B) Fevereiro de 2000 – Período Chuvoso

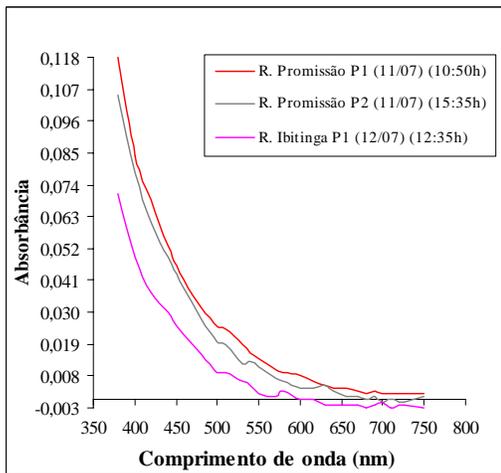


(A) Período Seco

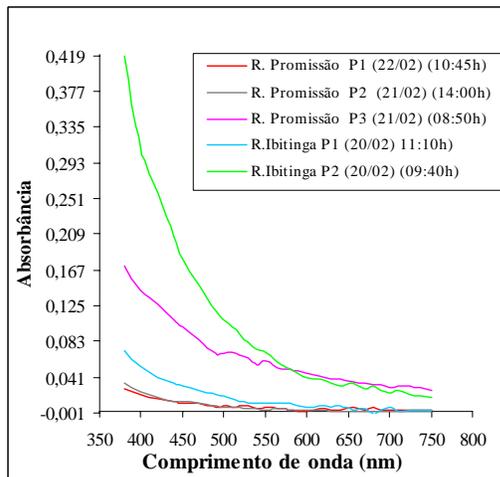


(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo dos reservatórios: Três Irmãos e Nova Avanhandava



(A) Período Seco



(B) Período de Alta Precipitação

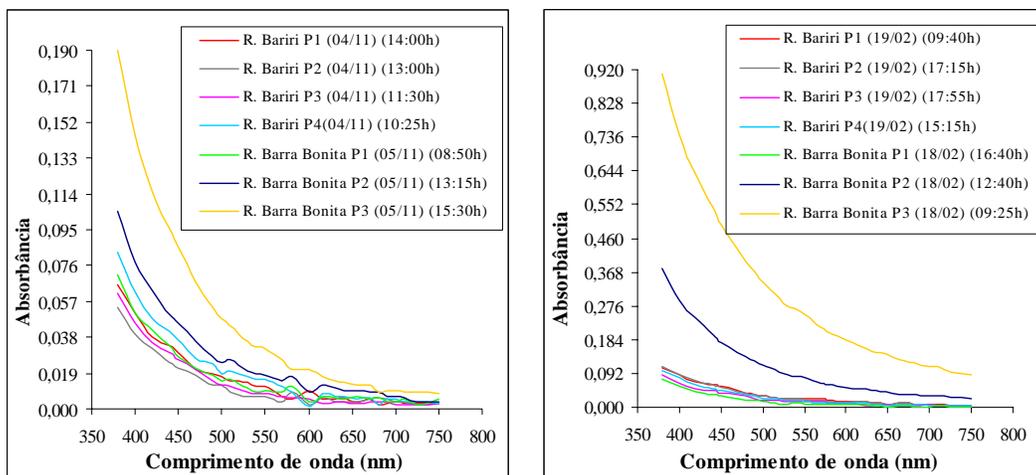
Pontos de Estudo dos reservatórios: Promissão e Ibitinga

Reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 158. Espectro de absorção da água superficial para os pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê: Três Irmãos, Nova Avanhandava, Promissão e Ibitinga, no Estado de São Paulo, em julho de 1999, período seco (A) e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).

(A) Novembro de 1999 – Período Seco

(B) Fevereiro de 2000 – Período Chuvoso



(A) Período Seco

(B) Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo dos reservatórios: Bariri e Barra Bonita

Reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 159. Espectro de absorção da água superficial para os pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê: Bariri e Barra Bonita, no Estado de São Paulo, em novembro de 1999, período seco (A), e em fevereiro de 2000, período chuvoso (B).

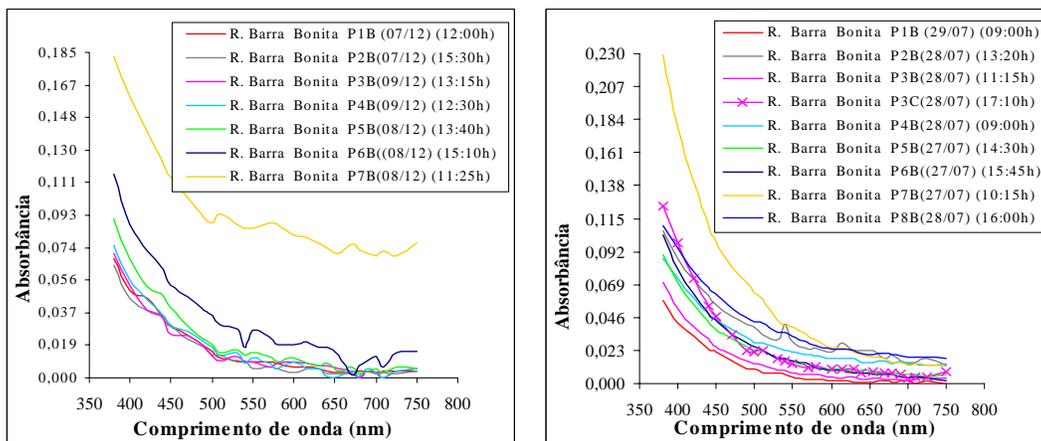
Para os reservatórios de Barra Bonita e de Bariri o valor da absorbância da luz em águas superficiais foi maior no período chuvoso (figura 159), sendo que os valores obtidos nos pontos P2 (rio Tietê) e P3 (rio Piracicaba) do reservatório de Barra Bonita atingiram valores três e cinco vezes respectivamente, maiores que o valor obtido no período seco. No ponto P3 (rio Piracicaba), este elevado aumento no valor da absorbância da luz na água superficial (figura 159), foi devido, dentre outros fatores, a presença de compostos dissolvidos e substâncias húmicas na água, uma vez que a contribuição de Kw (20,3 %) foi maior que de Kc (2,1 %) na superfície, como indica a tabela 30.

O registro de altos valores para a absorbância da luz em águas superficiais nestes pontos, do reservatório de Barra Bonita, comparativamente à maioria dos pontos estudados nos demais reservatórios nas duas estações do ano, é esperado, uma vez que este reservatório se apresenta eutrofizado. Este fato foi mais marcante no período de fevereiro de 2000, cuja intensidade média de chuvas ocorridas no Estado de São Paulo foi cerca de três vezes maior que a ocorrida em dezembro de 1999 (figura 50), período em que foi feito o estudo de “varredura da radiação solar subaquática” para este reservatório. Além dos compostos dissolvidos e de substâncias húmicas, neste período a entrada de material particulado no corpo d’água tem papel relevante no espectro de absorção da água superficial.

(iii) Reservatórios de Barra Bonita – “Varredura da Radiação Solar Subaquática”

(A) Dezembro de 1999 – Período Chuvoso

(B) Julho de 2000 – Período Seco



(A) Período de Alta Precipitação

(B) Período Seco

Pontos de Estudo do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 160. Espectro de absorção da água superficial para os pontos de estudo de toda extensão do reservatório de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, em dezembro de 1999, período chuvoso (A) e em julho de 2000, período seco (B).

No período de estudo em dezembro de 1999, o valor da absorvância da luz em águas superficiais nos pontos avaliados do reservatório de Barra Bonita foi menor que o valor obtido em fevereiro de 2000, figura 160, para estes mesmos pontos, o que pode estar relacionado com a ocorrência de chuvas menos intensas e a menor quantidade de material alóctone carregado para o corpo d'água.

De modo semelhante ao estudo anterior, o ponto localizado no rio Piracicaba, agora denominado P7B, também apresentou o maior valor para a absorvância da luz em água superficial naqueles pontos investigados em toda extensão do reservatório em ambas as estações do ano. Este valor foi maior no período seco para a maioria dos pontos, inclusive em P7B, que devido a ação de ventos fortes, houve circulação da massa de água e ressuspensão de material particulado interferindo no espectro de absorção da luz na água superficial.

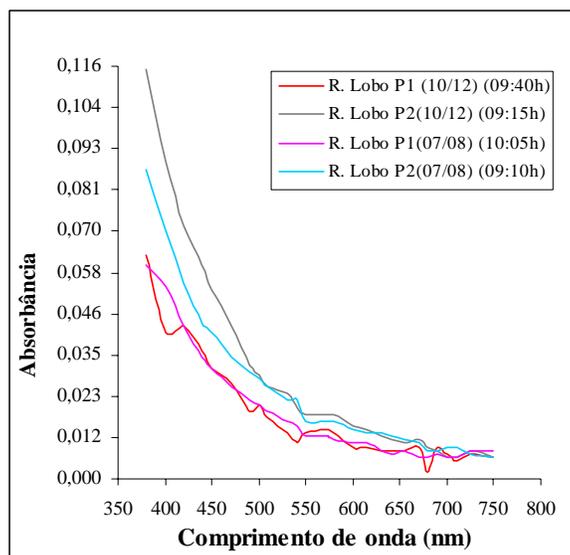
Os pontos localizados no corpo central do reservatório apresentaram a curva exponencial de decaimento da absorvância da luz na água superficial com o comprimento de onda de forma homogênea e valores menores que aqueles correspondentes aos pontos situados nos rios Piracicaba (P7B) e Tietê (P6B), principalmente no período chuvoso.

No período seco, a situação foi similar, contudo o ponto P8B, localizado próximo ao encontro destes dois rios e o ponto P3C (margem esquerda do ponto P3, no corpo central do reservatório) apresentaram também valores maiores para a absorvância da luz na água que nos demais pontos. Este fato pode estar relacionado com a junção de material carregado de ambos rios, para o corpo central do reservatório no ponto P8B e com a presença de uma camada espessa de algas *Microcystis* sp na região de P3C.

(iv) *Reservatórios do Lobo-Broa – “Varredura da Radiação Solar Subaquática”*

(A) *Dezembro de 1999 – Período Chuvoso*

(B) *Agosto de 2000 – Período Seco*



Reservatório do Lobo-Broa

FIGURA 161. Espectro de absorção da água superficial para os pontos de estudo do reservatório do Lobo-Broa, no Estado de São Paulo, em dezembro de 1999, período chuvoso e em agosto de 2000, período seco.

O valor da absorbância da luz na água superficial do reservatório do Lobo-Broa foi maior no ponto P2 em ambas as estações do ano (figura 161), o que pode estar relacionado com a presença de macrófitas nesta região e pela posição rasa do mesmo facilitando a ressuspensão de material. Substâncias húmicas e compostos dissolvidos contidos na água no período chuvoso foram fatores relevantes para maior absorbância da luz na água superficial neste período.

7. DISCUSSÃO

Esta tese tem um componente metodológico que se caracteriza pelo estabelecimento de padrões de penetração de radiação fotossinteticamente ativa em reservatórios e lagos naturais e componentes comparativos com o intuito de apresentar e discutir os mecanismos de funcionamento vertical e horizontal e suas relações com a radiação fotossinteticamente ativa.

7.1 Clima da Radiação Solar Subaquática

A radiação solar, tanto direta como indireta, que incide sobre uma superfície de água, não a penetra totalmente, devido a mecanismos de absorção e de espalhamento que compõem a atenuação desta radiação ao longo da coluna d'água.

A absorção da luz ocorrida em águas naturais é atribuída a quatro componentes do ecossistema aquático: a água propriamente, substâncias dissolvidas, material particulado (partes orgânica e inorgânica) e biota fotossintética (KIRK, 1983).

O espalhamento, ou “scattering”, ocorre dentro da água quando o feixe de luz incidente tem sua trajetória desviada, por colisão com partículas e detritos existentes na água, de modo a aumentar a trajetória que os fótons devem atravessar através de uma dada profundidade, aumentando assim, a probabilidade de serem absorvidos (KIRK, 1980). Por outro lado, alguns fótons podem ser espalhados no sentido ascendente da coluna d'água, indo para pontos superiores

daqueles em que foram espalhados, contribuindo assim, para intensificar a atenuação da radiação solar subaquática (BUKATA et al., 1995).

Em decorrência desses processos, a radiação solar ao penetrar um corpo d'água vai reduzindo em certos comprimentos de onda, os quais o meio aquático absorve diferencialmente, ocorrendo maior ou menor penetração para determinados comprimentos de onda. Esta diferenciação caracteriza a qualidade espectral da água e as condições fóticas do ecossistema aquático, e assim, gerando um determinado clima de radiação solar subaquática.

7.2 Implicações sobre a atenuação da radiação solar subaquática e sua composição

Vários são os fatores de relevância na questão da atenuação da radiação solar no meio aquático dada sua complexidade, a começar pelo entendimento de suas propriedades ópticas. As inerentes, são aquelas determinadas unicamente pelo conteúdo da água, ou seja, quando a radiação solar penetra num determinado corpo d'água, é atenuada tanto por absorção como por espalhamento.

As propriedades ópticas aparentes são determinadas tanto pelo conteúdo da água, como pelo campo de radiação solar ambiente, originado pela elevação angular do Sol, cobertura de nuvens, dentre outros. O clima de radiação solar gerado no corpo d'água depende também de sua localização geográfica e da época do ano, que estão intimamente relacionadas com a elevação angular do Sol e com a distância deste ao ponto de estudo. Assim, a radiação solar está sujeita a variações tanto em sua intensidade como em sua qualidade espectral

Este trabalho foi desenvolvido, para a maioria dos ambientes estudados, em duas épocas específicas do ano: o verão e o inverno. A ocorrência de chuvas intensas na primeira época (verão) ocasiona o carreamento de material alóctone para o sistema aquático e, no inverno, a ação de ventos relativamente intensos, provoca turbulência da massa de água e ressuspensão de material

particulado na coluna d'água. Estes fatores são de grande influência na atenuação da radiação solar subaquática e estão relacionados com as condições climatológicas e hidrológicas nas regiões em que os ambientes aquáticos estão inseridos.

A intrusão de águas por tributários e as condições hidrometeorológicas podem ocasionar estratificação térmica e química da água dos ambientes aquáticos, afetando direta ou indiretamente a penetração da radiação solar nos corpos d'água.

Feitas estas considerações, são levantados dois aspectos importantes no estudo da atenuação da radiação solar no sistema aquático: os gradientes vertical e horizontal. Para TUNDISI (1976), o gradiente vertical descreve tanto o deslocamento quantitativo do espectro de radiação, com a diminuição da intensidade luminosa com a profundidade, quanto uma alteração em sua composição espectral.

O gradiente horizontal, segundo o mesmo autor, refere-se à turbidez da massa de água que está relacionada com o material em suspensão e estratificação do fitoplâncton nela contida.

O conjunto de todos estes fatores determina o clima de radiação solar subaquática e como consequência, a organização biológica na coluna d'água, como ilustra a figura 162. A partir desses fatores é apresentada uma síntese relacionando suas interferências sobre a atenuação da radiação solar subaquática nos ambientes aquáticos estudados:

- i) No verão, a ocorrência de chuvas, permite a entrada de material particulado e dissolvido carregado pela vizinhança da bacia hidrográfica, alterando a turbidez do ambiente aquático, que exerce relevante influência na radiação solar subaquática, que é rapidamente atenuada e alterada sua composição espectral de acordo com o material nele inserido.
- ii) A ocorrência de ventos fortes, no inverno, nos reservatórios do Estado de São Paulo, ocasiona circulação da massa de água e ressuspensão de material do

- sedimento, provocando turbulência e turbidez da água, desempenhando papel de grande importância na atenuação da radiação solar subaquática.
- iii) Para os lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, no Estado de Minas Gerais, a ação de ventos não é preponderante como para os reservatórios do Estado de São Paulo, devido a morfometria dos mesmos e por se encontrarem em vales profundos com baixa circulação da massa de água.
- iv) A presença de estratificação e desestratificação térmica e química, estacional e diurna, principalmente nas camadas superiores destes lagos, entre 2 m e 5 m de profundidade (TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, 1981), estabelece modelos de distribuição vertical de algas planctônicas devido a respostas dos organismos e interações entre as populações (REYNOLDS, 1997).
- v) Componentes do coeficiente de atenuação total da radiação solar (K_t) são, de uma forma geral, devido a :
- (a) **K_w** : devido a própria água e compostos dissolvidos, estes últimos, pela decomposição de organismos aquáticos (BUKATA et al., 1995), ou pela entrada de matéria orgânica pela ocorrência de chuvas, drenagem do solo, descargas de rios e lagos na forma de substâncias húmicas dissolvidas e dão cor amarelada à água. Absorve a radiação solar na faixa espectral do azul (KIRK, 1983). A absorção da água propriamente é completamente significativa na região espectral do vermelho (BUKATA, 1995).
- (b) **K_c** : devido aos organismos clorofilados representados por algumas bactérias clorofiladas, algas e macrófitas aquáticas, que segundo KIRK (1983) depende não somente da quantidade dos pigmentos fotossintéticos, como também do tamanho e forma das células algais ou colônias, nas quais os pigmentos estão localizados. A absorção pela clorofila ocorre nas faixas espectrais do azul e do vermelho (BUKATA, 1995).
- (c) **K_x** : devido ao material particulado de origem orgânica e inorgânica, partículas minerais oriundas do solo, plancton, detritos, partículas de origem vulcânica e antrópica como também compostos particulados devido reações químicas localizadas. Segundo KIRK (1983), considerando

a presença de material particulado húmico ou mineral em altas concentrações, a luz verde é rapidamente absorvida.

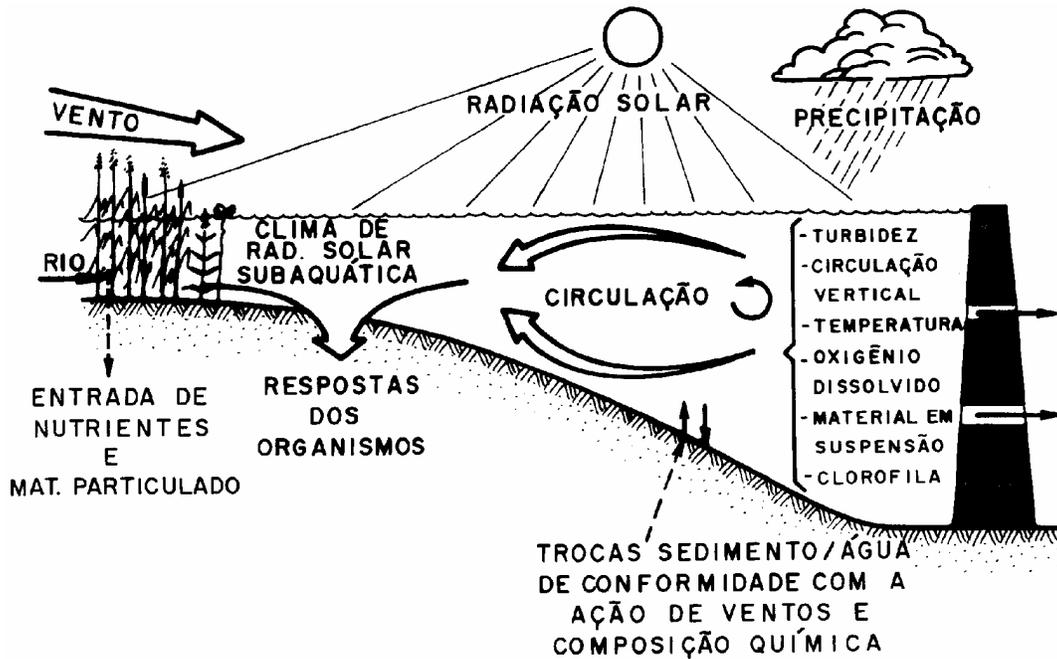


FIGURA 162. Conjunto de fatores que interferem no estabelecimento do clima de radiação solar subaquática. (modificado de CALIJURI & TUNDISI, 1991)
 Fonte: RODRIGUES (1997).

A ocorrência de chuvas e a ação de ventos fortes, foram os agentes determinantes para a entrada de material particulado e dissolvido nos sistemas aquáticos em questão, como também a presença de estratificação térmica e ou química foram os formadores de condições de interferência na penetração da radiação solar nos mesmos, contribuindo para a atenuação da radiação solar subaquática na forma de algum dos componentes K_w , K_c ou K_x do coeficiente de atenuação total da radiação solar, K_t .

7.3 Profundidade da Zona Eufótica: uma abordagem comparativa

O estudo da penetração da radiação solar foi desenvolvido nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê, Estado de São Paulo e em lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, Estado de Minas Gerais, que apresentam diferenças nos usos e ocupações das bacias hidrográficas em que os sistemas estudados estão inseridos, e portanto, ocasionando diferentes níveis de interações e impactos.

A ocorrência de chuvas no verão apresentou relevante influência na penetração da radiação solar em todos os ambientes estudados, cujas intensidade e qualidade espectral foram influenciadas pelo tipo de material particulado e dissolvido que entrou no sistema aquático, devido os diferentes usos e ocupações das bacias hidrográficas. Enquanto que a ação de ventos apresentou papel mais determinante para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê por estes serem bem mais vastos e abertos comparativamente aos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce.

A seguir discute-se a radiação solar subaquática nos ecossistemas estudados: artificiais e naturais, suas similaridades e diferenças.

7.3.1 Comparação entre os ecossistemas artificiais

Foram estudados seis reservatórios do Médio e Baixo Tietê, situados no Estado de São Paulo, compostos no sistema em cascata, a saber: Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avandava e Três Irmãos. Neste trabalho foi considerado o início do sistema em cascata com o reservatório de Barra Bonita e continuando a seqüência de reservatórios de conformidade com o curso do rio Tietê no sentido à sua foz no rio Paraná. Estes reservatórios foram construídos desde os anos 60, principalmente para alimentar a demanda crescente de energia elétrica com o aumento populacional da região, segundo BARBOSA, et al. (1999).

Para os mesmos autores, verifica-se um rápido crescimento no processo de eutrofização para os primeiros reservatórios deste sistema em cascata.

Os reservatórios, sendo ecossistemas artificiais intermediários entre rios e lagos, além de estarem sujeitos às ações das funções de força climatológicas como precipitação, ventos e radiação solar, apresentam mecanismos específicos de circulação horizontal e vertical produzidas pela operação do sistema, denominada “estratificação hidráulica” (TUNDISI, 1983).

As variações horizontais nestes sistemas, são importantes tanto para a definição das zonas de rio, zonas de transição e lacustre, como para sua distribuição temporal. A distribuição horizontal das variáveis físicas em reservatórios e os padrões de circulação horizontal estão basicamente relacionados, segundo TUNDISI (1990), com os seguintes fatores:

- (a) Correntes de advecção produzida pela entrada de rios e a velocidade e o volume destes fluxos;
- (b) Correntes de superfície produzidas pela ação dos ventos e o conseqüente “empilhamento” das massas de água na barragem;
- (c) Correntes produzidas pelo fluxo horizontal resultante da saída de massa de água a várias profundidades. Estas correntes produzem gradiente horizontais acentuados e, em alguns casos, caracterizam estratificação contínua (estratificação hidráulica, TUNDISI, 1984)).

O tempo de residência da água e os efeitos tanto da altura da saída da água como da ação dos ventos são muito importantes na circulação horizontal destes reservatórios, como também sua posição geográfica e condições climatológicas.

Nos reservatórios com baixa circulação vertical no verão e tomadas de água a profundidades intermediárias, a estratificação é grande e também depende de vários fatores, dentre eles o efeito da ação dos ventos (força e direção) como também o trabalho necessário para uma completa recirculação do sistema (TUNDISI, 1990).

Para o mesmo autor, a estratificação dos reservatórios depende de vários fatores:

- (a) Aquecimento térmico a partir da radiação solar;
- (b) Profundidade média e máxima do sistema;
- (c) Efeito do vento (força e direção) na quebra de estratificação e no estabelecimento de padrões de mistura vertical;
- (d) Altura da tomada de água para os vertedouros e turbinas.

A permanência desta termoclina depende também do tempo de retenção, uma vez que o mesmo pode influenciar marcadamente no padrão de distribuição vertical. Com tempo de retenção menores que 100 dias o padrão de estratificação é alterado significativamente pelo fluxo horizontal. Para a maioria destes reservatórios a ação de ventos é permanente e apresentam pouca profundidade, sendo a circulação permanente com estratificações ocasionais que perduram algumas horas e são importantes no desenvolvimento e florescimento de *Microcystis* sp e *Anabaena* sp.

No período seco, em que a ação de ventos é mais efetiva nos reservatórios estudados, foram observadas microestratificações entre aproximadamente 1,0 m e 3,0 m nos reservatórios de Três Irmãos (ponto P3), Nova Avanhandava (ponto P2) e de Bariri (ponto P3). Já no ponto P2 do reservatório de Ibitinga e nos pontos P2 e P4 do reservatório de Bariri, a estratificação química ocorrida pode estar relacionada tanto com a de intrusão de águas dos tributários como com a “estratificação hidráulica”, como ilustra a figura 163 para estes pontos do reservatório de Bariri, cujas profundidades da zona eufótica e a de mistura foram praticamente coincidentes no ponto P2, ao passo que no ponto P4 do mesmo reservatório, a profundidade da zona eufótica foi maior que a de mistura.

A compartimentalização espacial e temporal em represas, sendo uma resposta aos efeitos das funções de força naturais e artificiais, induz mecanismos

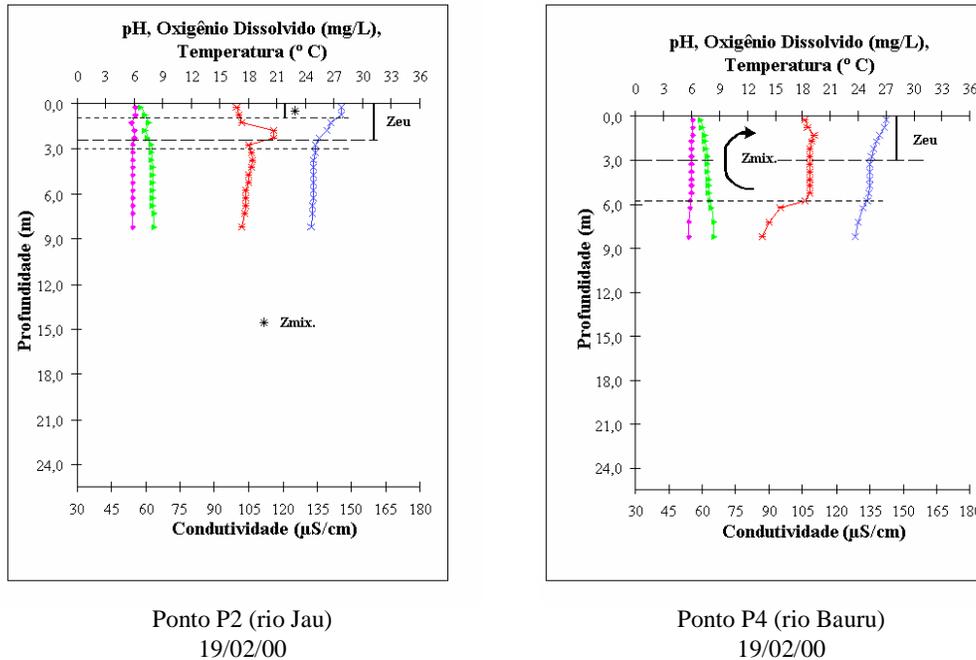
Em ambos os pontos mencionados do reservatório de Bariri a profundidade da zona eufótica atingiu quase a metade de sua profundidade máxima e alta concentração de clorofila total na região da zona eufótica, com grande absorção da radiação fotossinteticamente ativa devido a este componente nesta região. No ponto P4, a profundidade da zona eufótica foi maior que a zona de mistura, o que pode estar relacionada com a reciclagem de nutrientes devido ao modelo de circulação resultante da estratificação e desestratificação e turbulência devido a ação de ventos, tempo de residência da água e condições de operação da usina hidrelétrica.

Com exceção do reservatório de Bariri (pontos P2 a P4) no período seco, e do ponto P1 no reservatório de Três Irmãos, no verão (período chuvoso), os valores obtidos para as relações $Z_{eu}/Z_{máx.}$ e $Z_{eu}/Z_{mix.}$, em ambas as estações do ano, para os demais reservatórios foram semelhantes e com valores entre 0,12 e 0,66, indicando que a profundidade da zona eufótica foi muito menor que as profundidades máxima e de mistura.

No verão, em que a ocorrência de chuvas é mais acentuada que no inverno, a estratificação térmica ocorreu somente no reservatório de Três Irmãos, no ponto P1 e estratificação térmica e química nos pontos P2 e P4 do reservatório de Bariri, analogamente a estação do anterior. Para o reservatório de Bariri, a profundidade da zona eufótica foi maior que a de mistura no ponto P2, com contribuição do fitoplâncton na atenuação da radiação solar subaquática em maiores proporções que no ponto P4, em que a profundidade da zona eufótica foi menor comparada com a de mistura, conforme figura 164.

Para o ponto P1 do reservatório de Três Irmãos, no verão, a radiação solar foi fortemente atenuada, apresentando a maior concentração de clorofila total na superfície, constituindo a maior contribuição de K_c em toda a coluna d'água para esta atenuação. A profundidade da zona de mistura foi muito menor que a da zona eufótica, com estratificação térmica nas camadas superiores da massa de água, com preponderância da contribuição de material em suspensão

para o coeficiente de atenuação total da radiação solar, relacionada com a entrada de material alóctone devido a ocorrência de chuvas nesta época do ano.



Período de alta Precipitação

Reservatório de Bariri

- Legenda:
- ◆ pH
 - × Temperatura (°C)
 - ▲ Oxigênio Dissolvido (mg/L)
 - * Condutividade (µS/cm)

FIGURA 164. Estratificação térmica e química nos pontos P2 e P4 do reservatório de Bariri e a relação entre as profundidades das zonas eufótica e de mistura em cada um desses pontos, em fevereiro de 2000, período chuvoso.

Considerando o sistema dos seis reservatórios em cascata como um todo, a penetração da radiação solar foi maior no período seco. Neste período, no ponto P2 do reservatório de Três Irmãos, último da seqüência, apresentou aproximadamente 60 % da coluna d'água atingida pela radiação solar, maior penetração da radiação solar ocorrida dentre os seis reservatórios, nesta época do ano. As menores foram no ponto P1 do reservatório de Nova Avanhandava, reservatório de Bariri (ponto P1) e no ponto P2 do reservatório de Barra Bonita.

No período chuvoso, a penetração da radiação solar foi bem reduzida no ponto P2 do reservatório de Ibitinga e nos pontos P2 e P3 do reservatório de

Barra Bonita, sendo todos eles localizados nas proximidades dos tributários, que contribuíram grandemente para a atenuação da radiação solar subaquática com a entrada de material alóctone nos sistemas aquáticos.

Em linhas gerais, considerando-se o conjunto dos seis reservatórios como um sistema em cascata, a profundidade da zona eufótica para a maioria dos reservatórios aumentou no sentido de sua desembocadura no rio Paraná, em ambas as estações do ano, uma vez que se tem observado rápido desenvolvimento do processo de eutrofização nos primeiros reservatórios da série.

Segundo BARBOSA et al. (1999), alguns dados mostram diferenças na qualidade da água, sugerindo a aceleração deste processo em comparação com dados obtidos por TUNDISI et al. (1991): níveis de nitrogênio total (valores médios) tem aumentado cerca de 2,7 vezes em Barra Bonita, dobrou em Bariri, aumentou em torno de 25% em Ibitinga, e de 50% em Promissão, e diminuiu cerca de 10% em Nova Avanhandava. Concentrações de fósforo total dobraram em Barra Bonita e Bariri, permaneceu o mesmo em Ibitinga, aumentou cerca de 58% e de 73% em Promissão e Nova Avanhandava, respectivamente. Para o reservatório de Barra Bonita, no período seco, foi observado neste trabalho, aumento de aproximadamente 3,0 vezes o valor da concentração de clorofila total na coluna d'água obtido por RODRIGUES (1997). Tais mudanças confirmam a tendência no processo acelerado de eutrofização, particularmente nos primeiros reservatórios do sistema em cascata e que poderão ter conseqüências futuras em todo o sistema.

Com esta característica observada no sistema, os reservatórios em cascata apresentam respostas imediatas de algumas variáveis e aparentemente demoram para outras, como se observou com os dados citados acima. Turbidez inorgânica na coluna d'água do primeiro reservatório afetou o clima de radiação solar subaquática e nos reservatórios seguintes florescimentos volumosos de algas reduzem a penetração da radiação solar, como ocorreu nos pontos P1 e P3 do reservatório de Bariri (segundo reservatório do sistema em cascata), no período seco, com grande atenuação da radiação solar na coluna d'água.

7.3.2 Comparação entre os ecossistemas naturais

O estudo da penetração da radiação solar em ecossistemas naturais foi desenvolvido nos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce: Lago D. Helvécio, Lagoa Carioca e Lagoa Aníbal pertencentes ao Parque Estadual do Vale do rio Doce. As lagoas Aguapé, Águas Claras, Ferrugem, Verde e Amarela estão localizadas em propriedade particular da CAF - Companhia Agrícola Florestal, caracterizada por extensas áreas de florestamento artificial de *Eucalyptus* sp, apresentando extensas áreas de corte, cultivo de eucalipto abandonado, entremeado por espécies nativas oportunistas (MORETTO, 2001).

Estes lagos estão situados numa região entre vales e morros, o que facilita o transporte de grande quantidade de material da vegetação do entorno, para os lagos principalmente no período chuvoso que ocorre entre os meses de outubro a abril, e dificulta a ação de ventos nos meses subsequentes, período seco, ocasionando baixa circulação da massa de água. Como consequência apresenta um padrão térmico peculiar: apresentam estratificação e desestratificação estacional e diurna, principalmente nas camadas superiores da coluna d'água, segundo TUNDISI & MATSMURA-TUNDISI (1981).

No período chuvoso os lagos estudados apresentaram estratificação térmica e química, na maioria dos casos se enquadrando na classificação dada por TUNDISI et al. (1987), a saber:

- (a) Aqueles que estratificam sazonalmente, com a camada do metalímnio bem definida separando o epilímnio e o hipolímnio com uma diferença de temperatura aproximadamente entre 6 °C e 8 °C, como ocorreu nos lagos D. Helvécio, Carioca e Verde.
- (b) Aqueles que estratificam sazonalmente apresentando o epilímnio e um gradiente de temperatura até o fundo, mas as camadas do metalímnio e hipolímnio não muito bem definidas, como na lagoa Aníbal e, provavelmente nas lagoas Aguapé e Águas Claras.

(c) Aqueles que apresentaram uma estratificação não muito clara, como ocorreu nas lagoas Ferrugem e Amarela.

Neste período para os lagos estudados, a relação $Z_{eu}/Z_{m\acute{a}x.}$, atingiu os valores entre 0,39 e 1,0 indicando que desde aproximadamente 40% até a totalidade da coluna d'água foi atingida pela radiação solar e a relação $Z_{eu}/Z_{mix.}$ apresentou valores entre 1,03 e 1,25, indicativo de que as profundidades das zonas de mistura e eufótica foram relativamente semelhantes.

Segundo REYNOLDS (1997), mesmo considerando que exista uma camada metalimnética bem definida dentro da qual os organismos planctônicos possam se movimentar, existe a vantagem destes obterem uma posição reguladora ou ainda de se movimentarem rumo às camadas ricas em energia se organizando e ou se adaptando na coluna d'água. O que pode ter ocorrido com a maioria dos lagos estudados, dado o aumento observado na concentração de clorofila total na região em que apresentou 1% da radiação fotossinteticamente ativa e que praticamente coincide com a região fronteira entre epilímnio e metalímnio. Como consequência, aumento na contribuição do componente fitoplanctônico (K_c) na atenuação da radiação solar subaquática nesta região. Fato este ocorrido para os lagos D. Helvécio (figura 165), Carioca e Verde que apresentaram o metalímnio bem definido e para as lagoas Aníbal (figura 165), Aguapé e Águas Claras que apresentaram metalímnio e hipolímnio não tão bem definidos, com pequeno gradiente de temperatura. Nestas duas últimas, a profundidade da zona eufótica atingiu praticamente a profundidade máxima, como também para as lagoas Ferrugem e Amarela, sem contudo apresentarem aumento de clorofila total significativo na região mencionada.

Para os lagos estudados, exceto a lagoa Carvão com Azeite, devido suas características peculiares, a penetração da radiação solar foi ligeiramente maior no período chuvoso, não apresentando grandes diferenciações comparativamente ao período seco, mais notadamente para as lagoas Aguapé, Águas Claras e Aníbal, como ilustra a tabela 43. As lagoas Amarela e Ferrugem, neste período, não apresentaram aumento de clorofila total na região mencionada e mantiveram a penetração da radiação solar em praticamente toda a coluna d'água em ambas as estações do ano.

TABELA 43. Comparação da profundidade da zona eufótica (%) nos lagos Aguapé, Águas Claras e Aníbal, nos períodos seco e chuvoso.

Lagos	Zona Eufótica (%)	
	Período Seco	Período Chuvoso
Aguapé	89	100
Águas Claras	56	100
Aníbal	68	84

No período seco, a ausência de estratificação foi marcante na maioria dos lagos, e a radiação solar subaquática nos lagos D. Helvécio, Carioca e Verde foi fortemente atenuada pelo material em suspensão contido na água, como também para a lagoa Águas Claras, a partir de 0,5m de profundidade e pela clorofila total na superfície onde apresentou alta concentração. Grande parte da atenuação da radiação solar subaquática se deveu a presença de fitoplâncton para os demais lagos e na lagoa Amarela esta contribuição foi em menor escala e aumentada a de compostos dissolvidos na água.

7.3.3 Comparação entre os ecossistemas naturais e artificiais

A penetração da radiação solar em águas continentais estudada nos ecossistemas naturais e artificiais mostrou diferenciações não somente quanto as coordenadas geográficas, mas também quanto aos usos e ocupações das regiões em que os mesmos se encontram, e portanto apresentando níveis de interações e

impactos diferenciados, evidenciando particularidades para cada um desses ecossistemas as quais interferem no clima de radiação solar subaquática, a saber:

(a) Ecossistemas Naturais: lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

São sistemas protegidos com paisagem natural, praticamente inalterada, ou apresentam áreas extensas de reflorestamento artificial e estão localizados em região entre vales e morros, dificultando a ação de ventos, ocasionando baixa circulação da massa de água, que segundo TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1981), tem como consequência um padrão térmico peculiar: apresentam estratificação no verão (de novembro a março) e desestratificação estacional no inverno (maio a setembro) e diurna (principalmente entre 2,0 m e 5,0 m de profundidade).

Como estes lagos são predominantemente permanentes e fechados, apresentam o ciclo hidrológico regido pelo aporte de águas das chuvas diretamente ou pelo escoamento da bacia de drenagem e do lençol freático e pela perda de água pelo processo físico de evaporação e pela transpiração das macrófitas. Dessa forma, as principais alterações na qualidade destes sistemas ocorrem devido as variações nas características físicas, químicas e biológicas do material alóctone que é carregado do sistema terrestre (MORETTO, 2001). A própria situação fisiográfica da região facilita o transporte de grande quantidade de material da vegetação para os lagos, principalmente na época de intensas precipitações (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1981).

Assim, a atenuação da radiação solar nestes ecossistemas foi preponderantemente devido a entrada de material alóctone de origem orgânica e inorgânica no período chuvoso para todos os lagos estudados. No período seco, esta preponderância foi devido a presença de organismos clorofilados para a maioria dos lagos, pela presença de nutrientes na maior parte da coluna d'água, dada a circulação da massa de água neste período do ano. Já para alguns lagos, neste mesmo período, manteve-se a preponderância do material em suspensão

para a atenuação da radiação solar subaquática e participação mais significativa de compostos dissolvidos na água como ocorreu para as lagoas Amarela e Verde.

Estas condições são determinantes na atenuação da radiação solar nos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, contudo alguns lagos mantiveram suas águas claras nas duas estações do ano com a radiação solar atingindo toda a coluna d'água.

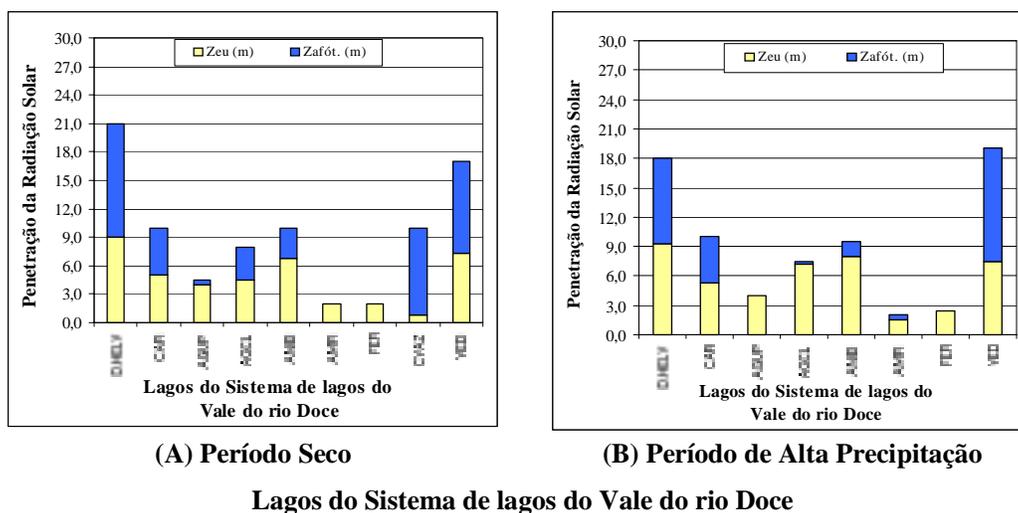


FIGURA 166. Comparação da profundidade da zona eufótica dos lagos estudados nos períodos seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).

A comparação da profundidade da zona eufótica em ambas as estações do ano é apresentada na figura 166, onde as lagoas Amarela e Ferrugem não mostraram diferenças marcantes. No período chuvoso a penetração da radiação solar foi ligeiramente maior que no período seco, sendo mais evidente nas lagoas Aguapé, Águas Claras e Aníbal, cujas profundidades das zonas de mistura e eufótica foram praticamente semelhantes.

No período seco a profundidade da zona eufótica foi menor que a de mistura. Segundo REYNOLDS (1997) com estas diferenças entre os lagos, a luz ao penetrar pela coluna d'água misturada pode apresentar a presença de camadas inteiras com deficiência de luz aproximadamente constante.

A distribuição da radiação solar subaquática nos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce combinada com a estratificação ou circulação vertical do sistema, propiciou o desenvolvimento de diferentes estratégias evolutivas e adaptativas do fitoplancton, por exemplo a concentração de algumas espécies como *Lyngbya* limnética em regiões de baixa intensidade luminosa e com alta concentração de nutrientes, especialmente amônio (REYNOLDS, et al., 1983) ou acúmulo de populações de fitoplancton no metalímnio do lago D. Helvécio. Nestes casos, não só a penetração de energia radiante subaquática é fundamental, mas evidentemente a própria qualidade de radiação subaquática é relevante para a organização vertical do fitoplancton.

A figura 167 mostra a concepção e a constatação de REYNOLDS (1995) sobre os vários lagos do sistema e as relações com a profundidade do metalímnio e a profundidade da zona eufótica.

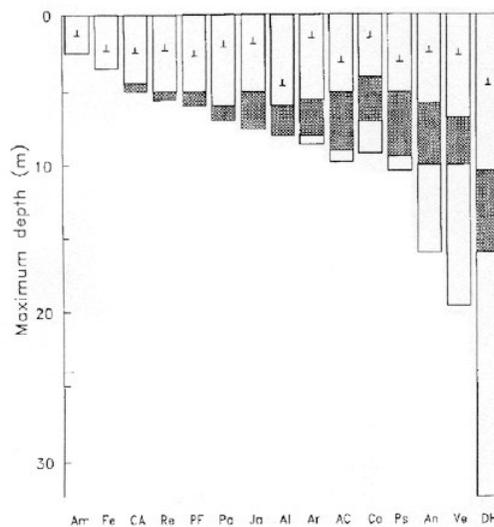


FIGURA 167. Representação da coluna d'água e a extensão do metalímnio para lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, em dezembro de 1985. O símbolo T invertido indica a profundidade Secchi.
Fonte: REYNALDS (1995).

(b) Ecossistemas artificiais: Reservatórios do Médio e Baixo Tietê

As represas construídas nas bacias hidrográficas diferem dos sistemas naturais, uma vez que são obra humana substituindo pequenos açudes usados há muito para a irrigação ou como reserva de água potável em imensos reservatórios, destinados à produção de energia e a outros fins, como o transporte, a produção de biomassa e eventualmente, recreação (TUNDISI, 1992).

Estas estão sujeitas a ação das funções de forças climatológicas como precipitação, ventos e radiação solar. Um dos determinantes essenciais do funcionamento das represas é sua estrutura espacial, tanto horizontal quanto vertical, muito mais heterogênea que a dos lagos, por depender dos níveis de entrada de água dos rios e da altura da saída da água (TUNDISI, 1992), apresentando mecanismos específicos de circulação produzidos pela operação do sistema.

Ao contrário dos lagos, os reservatórios do Médio e Baixo Tietê são sistemas vastos e abertos sujeitos a ação de ventos freqüentes provocando circulação da massa de água na maior parte do ano. Portanto, a circulação vertical é permanente com estratificação freqüente e tênue, a qual depende dos efeitos dos ventos (força e direção) e do trabalho necessário para uma completa recirculação do sistema, segundo TUNDISI (1990).

Um tipo especial de estratificação ocorre em vários reservatórios devido os efeitos do funcionamento hidráulico do sistema sobre o perfil térmico e químico, denominada de “estratificação hidráulica” (TUNDISI, 1983).

Os padrões de circulação horizontal, impõem distribuições características de fitoplâncton, que em muitos casos produzem florescimentos localizados por acúmulo e pela ação de correntes horizontais de superfície. Por outro lado a circulação horizontal em superfície ou no fundo, produz também acúmulos diferenciados de matéria orgânica particulada (fitoplâncton e detritos) e

baixas concentrações de oxigênio dissolvido com alta condutividade nestas camadas (TUNDISI, 1990).

O tempo de retenção da água nos reservatórios podem produzir vários tipos de circulação tanto horizontal quanto vertical, interferindo na distribuição de organismos na coluna d'água.

Os reservatórios apresentam, portanto, sistemas de circulação horizontal e vertical produzidos pelas funções de forças naturais e pela ação do homem que atua na operação da represa de forma significativa com resultados nos mecanismos de funcionamento ecológicos (TUNDISI, 1990).

Este conjunto de fatores atua sobremaneira na circulação da água e seu conteúdo como também na entrada de material alóctone no sistema. Ainda, as condições climatológicas, época do ano e atividades antrópicas desenvolvidas na bacia hidrográfica, interferem na penetração da radiação solar nos reservatórios. Desta forma, além das diferenças citadas do mecanismo de funcionamento entre lagos e reservatórios, os usos múltiplos e ocupações da região em que os reservatórios estão inseridos constituem fator de grande relevância no estudo da penetração da radiação solar nestes sistemas.

Os reservatórios do Médio e Baixo Tietê estudados, constituem um conjunto de seis reservatórios dispostos em série (figura 168), sendo o primeiro deles o de Barra Bonita que recebe o esgoto praticamente não tratado da cidade de São Paulo, como também lançamentos industriais, acelerando o processo de eutrofização. Os dois reservatórios seguintes recebem, por meio de tributários grande quantidade de esgotos domésticos e industriais das cidades vizinhas e para os três últimos reservatórios da cascata a tendência de diluição dos lançamentos contribui, segundo BARBOSA et al. (1999) para o desenvolvimento de um gradiente trófico decrescente no percurso do rio Tietê.

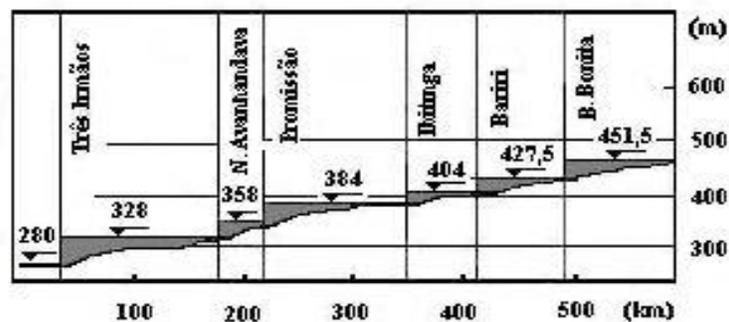


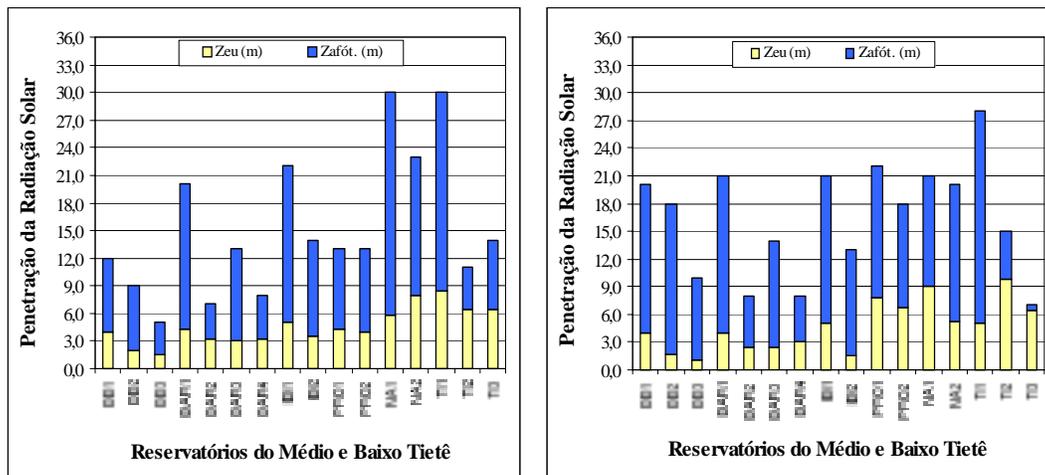
FIGURA 168. Representação dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em um sistema em cascata.

Fonte: Modificado de FRACÁCIO et al.(2002).

Com exceção da Lagoa Carvão com Azeite, que é toda coberta por vegetação, nas demais lagoas do Sistema de lagos do Vale do rio Doce a penetração da radiação solar foi maior que nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em ambas estações do ano. O que evidencia a interferência não somente dos diferentes mecanismos de funcionamento entre lagos e reservatórios, como também dos lançamentos domésticos, industriais e agrícolas destes últimos sobre a penetração da radiação solar nos ambientes aquáticos.

A figura 169 ilustra a profundidade da zona eufótica em cada ponto de estudo dos reservatórios em cascata, nos períodos seco e chuvoso. Considerando o sistema em cascata como um todo, a penetração da radiação solar foi maior no período seco, que é caracterizado pela ação de ventos intensos provocando circulação da massa de água e ressuspensão de material do sedimento, ocasionando turbidez que interfere na penetração da radiação solar (figura 169 A). A ocorrência de estratificação, neste período, pode estar relacionada com a intrusão de águas dos tributários e com o mecanismo de operação das represas. A intrusão de águas altera o fluxo horizontal da água com a entrada de material particulado e dissolvido no sistema, principalmente de origem orgânica por despejos de esgotos domésticos e industriais. A circulação

permanente com estratificações ocasionais que perduram algumas horas são importantes para florescimentos de algas. Este fato pode ser observado devido a maior contribuição dos compostos clorofilados para a atenuação da radiação solar subaquática nos dois primeiros reservatórios da série, embora a preponderância de contribuição tenha sido devido ao material em suspensão para todos os reservatórios.



(A) Período Seco (B) Período de Alta Precipitação
Pontos de Estudo do Sistema de Reservatório em Cascata do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 169. Comparação da profundidade da zona eufótica dos pontos de estudo do sistema de reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).

Dos seis reservatórios da cascata, os três primeiros da série sofreram maior atenuação da radiação solar subaquática, conforme figura 169 (A), que seguramente está relacionada não somente com o mecanismo de circulação vertical e horizontal de reservatórios, mas com a entrada de material alóctone por intrusão das águas dos tributários no sistema aquático. Os pontos P2 e P3 do reservatório de Barra Bonita localizam-se respectivamente nos rios Tietê e Piracicaba nas proximidades da entrada do corpo central da represa,

evidenciando a grande atenuação da radiação solar subaquática. O mesmo ocorreu nos pontos dos reservatórios de Bariri e de Ibitinga.

Na estação chuvosa, em que a atenuação da radiação solar subaquática foi mais acentuada comparativamente ao período seco, notadamente nos primeiros reservatórios da seqüência como anteriormente comentado. A entrada de material particulado e dissolvido no sistema aquático pela ocorrência de chuvas, contribuiu consideravelmente para a atenuação da radiação solar subaquática, com a observação do aumento de contribuição pelo componente Kw, principalmente em pontos localizados nos tributários.

A penetração da radiação solar em ecossistemas naturais, como nos lagos estudados, é influenciada pelas funções de força naturais como as condições climatológicas, estações do ano, morfologia e fisiologia da região em que os mesmos estão inseridos. Este conjunto de fatores estabelecem os processos de circulação da massa de água que combinados com o clima de radiação solar subaquática gerado a partir destas condições e dos usos e ocupações do solo, vão determinar a organização temporal e espacial dos organismos na coluna d'água.

Para os reservatórios, como um ecossistema artificial, além destes fatores, são incluídos aqueles relacionados com as funções de força humana produzidas pelo mecanismo de operação de cada um dos reservatórios, como também com os usos e ocupações da bacia hidrográfica. O crescente uso do solo com atividades agrícolas e industriais e o aumento populacional são agentes contribuidores para entrada de contaminantes e poluentes nos corpos d'água, causando o processo de eutrofização cultural, que para alguns reservatórios se observa a presença de algas tóxicas, como no reservatório de Barra Bonita.

7.4 Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da Radiação Solar Subaquática: Contribuição e Influência na Quantidade e Qualidade Espectral da Radiação Solar Subaquática

7.4.1 Coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, K_t , em ecossistemas artificiais e naturais

A radiação solar ao atravessar a coluna d'água, tem sua intensidade reduzida e sua qualidade espectral alterada como resultado da absorção por vários componentes do meio aquático. A atenuação da radiação solar com a profundidade é acentuada pela ocorrência de espalhamento devido a presença de material particulado dentro da água. O papel do espalhamento é alterar o percurso do feixe radiante incidente através de uma profundidade, aumentando a probabilidade de posterior absorção (KIRK, 1980).

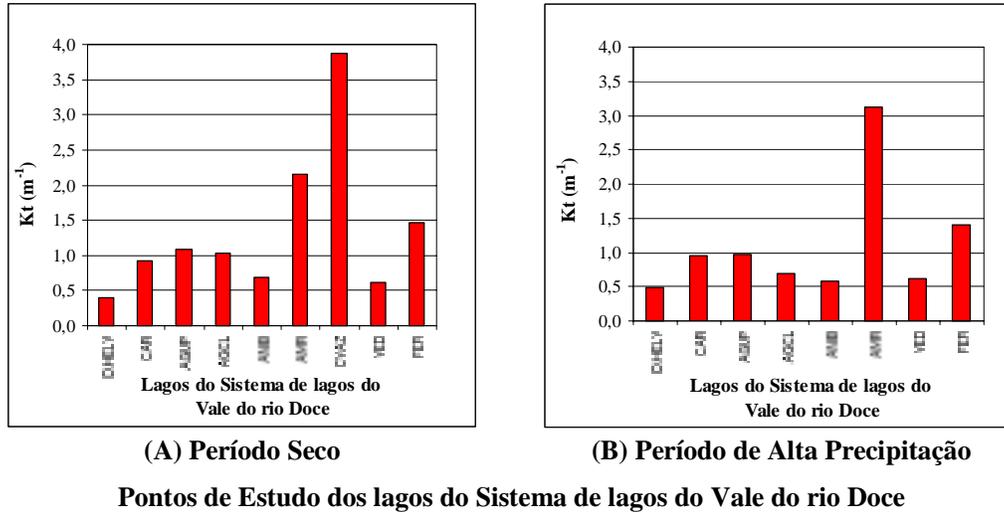
A absorção da radiação solar subaquática ocorre devido a quatro componentes: a própria água, compostos dissolvidos, compostos clorofilados e material particulado (frações orgânicas e inorgânicas), segundo KIRK (1980).

Em função destas componentes, o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática foi determinado de acordo com SMITH (1980) E WETZEL (1975), como sendo a soma desses componentes.

Foram amplamente discutidos os fatores que exercem influência na penetração da radiação solar nos ecossistemas artificiais e naturais estudados, suas diferenças e similaridades. A seguir, é discutido a contribuição de cada um dos componentes para a atenuação da radiação solar subaquática e sua conseqüente interferência na qualidade espectral da mesma.

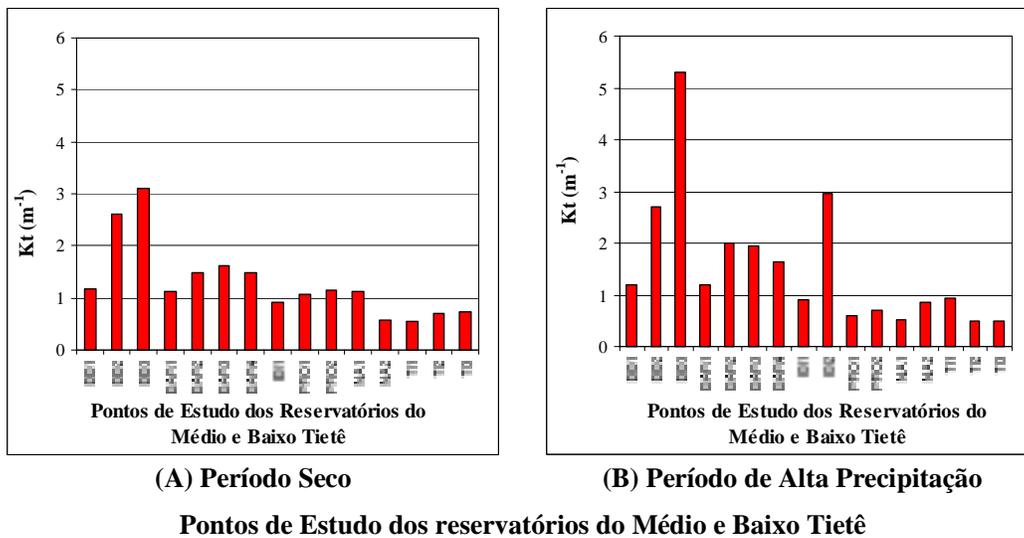
A penetração da radiação solar, na maioria dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, foi maior que nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em ambas estações do ano. Nas figuras 170 e 171 são apresentados os valores obtidos para K_t quando a radiação solar atravessou a camada correspondente à profundidade zona eufótica em cada um dos pontos estudados,

tanto nos lagos como nos reservatórios, nos períodos seco e chuvoso. Contudo, algumas considerações são apresentadas quanto ao valor do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, K_t , e o percentual de contribuição para cada componente de K_t : K_w , K_c e K_x .



Pontos de Estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

FIGURA 170. Valor do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, K_t , para os pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce nos períodos: seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).



Pontos de Estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 171. Valor do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, K_t , para os pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).

Em alguns pontos dos reservatórios, os valores de Kt foram maiores que os dos lagos, uma vez que os reservatórios apresentam, principalmente nos primeiros do sistema em cascata, usos do solo intenso e menor volume de água (como o de Ibitinga), e são sistemas com circulação da massa de água permanente, enquanto que os lagos sendo sistemas protegidos por florestas naturais em sua maior parte, a circulação da massa de água é baixa e como consequência, valores menores para Kt.

Em determinados pontos, o valor de Kt foi semelhante para reservatórios e lagos, embora estes sejam diferentes quanto a origem, uns construídos pelo homem enquanto outros de origem variada envolvendo eventos relacionados com a situação geomórfica local (artificiais e naturais), a localização geográfica e aos usos e ocupações da bacia hidrográfica, conforme dados da tabela 44.

TABELA 44. Semelhanças e diferenças das características ópticas entre o reservatório de Ibitinga, ponto P1 e a lagoa Carioca, no período seco e entre o reservatório de Promissão, ponto P1 e a lagoa Aníbal no período chuvoso.

Características Ópticas	Período Seco		Período Chuvoso	
	Res. Ibitinga P1	Lagoa Carioca	Res. Promissão P1	Lagoa Aníbal
Data e horário	12/07/99 - 12:35h	10/08/99 - 09:15h	22/02/00 - 10:45h	05/02/00 - 10:40h
Prof. Máx. (m)	22,0	10,0	22,0	9,50
Zeü (m)	5,0	5,0	7,75	8,0
Zeü/Zmáx.	0,23	0,50	0,35	0,84
Zeü/Zmix.	0,23	0,50	0,35	1,14
T.Residência (dias)	21,6	-	134,1	-
Área (km ²)	56	0,1	530	-
Atenuação da RS*	55,2	51,2	65,9	60,8
Interface ar-água (%)				
Atenuação da RS*	44,8	48,8	34,1	39,2
Superfície aquática (%)				
Kt (m ⁻¹)	0,911	0,931	0,594	0,586
Kx (%)	85,0 a 91,0	89,4 a 96,4	71,6 a 76,2	54,4 a 78,3
Kc (%)	7,1 a 12,1	1,9 a 9,3	21,4 a 26,4	18,7 a 42,0
Kw (%)	1,9 a 3,1	1,3 a 2,0	1,9 a 2,5	2,4 a 3,6

* RS = Radiação Solar

Os dados da tabela 45 mostram que para o mesmo valor de K_t em ambientes aquáticos diferentes (reservatórios e lagos) a radiação solar atravessou camadas de águas de mesmo tamanho, como era previsto. No período seco, onde a circulação da massa de água é maior, a faixa de variação para as frações percentuais de K_w , K_c e K_x foi semelhante entre si na coluna d'água. Para o período chuvoso, com a entrada de material particulado e dissolvido nos corpos d'água esta semelhança foi menos acentuada. Os pontos citados dos reservatórios de Ibitinga e de Promissão (tabela 44) podem estar situados em zona caracterizada como sendo lacustre, segundo o tempo de residência da água, as características morfométricas e a localização desses pontos no corpo central dos reservatórios.

Assim como foi obtido o mesmo valor de K_t para ambientes aquáticos diferentes, foi também encontrado diferentes valores para K_t para o mesmo ambiente em épocas diferentes, o que reforça a complexidade de fatores que interferem na penetração da radiação solar desde o mecanismo de funcionamento dos sistemas aquáticos, condições hidrometeorológicas até os usos e ocupações das bacias hidrográficas em que os mesmos estão inseridos.

KIRK (1977) determinou os valores do coeficiente de atenuação total da radiação fotossinteticamente ativa, K_t para lagos e represas conforme a tabela 45, através de medidas da radiação fotossinteticamente ativa com quanta-meter LI-COR, e ALDRIDGE et al. (1995) relacionou este coeficiente com as concentrações médias sazonais de clorofila *a* e de material em suspensão em diferentes regiões do lago Okeechobee, Flórida, cuja profundidade média deste lago é de 3,0 m (tabela 46).

A cobertura de nuvens, a época do ano e a inclinação do Sol em relação ao corpo d'água são também outros fatores de interferência na penetração da radiação solar, como mostrou RODRIGUES (1997) em estudos realizados nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, determinando o valor do coeficiente de atenuação total da radiação solar (K_t), em horários diferentes do mesmo dia. no inverno e no verão do ano de 1996, conforme a tabela 47.

TABELA 45. Coeficiente de atenuação total da radiação fotossinteticamente ativa, Kt, em águas interiores. (KIRK, 1977)

Ambiente Aquático	Data/horário	Kt (m ⁻¹)
Lago Burley Griffin	04/11/75 - 10:15h	4,31
	19/11/75 - 12:10h	2,50
	19/11/75 - 16:40h	2,84
	28/11/75 - 10:10h	2,72
	11/12/75 - 11:15h	2,17
	28/01/76 - 10:15h	1,80
represa Burrinjuck	07/11/75 - 11:35h	3,17
	12/03/76 - 11:50h	1,15
lago Ginnindera	13/11/75 - 09:20h	3,54
	28/01/76 - 11:20h	2,74

TABELA 46. Coeficiente de atenuação vertical (Kt), concentrações médias sazonais de clorofila a e de material em suspensão, nas regiões norte, centro, sul e oeste no lago Okeechobee, Flórida (ALDRIDGE et al., 1995)

Fatores	Região	Inverno	Verão
Kt (m ⁻¹)	Norte	4,5	3,0
	Centro	6,7	3,7
	Sul	3,6	1,0
	Oeste	3,2	2,0
Clorofila a (mg.m ⁻³)	Norte	16,0	41,0
	Centro	17,0	39,0
	Sul	42,0	6,0
	Oeste	48,0	33,0
Material em Suspensão (g.m ⁻³)	Norte	21,0	13,0
	Centro	41,0	19,0
	Sul	20,0	3,0
	Oeste	14,0	7,0

TABELA 47. Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar (K_t), medida em horários diferentes do mesmo dia, para os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, Estado de São Paulo, no inverno (agosto e setembro de 1996) e no verão (fevereiro e março de 1996) (RODRIGUES, 1997).

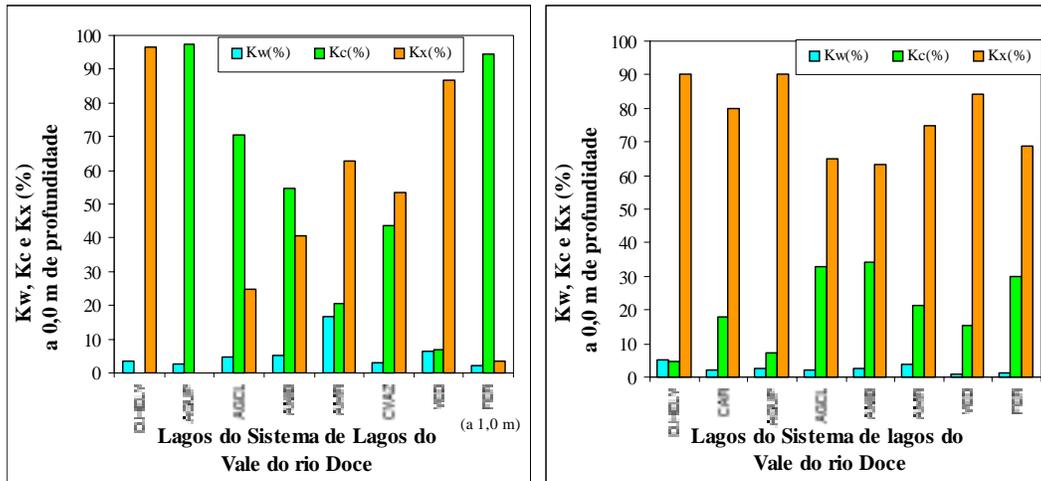
Ambiente Aquático	Horário (h)	Kt (m^{-1})	
		Inverno	Verão
Barra Bonita	09:00	0,921	1,892
	12:00	0,741	1,593
	15:00	0,807	1,904
Lobo-Broa	09:00	0,981	1,437
	12:00	0,867	1,642
	15:00	0,881	1,464

7.4.2 Componentes de K_t e a quantidade e qualidade espectral da radiação solar subaquática

Sendo o coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, K_t , composto pelas parcelas: K_w , K_c e K_x , são discutidas a contribuição (em porcentagem) de cada uma delas tanto na atenuação como na alteração espectral da radiação solar ao atravessar a coluna d'água.

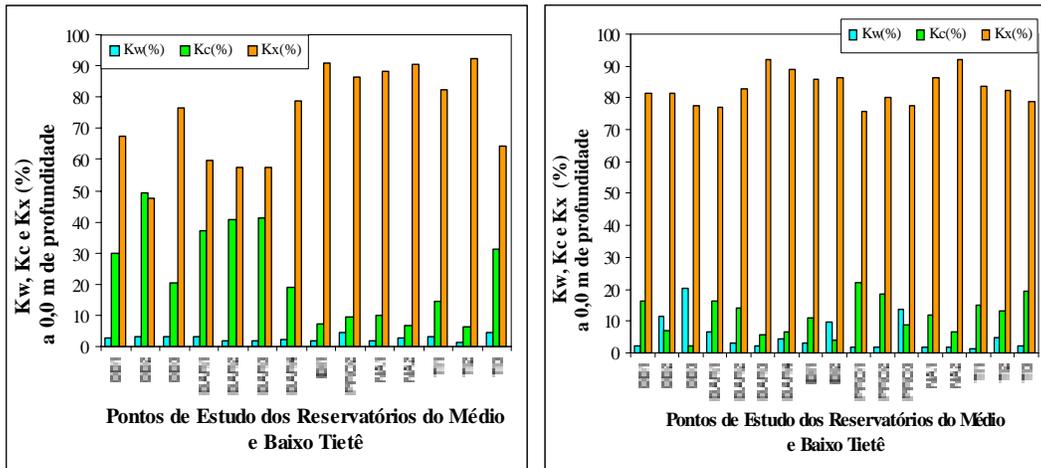
Na superfície dos lagos e reservatórios estudados a contribuição destas parcelas (K_w , K_c e K_x) na atenuação da radiação solar subaquática é ilustrada nas respectivas figuras 172 e 173.

No período chuvoso (figura 172 B) foi marcante a contribuição da parcela K_x , nos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, devido a entrada de material particulado e dissolvido no sistema aquático, mesmo com a proteção de áreas florestadas a fisiologia regional facilita o carreamento de material para o corpo d'água com a ocorrência de chuvas. Neste período, os lagos são estratificados e a clorofila total na coluna d'água é baixa, contudo em regiões da camada metalimnética definida ou não pode ocorrer a movimentação de organismos planctônicos, aumentando a concentração de clorofila total, como se observou nas lagoas Carioca, Águas Claras e Anibal.



(A) Período Seco (B) Período de Alta Precipitação
Pontos de Estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

FIGURA 172. Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, (Kt): Kw, Kc e Kx nos pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce nos períodos: seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).



(A) Período Seco (B) Período de Alta Precipitação
Pontos de Estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 173. Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, (Kt): Kw, Kc e Kx nos pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).

No período seco (figura 172 A), a circulação da massa de água contribui para a reciclagem de nutrientes em toda a coluna d'água aumentando assim a produção de matéria orgânica e de clorofila total, como se observa para a maioria dos lagos. A lagoa Verde, que se encontra em região impactada, observou-se alta contribuição de Kx, enquanto que no lago D. Helvécio a elevada contribuição deste componente foi maior nos dois primeiros metros, onde a ação dos ventos foi mais efetiva que no restante da coluna d'água.

A influência dos usos e ocupações da bacia hidrográfica sobre cada parcela de Kt para a atenuação da radiação solar subaquática nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê é mais acentuada que nos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, como ilustra a figura 173 (A e B).

No período seco esta influência é clara (figura 173 A), para os dois primeiros reservatórios da cascata, que recebe os lançamentos domésticos e industriais de centros urbanizados. Neste período a ação de ventos é intensa e com a circulação da massa de água, tanto de origem natural como por operação de funcionamento do reservatório, provocam a ressuspensão de material principalmente de origem orgânica contribuindo para aumento de clorofila total, nestes reservatórios em processo de eutrofização.

No período chuvoso, a entrada de material particulado e dissolvido contribuiu de forma preponderante em Kx (figura 173 B). O aumento de Kw (água e compostos dissolvidos) foi observado nos pontos localizados próximos de tributários que também contribuem para a entrada de material alóctone no sistema aquático. Estes fatores acarretam diminuição de oxigênio da coluna d'água com a conseqüente mortandade de peixes e diminuição na produção primária e assoreamento dos reservatórios.

Na profundidade da zona eufótica de lagos e represas, KIRK (1980) determinou o percentual de quantas fotossinteticamente absorvidos devido ao material em suspensão, nas frações particulada e dissolvida como ilustra a tabela 48.

TABELA 48. Percentual dos quantas fotossinteticamente absorvidos devido ao material em suspensão (frações dissolvida e particulada) contida na profundidade da zona eufótica de lagos e represas (KIRK, 1980).

Ambiente Aquático	Data	Quantas absorvidos (% do total)		
		água	fração dissolvida	Fração particulada
represa Corin	08/06/79	34,8	60,0	5,2
lago Ginninderra	06/06/79	39,1	50,4	10,5
lago Burley Griffin	06/06/79	19,4	22,2	58,4
represa Cotter	08/06/79	26,2	49,8	24,0
represa Birrinjuck	07/06/79	28,2	45,5	26,3
represa Googong	21/06/79	22,0	60,4	6,0
lago George	28/11/79	12,4	8,3	79,3

TUNDISI et al. (1993) discutindo mecanismos básicos e interrelações das funções de força e fatores biológicos e biogeoquímicos usados no manejo de reservatórios do Brasil, determinaram na região da profundidade da zona eufótica os componentes Kw, Kc e Kx na atenuação da radiação fotossinteticamente ativa em julho de 1989 (tabela 49).

TABELA 49. Profundidade da zona eufótica e os componentes Kw, Kc e Kx na atenuação da radiação fotossinteticamente ativa para cinco reservatórios do Brasil entre 25 e 26 de julho de 1989 (TUNDISI et al., 1993).

Ambientes de Estudo	Zeu (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw (m ⁻¹)	Kc (m ⁻¹)	Kx (m ⁻¹)
Barra Bonita	5,00	0,92	0,02	0,11	0,79
Bariri	4,50	1,05	0,02	0,18	0,85
Ibitinga	4,75	0,97	0,01	0,14	0,82
Promissão	4,75	0,98	0,02	0,19	0,77
Nova Avanhandava	8,00	0,59	0,02	0,06	0,51

A penetração da radiação solar foi estudada no reservatório de Barra Bonita onde se determinou a parcela de contribuição de cada componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática: Kw, Kc e Kx, na faixa fotossinteticamente ativa, no verão (23/02/96) e no inverno (01/08/96) como indica a tabela 50 (RODRIGUES, 1997).

No período seco (inverno) deste reservatório Kc aumentou desde 1989 até 2000, comparando-se os dados obtidos nesta pesquisa com os obtidos por TUNDISI et al. (1993) e por RODRIGUES (1997), conforme as respectivas tabelas 24, 49 e 50. Este aumento pode estar relacionado com a circulação da massa de água pela ação de ventos nesta época do ano, provocando reciclagem de nutrientes na coluna d'água. Já no verão, foi observado diminuição de Kc de 1997 (tabela 50) para 2000 (tabela 30), cuja profundidade da zona eufótica foi menor no primeiro caso (1997) onde ocorreu alta absorção da radiação fotossinteticamente ativa por fitoplâncton logo no primeiro metro da coluna d'água, o que pode estar relacionado com a entrada de carga orgânica no sistema aquático pela ocorrência de chuvas. O controle óptico do sistema aquático, fornece assim subsídios para o controle na reciclagem de nutrientes e processos bioquímicos na coluna d'água.

TABELA 50. Coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, Kt, e seus componentes Kw, Kc e Kx na faixa fotossinteticamente ativa para o reservatório de Barra Bonita no verão (23/02/96 -15:00h) e no inverno (01/08/96 – 09:00h) (RODRIGUES, 1997).

Época do ano	Profundi- dade (m)	Kt (m ⁻¹)	Kw		Kc		Kx	
			(m ⁻¹)	(%)	(m ⁻¹)	(%)	(m ⁻¹)	(%)
VERÃO	0,00	1,368	0,012	0,9	0,545	39,8	0,811	59,3
	0,75	1,671	0,015	0,9	0,536	32,1	1,120	67,0
	2,50	1,904	0,010	0,5	-	-	-	-
INVERNO	0,00	0,696	0,010	1,4	0,103	14,8	0,583	83,8
	0,75	0,839	0,022	2,6	0,094	11,2	0,723	86,2
	2,50	0,935	0,021	2,2	0,089	9,5	0,825	88,2
	5,00	0,921	0,016	1,7	0,116	12,6	0,785	85,2

Assim, pelo que foi discutido sobre as interferências na constituição das parcelas Kw, Kc e Kx, o valor de Kt embora possa ser o mesmo para ambientes aquáticos diferentes, a atenuação da radiação solar subaquática está sujeita às funções de força climatalógicas (chuvas, ventos e radiação solar) e também pela ação antrópica ocasionando lançamentos domésticos, indústrias e

agrícolas no corpo d'água que acarretam danos muitas vezes irreversíveis para os sistemas aquáticos. O mecanismo de operação dos reservatórios também representa fator relevante nesta interferência.

Cada uma dessas parcelas é principalmente devido a:

(a) Água propriamente e compostos dissolvidos: Kw

Em águas naturais, absorção pela radiação solar é fraca na região espectral do verde e do azul e começa aumentar com o comprimento de onda acima de 550 nm, sendo significativa na faixa espectral do vermelho, segundo BUKATA, 1995.

Os compostos dissolvidos são originários da decomposição de organismos aquáticos (BUKATA et al., 1995), ou pela entrada de matéria orgânica pela ocorrência de chuvas, drenagem do solo, descargas de rios e lagos na forma de substâncias húmicas dissolvidas e dão cor amarelada à água. Absorve a radiação solar na faixa espectral do azul (KIRK, 1983). A maior contribuição deste componente para a atenuação da radiação solar ocorreu no período chuvoso para o reservatório de Nova Avanhandava a 15,0 m de profundidade (zona afótica) do ponto P2 e para o de Barra Bonita, na superfície do ponto P3 (rio Piracicaba), segundo as respectivas tabelas 26 e 30. Nesta mesma época ocorreu maior contribuição de Kw para o lago D. Helvécio (tabela 33), enquanto que para a lagoa Amarela a maior contribuição foi no período seco (tabela 32).

Desta forma, Kw contribuiu na redução da intensidade da radiação solar e na alteração espectral com absorção na faixa do azul e do vermelho.

(b) Organismos clorofilados

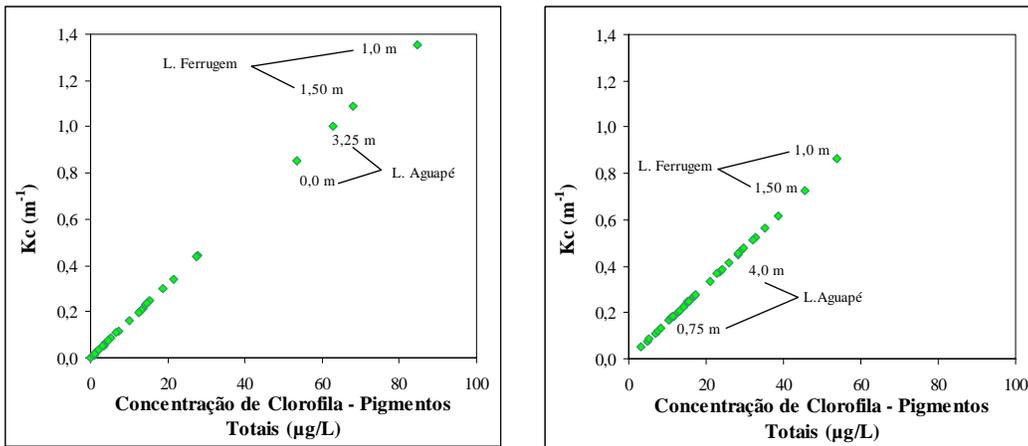
Estes são representados por algumas bactérias clorofiladas, algas e macrófitas aquáticas, que segundo KIRK (1983) depende não somente da quantidade dos pigmentos fotossintéticos, como também do tamanho e forma das células algais ou colônias, nas quais os pigmentos estão localizados. A absorção pela

clorofila ocorre nas faixas espectrais do azul e do vermelho (BUKATA, 1995). A contribuição deste componente foi maior a 1,0 m de profundidade na lagoa Águas Claras no período chuvoso (tabela 33), no período seco na superfície da lagoa Aguapé (tabela 32) e a 1,0 m da lagoa Ferrugem (tabela 33), no sistema de lagos do Vale do rio Doce. Para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê foi maior nos reservatórios de Bariri e de Barra Bonita (tabelas 24 e 25, respectivamente) no período seco.

Assim como para K_w , houve contribuição de K_c na atenuação e na alteração espectral da radiação solar na coluna d'água.

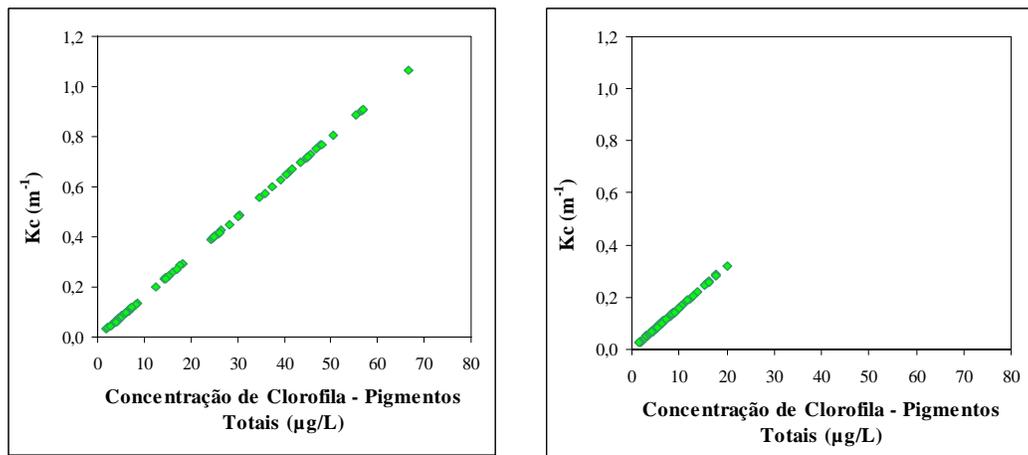
Este componente (K_c) depende diretamente da concentração de clorofila total existente na coluna d'água, conforme ilustram as figuras 174 e 175, respectivamente para os lagos e reservatórios estudados. Tanto nos lagos como nos reservatórios a concentração de clorofila total foi maior no período seco, e conseqüentemente maior a contribuição da parcela K_c para a atenuação da radiação solar subaquática. Este aumento pode estar relacionado com a ação de ventos, nesta época do ano, promovendo circulação da massa de água com maior disponibilidade de nutrientes na coluna d'água acarretando no aumento de clorofila pelo processo de fotossíntese do fitoplâncton. Contudo, pode também estar relacionado com intrusão de águas dos tributários e lançamentos de esgotos domésticos, industriais e agrícolas, com alta carga orgânica provocando florescimento de algas localizadas em profundidades, como pode ter ocorrido nos reservatórios de Bariri e Barra Bonita, no período seco (figura 173 A).

Para os lagos e reservatórios foram calculados, dentro da região da profundidade da zona eufótica, tanto para o inverno como para o verão, o valor médio do componente K_c e a concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área, conforme as tabela 51 e 52.



(A) Período Seco **(B) Período de Alta Precipitação**
Pontos de Estudo dos Lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce

FIGURA 174. Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c , nos pontos de estudo dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, nos períodos: seco, em agosto de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).



(A) Período Seco **(B) Período de Alta Precipitação**
Pontos de Estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê

FIGURA 175. Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c , nos pontos de estudo dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, nos períodos: seco, em julho e novembro de 1999 (A) e chuvoso, em fevereiro de 2000 (B).

TABELA 51. Componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, Kc (valor médio) e Concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área na região da profundidade da zona eufótica para os lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce, em agosto de 1999 (inverno) e em fevereiro de 2000 (verão).

Ambientes de Estudo	Inverno		Verão	
	\overline{Kc} (m ⁻¹)*	Clorofila – Pigmentos Totais (mg.m ⁻²)	\overline{Kc} (m ⁻¹)*	Clorofila – Pigmentos Totais (mg.m ⁻²)
D. Helvécio	0,025	16,05	0,116	66,63
Carioca	0,034	-	0,255	75,24
Aníbal	0,241	42,84	0,168	80,78
Amarela	0,187	21,50	0,459	29,27
Aguapé	0,549	102,39	0,238	64,15
Águas Claras	0,219	61,71	0,344	167,93
Verde	0,063	13,80	0,278	123,49

* Valor médio de Kc na profundidade da zona eufótica.

TABELA 52. Componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática Kc (valor médio) e Concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área na região da profundidade da zona eufótica para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em julho e novembro de 1999 (inverno) e em fevereiro de 2000 (verão).

Ambientes de Estudo	Inverno		Verão	
	\overline{Kc} (m ⁻¹)*	Clorofila – Pigmentos Totais (mg.m ⁻²)	\overline{Kc} (m ⁻¹)*	Clorofila – Pigmentos Totais (mg.m ⁻²)
Três Irmãos	0,042	25,84	0,052	15,06
Nova Avanhandava	0,176	54,66	0,067	38,57
Promissão	0,082	15,04**	0,154	70,38
Ibitinga (Barragem)	0,104	33,58	0,121	34,99
Ibitinga (rio Jacaré-Guaçu)	-	31,02	0,188	20,27
Bariri (Barragem)	0,450	118,44	0,136	32,84
Barra Bonita (Barragem)	0,289	66,36	0,237	59,14
Barra Bonita (rio Tietê)	0,865	100,46	0,107	11,72***
Barra Bonita (rio Piracicaba)	0,648	60,23	0,068	9,50***

* Valor médio de Kc na profundidade da zona eufótica.

** Cálculo somente a partir do primeiro metro de profundidade.

*** Profundidade da zona eufótica: 1,75 m e 1,0 m para os rios Tietê e Piracicaba, respectivamente.

Os lagos que apresentaram valores maiores para as concentrações de clorofila total foram os que apresentaram estratificação com a camada metalimnética definida ou não com aumento da concentração na região correspondente a 1% da radiação fotossinteticamente ativa superficial e a profundidade da zona eufótica menor que a da zona de mistura, exceto para o lago D. Helvécio em que ambas profundidades foram praticamente as mesmas.

Nos reservatórios em cascata, a concentração de clorofila total foi maior para os dois primeiros da série, no período seco. Como já discutido anteriormente, o florescimento de algas localizadas em profundidade pode estar relacionada com o processo de circulação da massa de água e da intrusão de águas dos tributários com alta carga orgânica. Este aumento também é um indicativo da evolução do processo de eutrofização cultural para estes reservatórios, quando comparados estes dados com os obtidos por TUNDISI (1983), em que foi determinada a concentração de clorofila a através da média de quatro amostragens realizadas em diferentes épocas do ano de 1979, como ilustra a tabela 53.

TABELA 53. Concentração de clorofila a para reservatórios do Estado de São Paulo (média de quatro amostragens em diferentes estações do ano) durante o ano de 1979 (TUNDISI, 1983).

Ambientes de Estudo	Concentração de Clorofila a (mg.m ⁻²)
Promissão	68,7
Ibitinga	29,8
Bariri	20,3
Barra Bonita	15,9
Ilha Solteira	20,2
Jupia	15,5

Estas informações são de extrema relevância no entendimento da distribuição dos organismos fitoplanctônicos na coluna d'água fornecendo subsídios de controle e manejo dos reservatórios.

(c) Devido ao material em suspensão: Kx

Constituído pelo material particulado de origem orgânica e inorgânica, partículas minerais oriundas do solo, plancton, detritos, partículas de origem vulcânica e antrópica como também compostos particulados devido reações químicas localizadas. Segundo KIRK (1983), considerando a presença de material particulado húmico ou mineral em altas concentrações, a luz verde é rapidamente absorvida. Nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê a contribuição para a atenuação da radiação solar deste componente foi maior no verão, possivelmente relacionado com a ocorrência de chuvas, como nos reservatórios de Bariri (tabela 30) e Barra Bonita (tabela 31) e nos lagos do sistema de lagos do Vale do rio Doce, com exceção dos lagos D. Helvécio e Carioca, e do reservatório de Três Irmãos, ponto P2 (tabela 21), cuja maior contribuição foi no período seco. E, portanto este componente contribuiu tanto na atenuação como na alteração espectral da radiação solar subaquática. A contribuição deste componente está intimamente relacionado com os usos do solo e atividades antrópicas desenvolvidas na região da bacia hidrográfica, que com a ocorrência de chuvas facilita a entrada do alóctone no sistema aquático.

O conhecimento da contribuição de cada uma das parcelas Kw, Kc e Kx fornece informações científicas de grande importância não somente da distribuição dos organismos na coluna d'água como também na detecção de fontes contaminantes e poluidoras no sistema aquático.

7.5 “Varredura da Radiação Solar Subaquática” nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa

O primeiro reservatório do sistema em cascata do Médio e Baixo Tietê é o de Barra Bonita, que recebe águas dos rios Tietê e Piracicaba com lançamento de esgotos de origem doméstica, industrial e agrícola intenso. Na bacia hidrográfica em que o mesmo está inserido destacam-se indústrias têxteis, alimentícias, de papel e celulose, abatedouros, engenhos e usinas de açúcar e álcool, petroquímica e química. Além de áreas rurais com extensas atividades agrícolas.

O reservatório do Lobo-Broa, localizado em área de proteção ambiental, vem sofrendo impactos ambientais devido o desenvolvimento de atividades antrópicas na região como o turismo e a recreação, o crescimento populacional com a construção de residências para veraneio, pesca ocasional, lançamento de esgotos não tratados e mineração de areia.

As condições hidrometeorológicas de ambos reservatórios são similares dada a proximidade de suas coordenadas geográficas, com verão chuvoso (dezembro a março) e inverno seco (maio a outubro) com a ação de ventos intensos.

O estudo da penetração da radiação solar em toda a extensão destes reservatórios está subordinado, não somente às condições climatológicas e fisiográficas da região, como também dos mecanismos de circulação horizontal e vertical pela operação do sistema e por efeitos naturais, dos usos e ocupações da bacia hidrográfica e da intrusão de águas por tributários, como anteriormente mencionado.

A maior influência sobre a atenuação da radiação solar subaquática em toda extensão desses reservatórios foi a ocorrência de chuvas no verão, pela entrada de material particulado e dissolvido no sistema aquático, mais notadamente no reservatório de Barra Bonita em que a profundidade da zona

eufótica não foi maior que aproximadamente 3,0 m. Por outro lado, a ação de ventos foi relevante por provocar circulação da massa de água e ressuspensão de material do sedimento ocasionando turbidez da água, contribuindo para a atenuação da radiação solar subaquática.

Em seguida, discute-se a penetração da radiação solar em toda a extensão dos dois reservatórios, considerando as particularidades de cada um deles.

7.5.1 Profundidade da Zona Eufótica: uma abordagem comparativa

A penetração da radiação solar foi maior no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), em ambas estações do ano, na qual a interferência dos usos e ocupações da bacia hidrográfica é de grande relevância, uma vez que no reservatório de Barra Bonita a radiação solar foi mais atenuada. Levando-se em consideração a proximidade dos reservatórios, os mecanismos de funcionamentos de ordem “natural” como precipitação, ação dos ventos e radiação solar são bastante similares, enquanto que as diferenças ficam a cargo do mecanismo de operação dos reservatórios e das atividades antrópicas desenvolvidas com grande diferença entre cada uma das regiões, a saber:

- i) No reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa)*
 - Cobertura vegetal mais homogênea
 - Atividades agrícolas de pequeno porte: hortas caseiras e criação de animais (como porcos e aves) para consumo próprio
 - Atividades antrópicas menos intensa: atividades agrícolas em pequena escala, pesca, turismo e recreação, embarcações para recreação e pesca, desmatamento

- ii) No reservatório de Barra Bonita*
 - Cobertura vegetal heterogênea

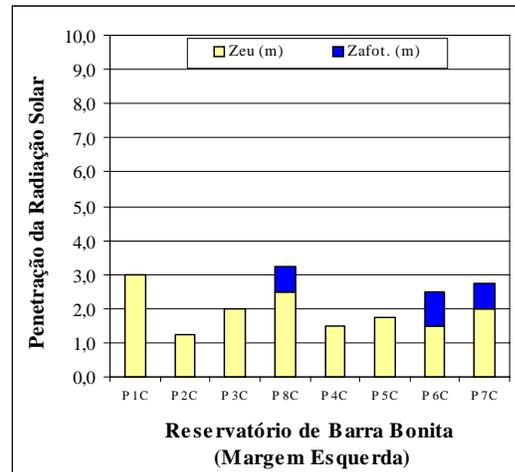
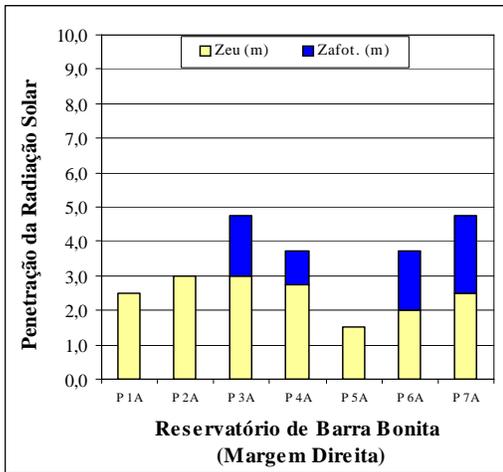
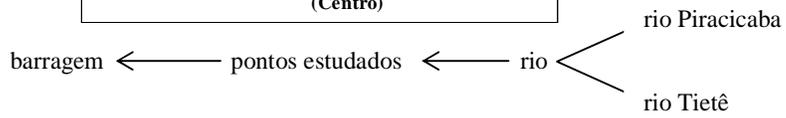
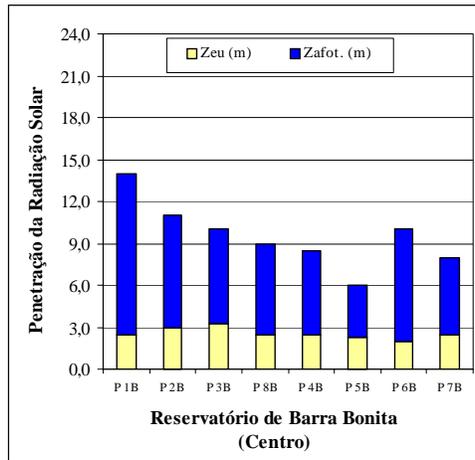
- Intensa atividade agrícola: plantações de café, cítricas, hortaliças e frutas e principalmente cana-de-açúcar
- Período específico de preparação do solo para plantio
- Navegação e dragagem
- Região urbanizada e industrializada com lançamento de esgotos domésticos, industriais e agrícolas, inclusive fertilizantes em larga escala.

A penetração da radiação solar no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa) foi muito semelhante em ambas as estações do ano como ilustra a figura 178 e no reservatório de Barra Bonita foram observadas diferenças entre as duas épocas do ano (figuras 176 e 177).

No período seco para o reservatório de Barra Bonita a radiação solar foi menos atenuada que no verão. A figura 177 mostra que esta atenuação diminuiu nos pontos situados mais próximos da barragem, ou seja, no sentido do curso do rio, e foi maior nos pontos situados nas proximidades dos rios Piracicaba e Tietê.

Neste período a ação dos ventos provocou circulação em toda a coluna d'água em todos os pontos da extensão do reservatório. A acentuada atenuação da radiação solar, principalmente nos pontos P5B, P6B e P7B (figura 177) está relacionada com o material em suspensão que entrou no sistema aquático, considerando que em P6B sua pequena profundidade contribuiu para ressuspensão de material do sedimento afetando também a penetração da radiação solar neste ponto.

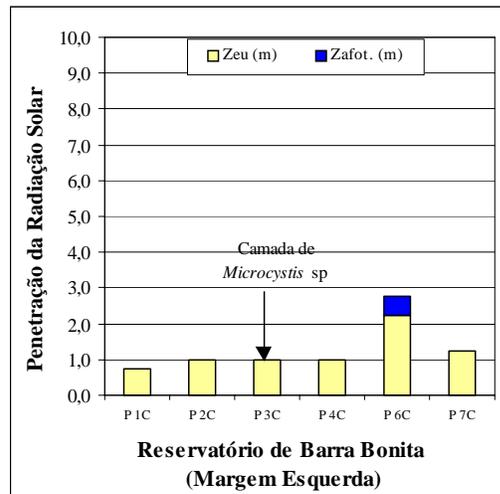
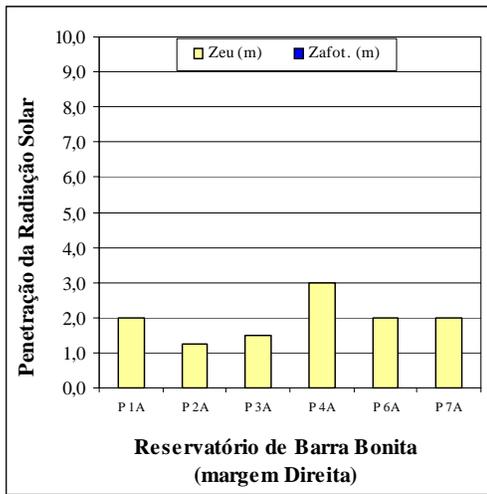
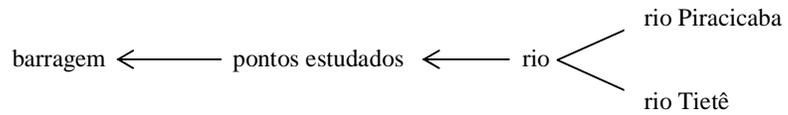
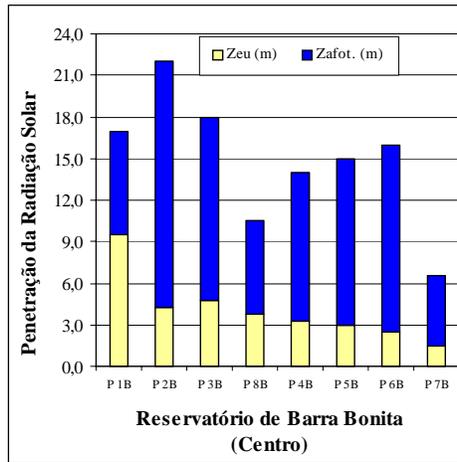
Nos pontos localizados nas proximidades das margens a radiação solar atingiu praticamente toda a coluna d'água (figura 177), embora tenha sido fortemente atenuada, como ocorreu no ponto P3C (margem esquerda) devido a presença de espessa camada de *microcystis* cuja concentração de clorofila total na superfície foi de aproximadamente 100 µg/L e logo no primeiro metro a radiação solar atingiu somente 1% da incidente na superfície.



Período de Alta Precipitação

Pontos de Estudo em toda extensão do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 176. Comparação da profundidade da zona eufótica no centro e nas margens direita e esquerda entre os pontos do reservatório de Barra Bonita, em dezembro de 1999, período chuvoso.



Período Seco

Pontos de Estudo em toda extensão do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 177. Comparação da profundidade da zona eufótica no centro e nas margens direita e esquerda entre os pontos do reservatório de Barra Bonita, em julho de 2000, período seco.

Neste mesmo período (seco), a profundidade da zona de mistura foi praticamente coincidente com a profundidade máxima em toda a extensão do reservatório. A reduzida profundidade da zona eufótica foi devido a grande atenuação da radiação solar já nos primeiros metros da coluna d'água, tanto por material em suspensão contido na água como por fitoplancton.

No período chuvoso (figura 176) no reservatório de Barra Bonita a atenuação da radiação solar foi mais marcante devido a entrada de material particulado e dissolvido no sistema aquático, mantendo a forte atenuação por praticamente toda a extensão do reservatório. Para os pontos localizados próximos às margens, a presença de material em suspensão também atuou como fator atenuante da radiação solar subaquática.

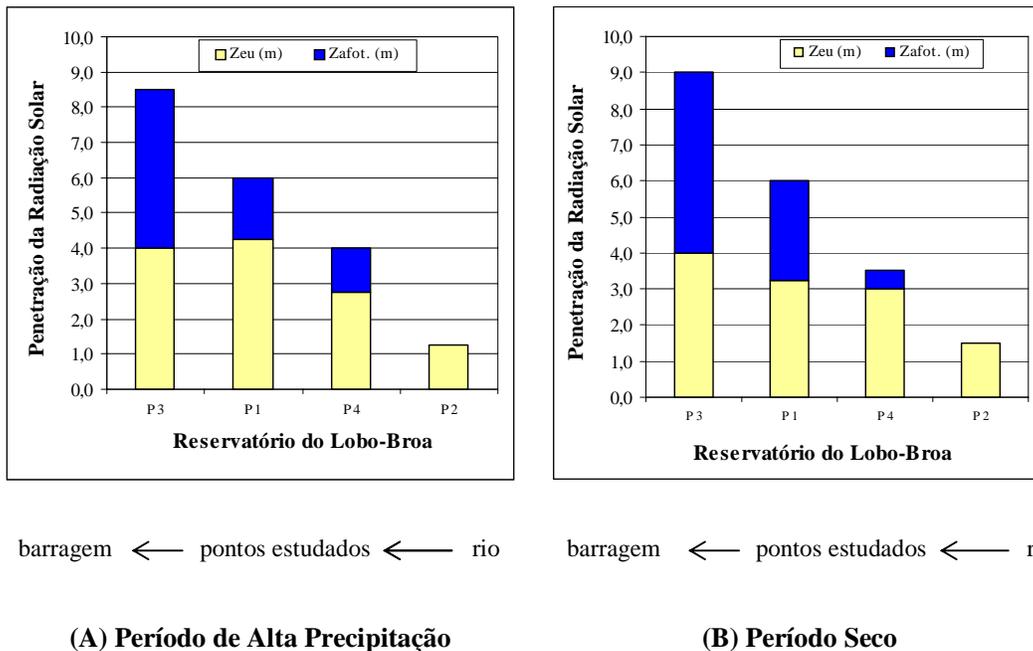
A presença de estratificação neste período, foi observada em alguns dos pontos da extensão do reservatório, como em P2B, P5B e P6B, com a profundidade da zona de mistura praticamente coincidente com a da zona eufótica nos dois primeiros pontos citados e no último, a profundidade da zona de mistura foi maior. A concentração de clorofila total na região da profundidade da zona eufótica foi alta afetando conseqüentemente a penetração da radiação solar nestes pontos. Esta concentração também foi alta nos pontos P1B, P3B e P4B, embora não tenha se observado estratificação. A partir de 6,0 m de profundidade do ponto P7B a presença de estratificação química com aumento da condutividade e diminuição do oxigênio dissolvido na água pode ter contribuído para que a concentração de clorofila total fosse maior somente no primeiro metro de profundidade.

Estas ocorrências na coluna d'água refletem a importância do gradiente horizontal e seus efeitos sobre a atenuação da radiação solar subaquática.

No reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), em ambas estações do ano não se observou estratificação, possivelmente pelo fato deste ser um reservatório raso e suscetível à ação de ventos na maior parte do ano. A penetração da radiação solar não sofreu grandes modificações em sua atenuação nos períodos

observados (figura 178). A presença de macrófitas na região do ponto P2 pode servir de “filtro”, retendo material em suspensão e facilitando a penetração da radiação solar nos pontos subsequentes. No período chuvoso, a radiação solar foi grandemente atenuada no ponto P2, devido entrada de material no sistema pela ocorrência de chuvas e o mesmo ter somente 1,25 m de profundidade, na qual a radiação solar foi menor que 1% da incidente na superfície.

Até o momento foi discutido como e onde ocorreu diminuição da radiação solar subaquática, contudo é de fundamental interesse o conhecimento da contribuição de cada elemento contido na água não somente para a atenuação da radiação solar subaquática, mas também para a alteração na sua qualidade espectral.



Pontos de Estudo em toda extensão do reservatório do Lobo-Broa

FIGURA 178. Comparação da profundidade da zona eufótica entre os pontos do reservatório do Lobo-Broa, em dezembro de 1999, período chuvoso (A), e em agosto de 2000, período seco (B).

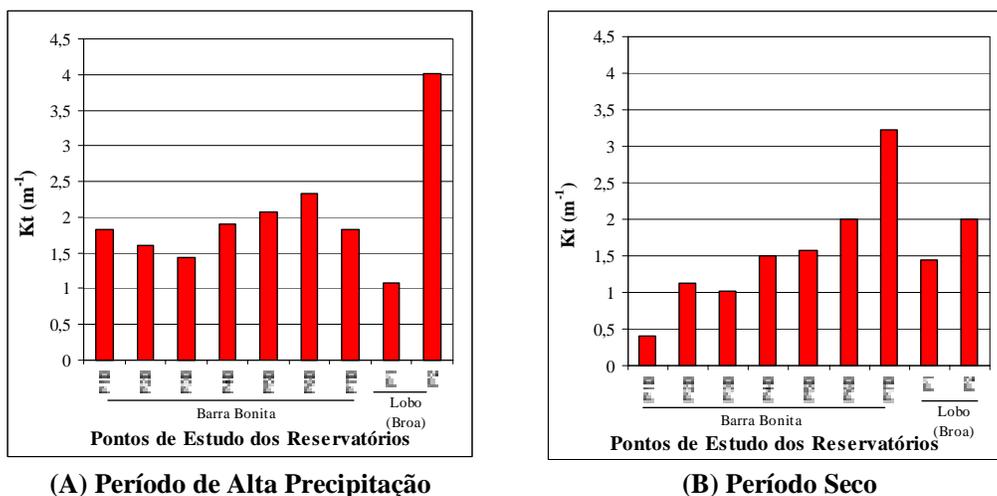
7.5.2 Coeficiente de Atenuação Total da Radiação Solar Subaquática, K_t , e os seus componentes K_w , K_c e K_x

A penetração da radiação solar na faixa fotossinteticamente ativa nos ecossistemas naturais e artificiais foi amplamente discutida ao se estudar os lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce e os reservatórios do Médio e Baixo Tietê. Mediante os padrões de penetração estabelecidos, onde foram discutidos fatores que alteram não somente sua quantidade mas também a sua qualidade espectral, os mecanismos de funcionamento vertical e horizontal são discutidos neste momento.

O estudo da penetração da radiação solar em toda a extensão dos reservatórios de Barra Bonita e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa) é uma contribuição para o conhecimento de como esses mecanismos atuam sobre a atenuação da radiação fotossinteticamente ativa.

A penetração da radiação solar em toda extensão do reservatório do Lobo-Broa foi maior que para o reservatório de Barra Bonita em ambas estações do ano (figuras 176 a 178). Foi determinado o valor de K_t na região correspondente à profundidade da zona eufótica em cada um dos pontos estudados em ambos reservatórios, nos períodos seco e chuvoso, como ilustra a figura 179. São apresentadas algumas considerações quanto ao valor do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, K_t , e de seus componentes K_w , K_c e K_x e ainda, do percentual de contribuição de cada um deles.

No período chuvoso ocorreu maior atenuação da radiação solar na coluna d'água do que no seco, mais notoriamente para o reservatório de Barra Bonita. Assim, o coeficiente de atenuação total K_t , foi maior neste período para todos os pontos deste reservatório, com exceção do ponto P7B (figura 179). No reservatório do Lobo-Broa a ocorrência de chuvas neste período facilitou a entrada de material alóctone no sistema aquático evidenciando a grande contribuição de K_x na atenuação da radiação solar subaquática nos dois pontos observados e o alto valor de K_t no ponto P2 (figura 171).



Pontos de Estudo em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa

FIGURA 179. Valor do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, K_t , para os pontos em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em julho e agosto de 2000 (B).

Na superfície do ponto P7B neste período chuvoso a concentração de clorofila total foi a maior de toda a coluna d'água e de todos os pontos na extensão do reservatório de Barra Bonita, e foi observado acentuado decréscimo desta concentração no restante da coluna d'água, ocasionando diminuição da contribuição de K_c (%) ao longo da coluna d'água (tabela 38).

Comparando-se este mesmo ponto no período seco, o valor de K_t foi maior que no chuvoso, conforme a figura 179. A concentração de clorofila total na superfície foi bem menor que a obtida no verão (chuvoso) e sendo homogênea em toda a coluna d'água. A concentração de matéria inorgânica na coluna d'água, no entanto, foi cerca de três a quatro vezes maior que a obtida no período chuvoso, evidenciando o aumento de K_t neste período (seco) ao longo da coluna d'água. A ação dos ventos provocou circulação da massa de água e ressuspensão de material do sedimento em maior escala que no período chuvoso, contribuindo também para um K_t maior, cuja atenuação da radiação solar subaquática ocorreu tanto por absorção como por espalhamento do material contido na água, ocasionando assim, menor penetração da radiação solar neste ponto em comparação ao verão.

Foram determinados o valor médio de K_c e a concentração de clorofila total por área na região correspondente à profundidade da zona eufótica, dos dois reservatórios estudados, conforme tabela 54. Com estes dados foi possível analisar a distribuição do fitoplankton na coluna d'água. Como no ponto P7B do reservatório de Barra Bonita que no período chuvoso, \bar{K}_c foi muito alto em relação a concentração de clorofila total por área, o que caracterizou a existência de camadas específicas com acúmulo de fitoplankton. Enquanto que no período seco, para o mesmo ponto, ambos valores são baixos, indicando homogeneidade na distribuição de fitoplankton na coluna d'água.

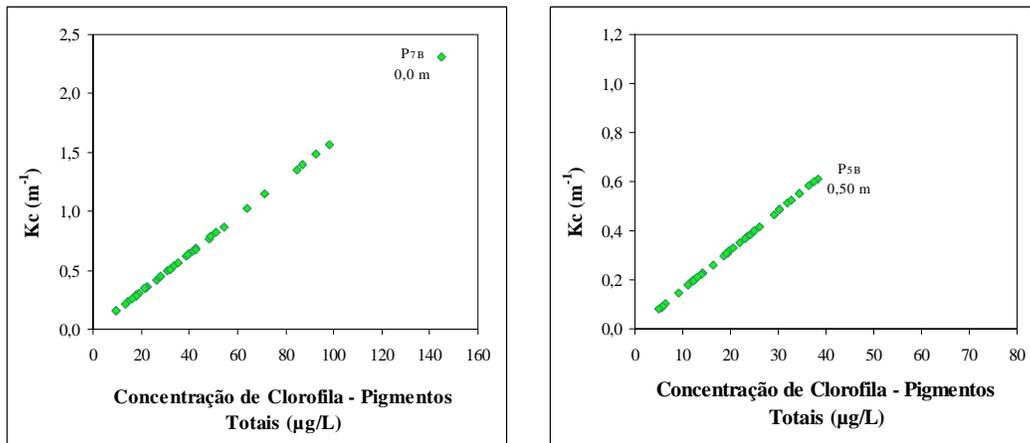
TABELA 54. Componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática K_c (valor médio) e Concentração de clorofila total (pigmentos totais) por área na região da profundidade da zona eufótica em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), em dezembro de 1999 (verão) e em julho e agosto de 2000 (inverno).

Reservatórios	Pontos de Estudo	Inverno		Verão	
		\bar{K}_c (m^{-1})*	Clorofila - Pigmentos Totais ($mg.m^{-2}$)	\bar{K}_c (m^{-1})*	Clorofila - Pigmentos Totais ($mg.m^{-2}$)
Barra Bonita	P1B	0,224	128,87	0,770	107,04
	P2B	0,329	84,52	0,368	70,62
	P3B	0,180	54,95	0,495	98,29
	P4B	0,381	76,71	0,511	89,36
	P5B	0,580	106,76	1,214	165,82
	P6B	0,498	77,11	1,002	130,35
	P7B	0,099	8,70**	0,926	94,52
Lobo (Broa)	P1	0,085	20,76	0,047	14,69
	P2	0,169	10,00	0,246	20,52

* Valor médio de K_c na profundidade da zona eufótica.

** Profundidade da zona eufótica: 1,50 m para o rio Piracicaba.

No período chuvoso a concentração de clorofila total na coluna d'água foi maior que no período seco, em ambos reservatórios como ilustram as figuras 180 e 181. Sendo K_c diretamente proporcional à concentração de clorofila total, este também foi maior no verão em comparação ao inverno. Contudo, a contribuição deste componente na atenuação da radiação solar subaquática está vinculada à contribuição dos outros dois componentes K_w e K_x .

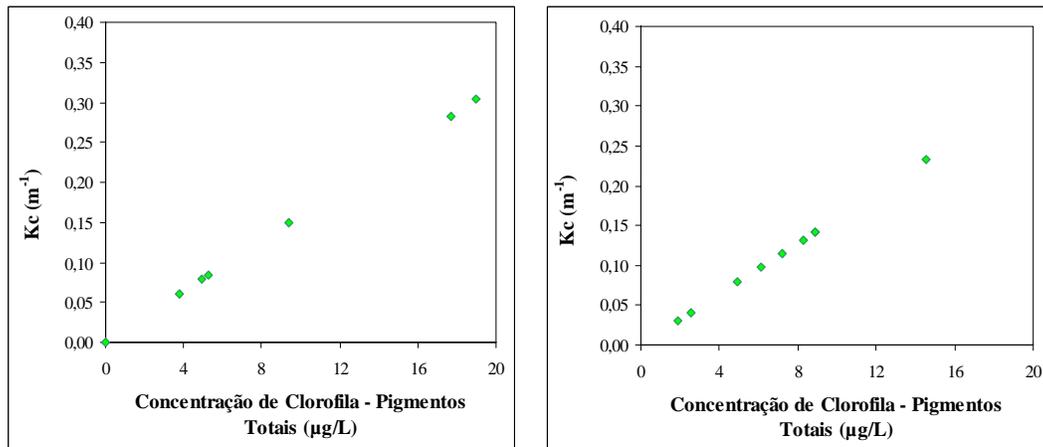


(A) Período de Alta Precipitação

(B) Período Seco

Pontos de Estudo em toda extensão do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 180. Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c , nos pontos de estudo em toda extensão do reservatório de Barra Bonita, nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em julho de 2000 (B).



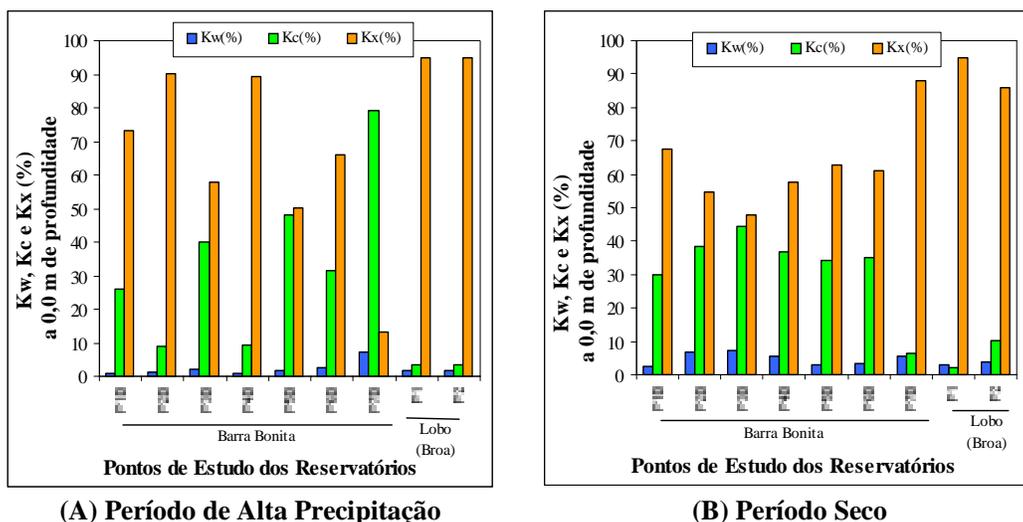
(A) Período de Alta Precipitação

(B) Período Seco

Pontos de Estudo em toda extensão do reservatório do Lobo-Broa

FIGURA 181. Relação diretamente proporcional entre a concentração de clorofila total na coluna d'água e o componente do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática devido aos organismos clorofilados: K_c , nos pontos de estudo em toda extensão do reservatório do Lobo-Broa, nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em agosto de 2000 (B).

A figura 182 ilustra, em percentagem, a parcela de contribuição de cada um dos componentes do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática (K_t): K_w , K_c e K_x na superfície dos pontos em toda extensão dos dois reservatórios. Esta ilustração fornece uma visão da participação de cada componente ao longo dos reservatório, nas duas épocas do ano, contudo para uma análise mais detalhada é conveniente recorrer às tabelas 38 a 42, as quais apresentam não somente o valor de cada um dos componentes, como também sua parcela de contribuição, em termos percentuais, nas diferentes profundidades desses reservatórios.



Pontos de Estudo em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa

FIGURA 182. Componentes do Coeficiente de Atenuação Total da radiação solar subaquática, (K_t): K_w , K_c e K_x na superfície dos pontos de toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa nos períodos: chuvoso, em dezembro de 1999 (A) e seco, em julho e agosto de 2000 (B).

Praticamente em toda a extensão dos reservatórios, em ambas estações do ano, o componente K_x teve participação preponderante na atenuação da radiação solar subaquática (figura 182), e os componente K_w e K_c aumentaram sua contribuição no período seco, na maioria dos pontos investigados.

No inverno a ação dos ventos é mais intensa e provocou circulação da massa de água em praticamente toda a coluna d'água em todos os pontos dos reservatórios e a preponderância de K_x foi mais marcante nos pontos de menor profundidade, a saber: P7B do reservatório de Barra Bonita e P1 e P2 do reservatório do Lobo-Broa.

Nesta época K_c atingiu valores menores comparados com os do verão em ambos reservatórios (figuras 180 e 181), contudo a contribuição deste componente para a atenuação da radiação solar subaquática no reservatório de Barra Bonita tenha sido maior na maior parte da coluna d'água, como ilustra a figura 174. Na extensão do reservatório de Barra Bonita não foi observado redução da concentração de clorofila total nas profundidades abaixo da zona eufótica, possivelmente devido a alta circulação da massa de água com distribuição de nutrientes e de organismos por toda a coluna d'água. Para o ponto P7B esta concentração foi maior somente até, 0,25 m de profundidade, embora com valores menores que para os demais pontos, o que ocorreu também nos dois pontos do reservatório Lobo-Broa.

No verão a contribuição de K_c foi maior nos pontos P5B, na superfície de P7B e no primeiro metro de P6B. A entrada de material alóctone no sistema aquático com a ocorrência de chuvas neste período contribuiu, principalmente, para o aumento da concentração de matéria orgânica devido lançamento de esgotos domésticos, industriais e agrícolas pelos tributários, e conseqüente aumento de nutrientes nos primeiros metros da coluna d'água, observando-se também aumento da contribuição deste componente na atenuação da radiação solar subaquática (tabela 38).

A maior contribuição do componente K_w na atenuação da radiação solar subaquática ocorreu no período seco, possivelmente relacionado com o tempo de retenção da água dos reservatórios, decomposição de organismos aquáticos e descargas na forma de substâncias húmicas e carga orgânica.

Foi feita a comparação entre os pontos P3B e P7B no período seco. Este último apresentou menor penetração da radiação solar subaquática e

consequentemente maior K_t na região da profundidade da zona eufótica. É importante considerar que na superfície as concentrações de clorofila total em ambos pontos não apresentaram grandes diferenças e os valores de K_c , portanto foram próximos em ambos pontos, a saber: 0,193 e 0,147 respectivamente para P3B e P7B. No entanto, a contribuição da parcela K_c na atenuação da radiação solar subaquática foi extremamente diferente em cada um desses pontos, sendo de 44,6% para P3B e de apenas 6,4% para P7B (tabelas 40 e 41), como ilustra a figura 182 B. Já, a concentração de matéria inorgânica na coluna d'água no ponto P7B foi aproximadamente quatro a cinco vezes maior que em P3B, o que acarretou na grande participação de K_x na atenuação da radiação solar subaquática tanto pelo processo de absorção devido ao material em suspensão contido na água como também pelo de espalhamento da radiação solar incidente em cada profundidade da coluna d'água.

Desta forma, é de grande importância o conhecimento não apenas dos valores das concentrações de clorofila total e de material em suspensão (frações orgânicas e inorgânicas) ao longo da coluna d'água, mas também o entendimento do quanto estas concentrações representam na participação do processo de atenuação e de alteração da qualidade espectral da radiação solar subaquática.

Esta questão está vinculada aos mecanismos de circulação vertical e horizontal ao longo da extensão dos reservatórios dada a dependência da distribuição dos organismos e material contido na água por estes mecanismos. Esta interferência nos padrões de atenuação de radiação solar subaquática pode ser melhor avaliada quando analisado o espectro de absorção da radiação solar na água para diferentes profundidades do ponto estudado no corpo d'água.

No ponto P3B no período seco, foi observado que a 4,75 m de profundidade (Zeu) ocorreu considerável aumento na contribuição de K_w (tabela 40) para a atenuação da radiação solar subaquática. A figura 183 ilustra o espectro de absorção da radiação solar ao longo da coluna d'água neste ponto, evidenciando a diferença da qualidade espectral da radiação solar ao atingir a profundidade de 4,75 m comparada com as camadas superiores da coluna d'água

neste ponto. A alta absorção nesta profundidade na faixa espectral do azul até o vermelho é indicativo de absorção por clorofila e por compostos dissolvidos na água em maior escala que para as demais camadas de água., como se verifica na tabela 40.

Dando continuidade a esta análise, é conveniente considerar novamente o ponto P7B, no período chuvoso, na qual a concentração de clorofila total foi muito maior na superfície que no restante da coluna d'água, ocorrendo portanto nesta região, maior absorção da radiação solar na faixa espectral do azul e do vermelho. A parcela K_w foi maior na superfície e a 1,0 m de profundidade do mesmo ponto, acarretando absorção da radiação solar nas faixas espectrais do azul e do vermelho nestas camadas de água. Este fato é claramente observado na figura 184, comparando-se o espectro de absorção da radiação solar na coluna d'água neste ponto no verão (figura 184 A) e no inverno (figura 184 B). A curva exponencial homogênea da figura 184 B, está relacionada com a variação dos componentes K_w , K_c e K_x de modo gradual na coluna d'água, não apresentando aumento ou diminuição de algum componente de forma expressiva em determinada camada de água. Como a contribuição de K_w (inverno) foi ligeiramente maior que a de K_c no inverno é esperado forte absorção na faixa do azul devido aos compostos dissolvidos e pela clorofila nesta faixa e na do vermelho. Assim, o valor de absorbância na faixa espectral do azul foi maior no inverno (figura 182 B).

O estudo da penetração da radiação solar em toda a extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, mostrou a importância dos mecanismos de circulação vertical e horizontal da massa de água oriundos tanto de fenômenos naturais quanto antópicos na redução da radiação solar subaquática e da sua alteração espectral ao longo da coluna d'água.

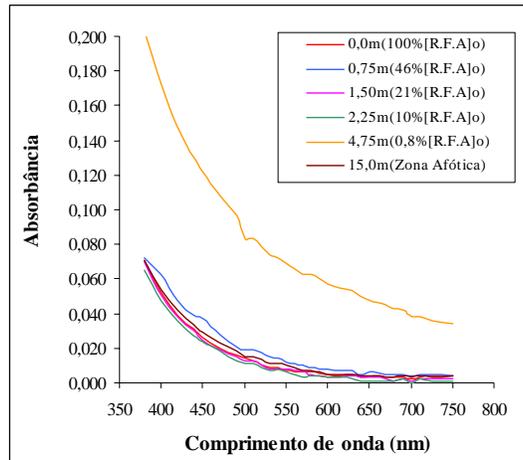
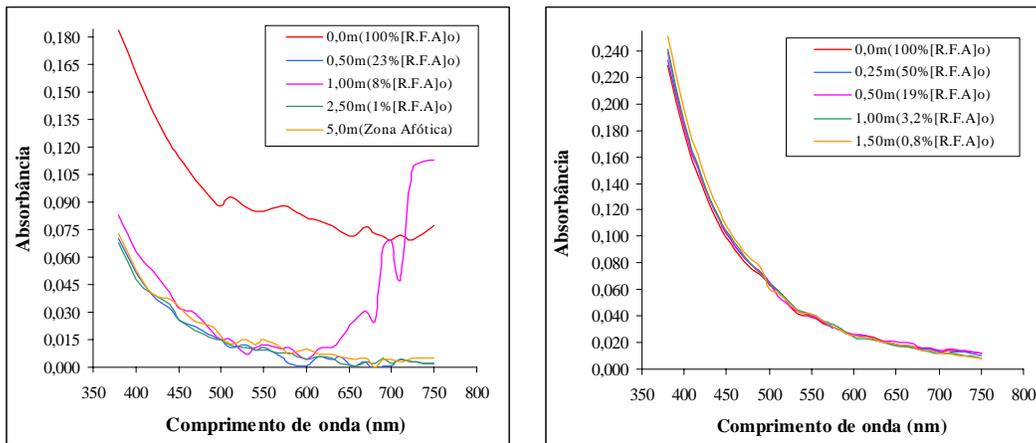


FIGURA 183. Espectro de absorção da luz na água do ponto P3B do reservatório de Barra Bonita em 28/07/2000, período seco, nas profundidades indicadas.



(A) Período de Alta Precipitação

(B) Período Seco

Pontos P7B do reservatório de Barra Bonita

FIGURA 184. Espectro de absorção da luz na água do ponto P7B do reservatório de Barra Bonita em 08/12/99, período chuvoso (A) e em 27/07/2000, período seco, nas profundidades indicadas.

7.5.3 Influências e interferências na penetração da radiação solar em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa

Parte da radiação solar que chega na superfície aquática pode ser refletida de volta para a atmosfera, que depende do ângulo de incidência, estações do ano, hora do dia, latitude e ondulação. A fração disponível desta radiação ao atingir e se propagar no corpo d'água é submetida aos processos de absorção e de espalhamento pelo conteúdo da água. Ambos processos resultam em mudanças na radiação solar a partir da superfície que combinados reduzem a sua intensidade, enquanto que o espalhamento também modifica seu caráter direcional.

De acordo com o tipo de material contido na água a radiação solar absorve mais forte ou fracamente em determinados comprimentos de onda, acarretando assim não somente diminuição de sua intensidade como também alteração em sua qualidade espectral.

Neste trabalho foi amplamente discutido a influência de vários fatores na penetração da radiação solar, como clima, relevo, vegetação, operação do sistema (reservatórios), usos e ocupações, posição geográfica, dentre outros. O conhecimento desses fatores fornece informação quanto ao tipo e intensidade da entrada de material no sistema aquático. Contudo, é importante o entendimento da sua distribuição na coluna d'água e conseqüentemente sua interferência na penetração da radiação solar e alteração de sua qualidade espectral.

Neste sentido, são feitas algumas considerações quanto a circulação vertical e horizontal nos sistemas aquáticos:

(a) Modelo de Estratificação Sazonal e circulação no reservatório

Nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa a circulação da água devido a ação dos ventos é praticamente constante e o perfil homogêneo na coluna d'água, especialmente no inverno. Mesmo com a intrusão de águas dos

rios Tietê e Piracicaba no reservatório de Barra Bonita e do rio Itaqueri no reservatório Lobo-Broa, com a circulação da massa de água os nutrientes se distribuem pela coluna d'água.

Neste caso, o perfil de densidade é homogêneo na extensão dos reservatórios e a intrusão é detectada pelo perfil térmico e químico que caracteriza a circulação e a variabilidade sazonais. A estratificação térmica e química dura às vezes apenas horas e minutos, dada a suscetibilidade à ação dos ventos no decorrer do ano. Esta situação é mantida por ondas verticais produzidas pelos rios que impedem a formação de termoclinas secundárias e ganham estabilidade térmica.

Mudanças na temperatura do ar produzidas por mudanças nas condições meteorológicas são suficientes para produzir flutuações na temperatura do rio, que se move em sentido ao reservatório. A evidência desses movimentos podem ser detectados pelos “degraus” nos perfis de condutividade, os quais têm comportamento mais conservativo que a temperatura em condições hidrológicas idênticas (MARGALEF, 1983).

No verão ocorreu estratificação, com termoclina nos primeiros metros de alguns dos pontos localizados no corpo central do reservatório de Barra Bonita e nos pontos localizados nas proximidades dos rio Tietê e Piracicaba. A combinação dos perfis de oxigênio dissolvido e de condutividade permitiu situar o rio Piracicaba na termoclina, pois a água do rio contém mais oxigênio dissolvido e maior condutividade, que no corpo central do reservatório, o oxigênio é rapidamente consumido por atividades biológicas dos organismos que usam matéria orgânica alóctone transportada do rio.

(b) Mudanças Horizontais na Composição Químico da Água

Diferentes tipos de circulação nos rios Tietê e Piracicaba podem estabelecer no reservatório “interfluxos” e “subfluxos” contribuindo de modo

diferente na entrada de nutrientes nas partes superiores da coluna d'água, e a água superficial pode funcionar como região de rio.

Durante a circulação horizontal, os rios mergulham em camadas inferiores do reservatório misturando-se as águas. Com a mistura da água a partir da entrada dos rios, a camada do epilímnio fica altamente variável e ela depende das mudanças no fluxo de entrada e da intensidade do gradiente vertical de temperatura. Os nutrientes que vem dos rios podem se misturar com a água epilimnética e contribuir no estabelecimento de gradientes longitudinais na composição da água. Entre o epilímnio e os rios que se misturam em diferentes proporções é introduzida uma certa quantidade de nutrientes na superfície. Esta situação é altamente variável que depende do fluxo de entrada de água e das condições meteorológicas.

ARMENGOL, et al. (1999) em estudos ao longo do reservatório Sau (NE da Espanha) calculou que entre 17% e 23% da água e compostos dissolvidos do rio Ter foram misturados com água do epilímnio no ponto próximo ao rio. Assim, a proporção de nutrientes trazidos com as águas do rio foi injetada no epilímnio e contribuiu para manter uma série de gradientes químicos ao longo do eixo do reservatório.

(c) Mudanças Longitudinais na Composição da Comunidade Planctônica e na Atividade Biológica

Segundo o mesmo autor, gradientes de mudança ambiental ocorridos ao longo do eixo principal do reservatório Sau formam a base para o desenvolvimento de tendências semelhantes na composição da comunidade planctônica. A biomassa e a abundância bacteriana foram diferentes com tendência à diminuição das células no sentido do rio para a represa, embora semelhantes nos pontos próximos ao rio Ter (pontos 7 a 9), como ilustra figura 185a. Protozoários representados por nanoflagelados e ciliados são os principais consumidores de células bacterianas e sua distribuição ao longo do reservatório

reflete isso (figura 185 b), onde ambos grupos são mais abundantes nos pontos de maior quantidade de matéria orgânica e grande quantidade de bactéria acumulada. Ainda, os ciliados são consumidores de células bacteriais na região de rio e diminui no sentido da represa com a diminuição das mesmas, conforme figura 185 c.

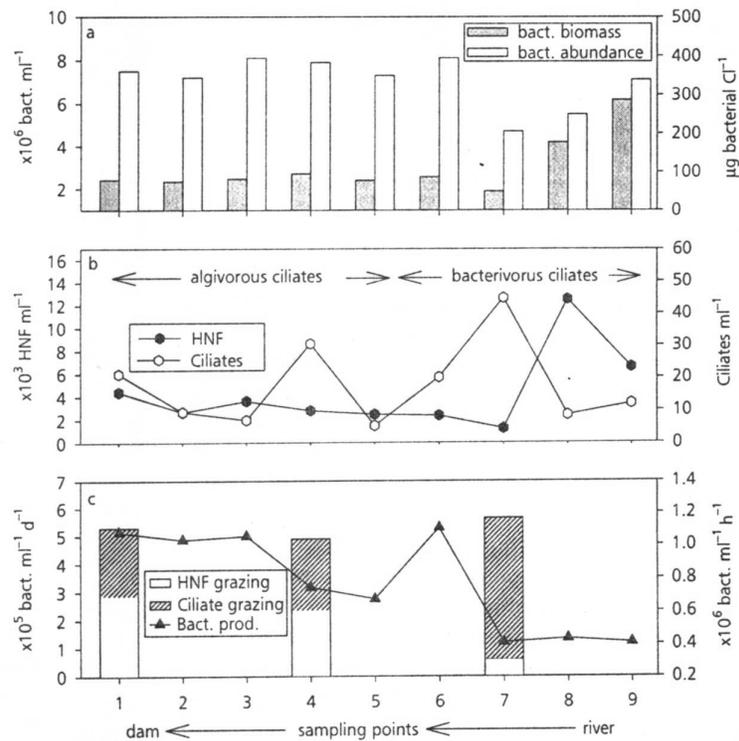


FIGURA 185. Perfil longitudinal no sentido do rio Ter para a represa Sau. (a) Biomassa e abundância de bactéria. (b) Abundância de nanoflagelados heterotróficos (NFH) e ciliados. (c) Comparação da produção bacteriana e “grazing” para NFH e ciliados.

Fonte: ARMENGOL, et al. (1999)

A abundância fitoplanctônica medida como concentração de clorofila a e número de células neste reservatório, mostrou o mesmo padrão para a variabilidade horizontal, como ilustra a figura 186, com aumento de concentração de clorofila a na região de rio e distribuição uniforme de fitoplancton na região do corpo central da represa.

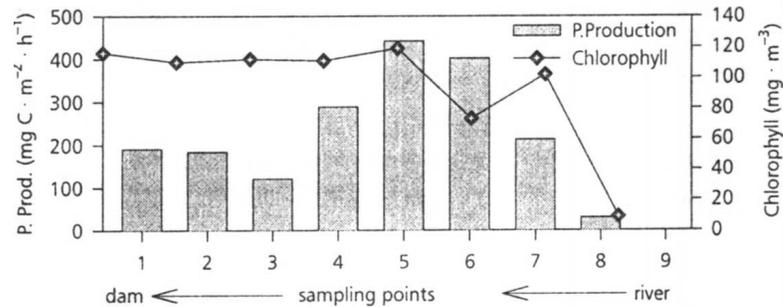


FIGURA 186. Perfil longitudinal no sentido do rio Ter para a represa Sau da concentração de clorofila a e produção primária.
Fonte: ARMENGOL, et al. (1999).

A concentração média de clorofila total na profundidade da zona eufótica e a concentração de clorofila total na superfície em toda a extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa estão ilustradas na figura 187, em que se observou a mesma tendência que no reservatório Sau. Os maiores valores da concentração média de clorofila total foram obtidos nos pontos mais próximos dos rios Tietê e Piracicaba para o reservatório de Barra Bonita e próximo ao rio Itaqueri no reservatório do Lobo-Broa, confirmando assim que a composição fitoplanctônica é também um reflexo das mudanças tróficas ao longo dos reservatórios.

As circulações vertical e horizontal no sistema aquático, estabelece padrões na composição química da água, na distribuição tanto dos organismos planctônicos como do material particulado e dissolvido na coluna d'água. Os elementos contidos na água distribuídos segundo estes padrões, são os agentes responsáveis pela atenuação da radiação solar subaquática e por sua alteração espectral na coluna d'água.

Estas considerações, portanto, são de extrema relevância no estudo da penetração da radiação solar no meio aquático, evidenciando a interferência e implicações dos gradientes horizontais e verticais sobre a atenuação da radiação solar subaquática.

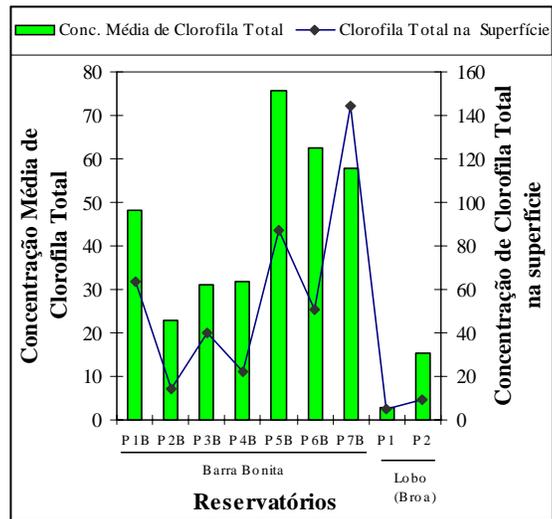


FIGURA 187. Comparação do perfil longitudinal em toda a extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa da concentração de clorofila total na superfície e da concentração média de clorofila total na profundidade da zona eufótica, em dezembro de 1999.

7.6 Aparelho Teste: *Fotômetro Subaquático*

A proposta de recuperar um aparelho utilizado no desenvolvimento de pesquisas limnológicas foi feita devido a importância dada não somente para o estudo da penetração da radiação solar no meio aquático como também para a manutenção do patrimônio.

Assim, feitas as adequações e adaptações necessárias, o aparelho foi testado em períodos simultâneos aos das coletas. Os problemas foram sendo resolvidos à medida em que surgiam.

Foram feitas medidas em campo com o Fotômetro subaquático e apresentaram resultados compatíveis com os obtidos com o equipamento referência, o Quanta-meter LI-COR (LI - 185A). Estas medidas foram realizadas nas escalas: V e mV , ao longo da coluna d'água, para a verificação do comportamento exponencial na atenuação da radiação solar subaquática.

Quando da utilização deste equipamento em outras pesquisas, poderá ser utilizada somente a escala mais conveniente, embora a escala em mV apresente maior número de divisões e portanto é mais sensível às pequenas variações na medida de radiação solar subaquática.

A atenuação da radiação solar subaquática ao longo da coluna d'água nas diferentes faixas espectrais do verde, vermelho, azul e violeta só foi possível mediante utilização de filtros nas correspondentes faixas espectrais estreitas. A introdução e adaptação de cada filtro sobre o detetor fotocondutivo (PIN - 25DP), exigiu cuidado e habilidade no manuseio e adequação do sistema já existente no antigo aparelho.

O decaimento exponencial da radiação solar nas diferentes faixas espectrais também não mostrou casos discrepantes comparados com os valores medidos com o Quanta-meter LI-COR (LI - 185A). A alteração espectral da radiação solar subaquática observada pelo decaimento exponencial, em geral, apresentou coerência com a análise feita a partir da contribuição de cada um dos componentes K_w , K_c e K_x no processo de atenuação da mesma.

Não foi possível obter uma relação entre a resposta do aparelho dada em tensão elétrica (V ou mV) para fluxo radiante ($J.s^{-1}$) ou irradiância ($W.m^{-2}$). O que se pretende fazê-lo em continuidade a novos testes em outras pesquisas, de modo que se possa obter relações entre as unidades de medida. Estudos mais aprofundados em fotometria seria interessante para o desenvolvimento de pesquisas nesta área.

Todos os esforços dedicados na recuperação e a possibilidade de voltar a utilizar o equipamento em campo, lograram efeitos dos mais positivos, com perspectivas de aperfeiçoamento nas pesquisas vindouras.

7.7 Espectrograma da radiação solar na água dos reservatórios de Barra Bonita e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa)

Verifica-se nestes resultados que a composição espectral da radiação solar subaquática comumente é constituída pelos comprimentos de onda na faixa espectral do verde (figuras 149 a 151). Nos dois reservatórios estudados, com esta técnica, ficou muito evidente esta característica.

As medidas foram realizadas somente no inverno (período seco) e conseqüentemente pode ocorrer alteração entre os períodos. O de alta precipitação, facilita descargas de partículas em suspensão ou substâncias coloridas dissolvidas na água originárias de ácidos húmicos de origem vegetal e matéria orgânica vegetal (WETZEL, 2001).

7.8 Espectro de absorção da água superficial em ambientes aquáticos situados nas regiões: Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil

O espectro de absorção da água superficial em ecossistemas naturais e artificiais nada mais é, do que uma resposta, sob o ponto de vista óptico, do ambiente aquático frente às condições diversas a que o mesmo está sendo submetido, seja de ordem natural ou artificial pela ação do homem. Estas respostas são, de certa forma, específicas do ambiente aquático que podem ser definidas como sendo “a assinatura óptica” do sistema no momento observado, em que devem ser considerados os seguintes aspectos, quanto à absorbância da luz na água:

- i) É um valor relativo, uma vez que comparada com a da água destilada
- ii) É um reflexo, ou seja, o efeito óptico dos elementos constituintes da água
- iii) As características ou os tipos de material particulado e dissolvido que entra no sistema aquático podem ser estabelecidos mediante o conhecimento de:
 - Características fisiográficas da região

- Características gerais da bacia hidrográfica
- Características morfométricas do ambiente aquático
- Vegetação do entorno
- Condições climatológicas e hidrológicas
- Operação do sistema, quando dos reservatórios
- Atividades antrópicas da região

Feitas estas observações, é importante ainda ressaltar que quanto menor for a absorbância da luz na água coletada, na faixa espectral do visível, mais próxima ela estará da água destilada. Partindo desta premissa, a seguir discute-se o quanto foi alto ou baixo o valor obtido para absorbância da luz nas águas coletadas comparativamente à água destilada.

A concentração de substâncias dissolvidas varia não somente entre águas marinhas e doces, como entre águas interiores. Um parâmetro conveniente por meio do qual a concentração dessas substâncias pode ser indicada é absorbância a 440 nm devido a este material dentro da água. Este comprimento de onda é escolhido por corresponder aproximadamente a um valor mediano na faixa espectral do azul, a qual a maioria das classes de algas tem em seu espectro de ação fotossintético (KIRK, 1983).

Assim, foi considerado como parâmetro de comparação entre os ambientes aquáticos estudados a absorbância da luz em águas superficiais obtida neste comprimento de onda. A partir do maior valor encontrado para absorbância (a 440 nm) dentre todos os ambientes aquáticos estudados foi elaborada uma escala, segundo o percentual de absorção da luz nestas águas e assim determinando o “Índice de Absorção Espectral da Água” comparativo e a respectiva classificação do ambiente aquático, segundo este índice como indica a tabela 55. Uma comparação do índice de absorção espectral da água foi feita para os ambientes aquáticos estudados de cada região ou estado do Brasil, como ilustram as figuras 188 a 192.

TABELA 55. “Índice de Absorção Espectral da Água”, determinado comparativamente dentre os ambientes aquáticos estudados.

Faixa Percentual* de Absorbância a 440 nm	Especificação da Classificação	Índice de Qualidade Espectral da Água
0% a 25%	<i>Águas com baixa absorbância</i>	1
26% a 45%	<i>Águas com média-baixa absorbância</i>	2
45% a 55%	<i>Águas com média absorbância</i>	3
56% a 75%	<i>Águas com média-alta absorbância</i>	4
76% a 100%	<i>Águas com alta absorbância</i>	5

Referência: Maior valor obtido para absorbância da luz na água a 440 nm.

Neste contexto, águas com baixa absorbância correspondem aos ambientes aquáticos que sofrem menos impactos com a entrada de material alóctone, então, são menos vulneráveis a isto, no entanto os que pertencem à classificação de águas com alta absorbância são os mais suscetíveis. O “*Índice de Absorção Espectral da Água*” - IAEA contribui com informações quanto a possíveis fontes pontuais de poluentes e contaminantes no corpo d’água, conhecidas as origens e circunstâncias da carga que entra nos sistema aquático.

Tanto para os lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce como para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, a ocorrência de chuvas foi fator relevante na entrada de material no sistema aquático.

No período chuvoso, os pontos P5 do lago D. Helvécio e o córrego Sarandi (Município de Belo Horizonte) apresentaram o mesmo IAEA (figura 188), porém uma avaliação mais criteriosa possibilita o entendimento desse valor. Este lago encontra-se em região de vales e morros com áreas florestadas que facilitam a entrada de material do entorno por escoamento neste período. Enquanto que no córrego Sarandi, localizado em Belo Horizonte, na região do distrito industrial, a alta carga de material devido lançamento de esgotos doméstico e industrial em larga escala, é o reflexo da alta absorbância. Desta forma, embora em ambos pontos a classificação tenha sido a mesma, a origem da descarga no sistema é diferente e a detecção foi imediata.

O IAEA obtido para os reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê (figura 189) foi maior nos primeiros reservatórios da série, localizados próximos aos tributários, que também por sua vez, contribuíram com lançamentos de origem doméstica, industrial e agrícola. O ponto P3 do reservatório de Barra Bonita foi um exemplo da alta intensidade de carga orgânica entrando no corpo central do reservatório a partir do rio Piracicaba, no período chuvoso.

O mesmo comportamento foi observado para os reservatórios do Alto Tietê, conforme figura 191, cuja entrada de material está estreitamente relacionada com a industrialização da região e lançamentos de esgotos domésticos e industriais.

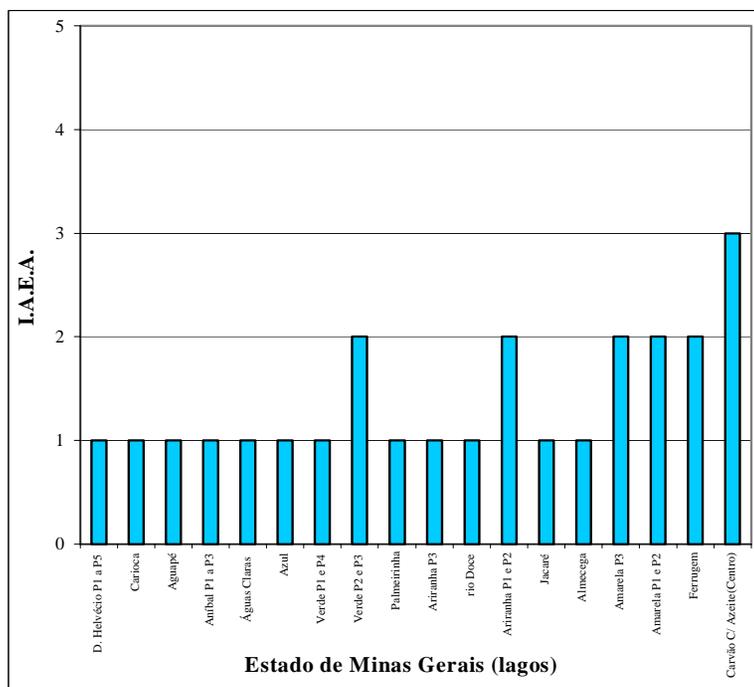
A circulação da massa de água em toda a coluna d'água por praticamente toda extensão do reservatório de Barra Bonita no período seco, acarretou ressuspensão de material do sedimento e possivelmente aumento na turbidez da massa de água e a entrada de matéria orgânica pelos rios Tietê e Piracicaba, outra fonte de entrada de material está relacionado com as intensas atividade antrópicas na região que refletiram na absorção da luz na água coletada, como ilustra a figura 190.

No reservatório do Lobo-Broa não ocorreram mudanças consideráveis entre o período seco e o chuvoso (figura 190).

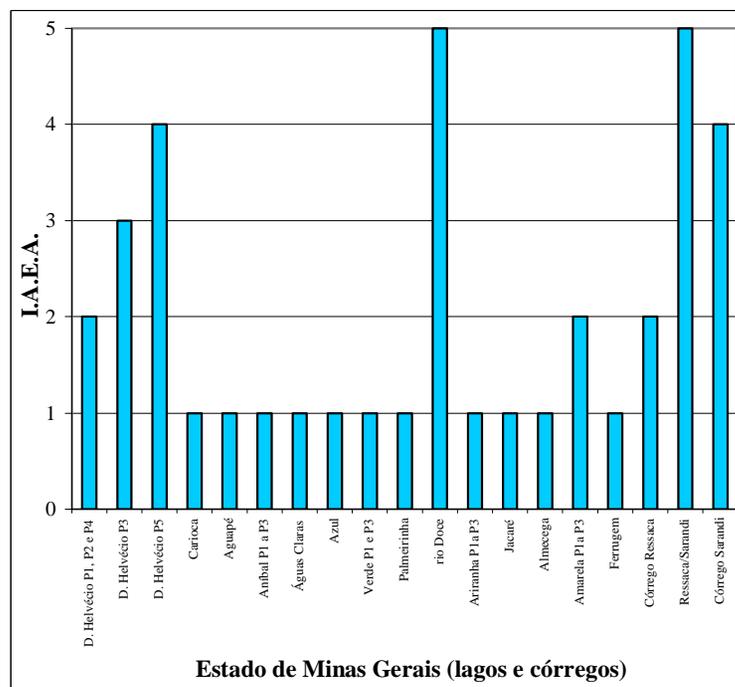
Este índice assim estabelecido, fornece informações importantes quanto à entrada de material no sistema aquático de forma indicativa de fontes pontuais poluentes e contaminantes. A identificação destas fontes é facilmente detectada mediante avaliação criteriosa dos índices obtidos, como foi discutido.

REGIÃO SUDESTE

(A) ESTADO DE MINAS GERAIS



(A) Período Seco



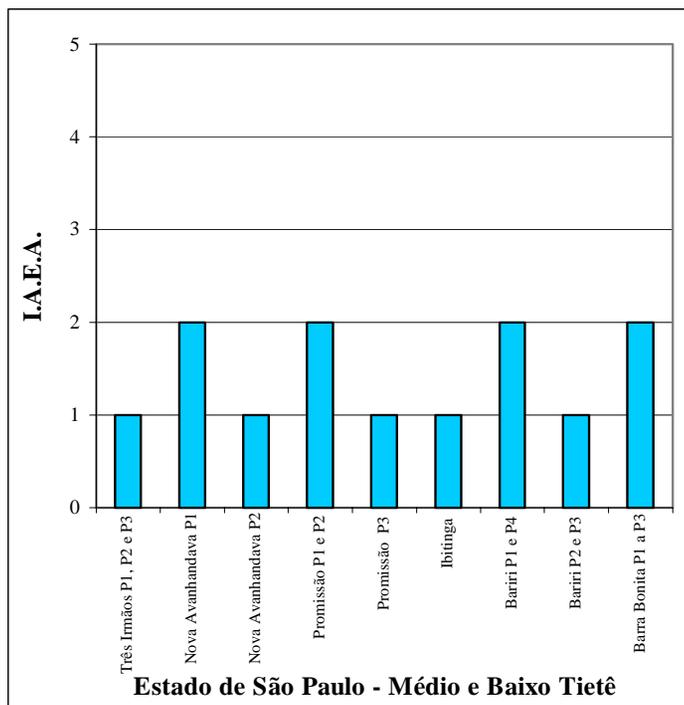
(B) Período de Alta Precipitação

Lagos e Córregos no Estado de Minas Gerais

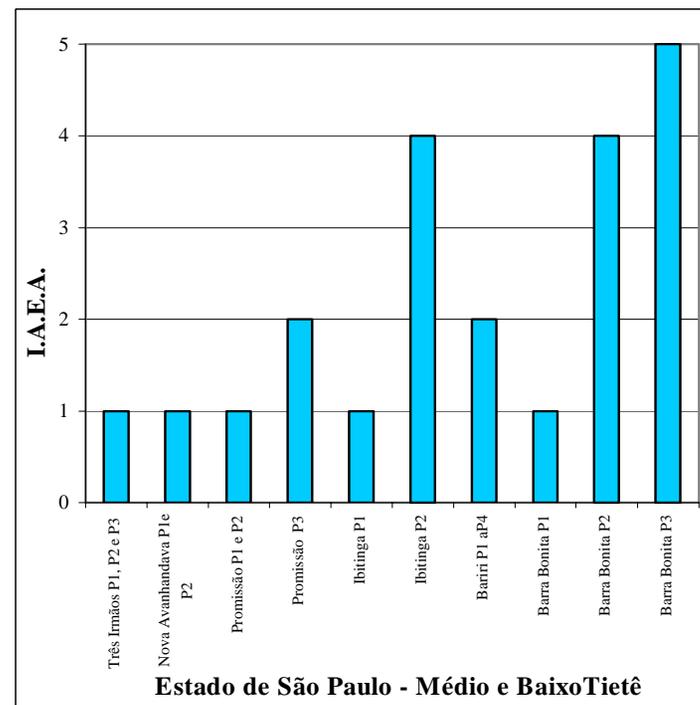
Figura 188. “Índice de Absorção Espectral da Água” – I.A.E.A. para lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce e para córregos situados em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. Lagos em agosto de 1999 no período seco (A); e córregos e lagos em dezembro de 1999 e fevereiro de 2000, respectivamente no período chuvoso (B).

(B) ESTADO DE SÃO PAULO

(B.1) RESERVATÓRIOS DO MÉDIO E BAIXO TIETÊ



(A) Período Seco



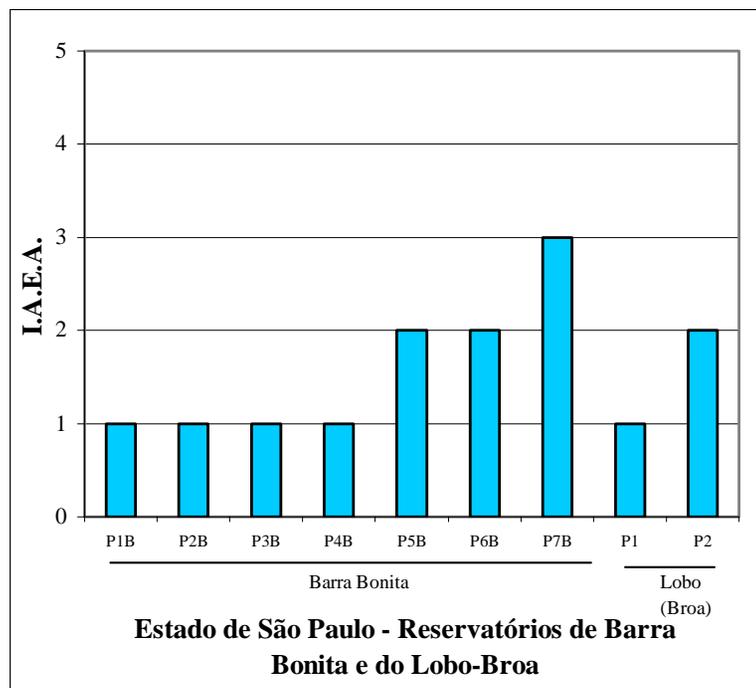
(B) Período de Alta Precipitação

Reservatórios do Médio e Baixo Tietê no Estado de São Paulo

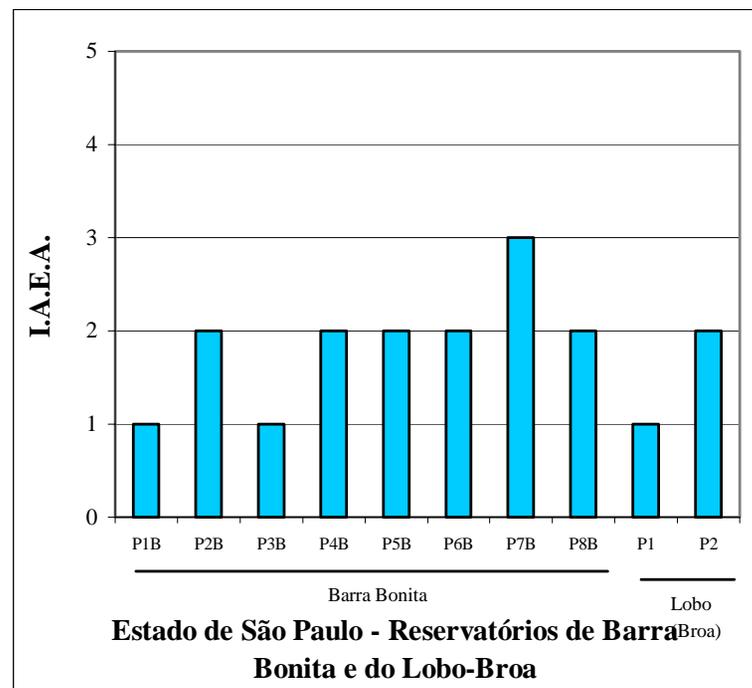
Figura 189. “Índice de Absorção Espectral da Água” – I.A.E.A para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, Estado de São Paulo em julho e novembro de 1999 no período seco (A); e em fevereiro de 2000 no período chuvoso (B).

(B)ESTADO DE SÃO PAULO

(B.2)TODA EXTENSÃO DOS RESERVATÓRIOS DE BARRA BONITA E DO LOBO-BROA



(A) Período de Alta Precipitação



(B) Período Seco

Reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa

Figura 190. “Índice de Absorção Espectral da Água” – I.A.E.A em toda extensão dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo-Broa, Estado de São Paulo em dezembro de 1999 no período chuvoso (A); e em julho e agosto de 2000 no período seco (B).

(B)ESTADO DE SÃO PAULO
(B.3) RESERVATÓRIOS DO ALTO TIETÊ

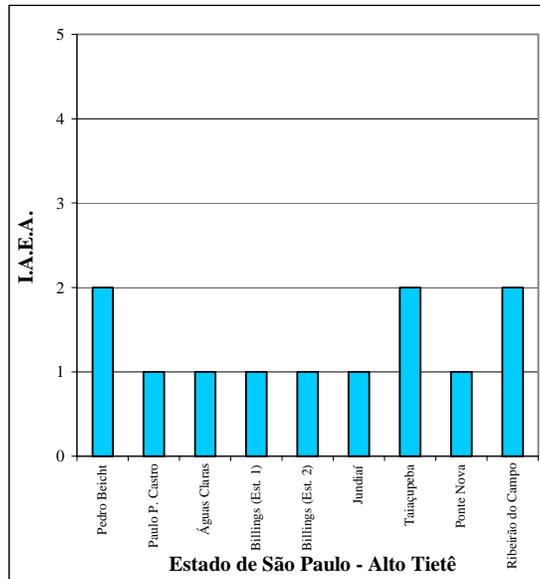


FIGURA 191. “Índice de Absorção Espectral da Água” - I.A.E.A para os reservatórios do Alto Tietê, Estado de São Paulo, em agosto de 1999.

REGIÕES NORTE E NORDESTE

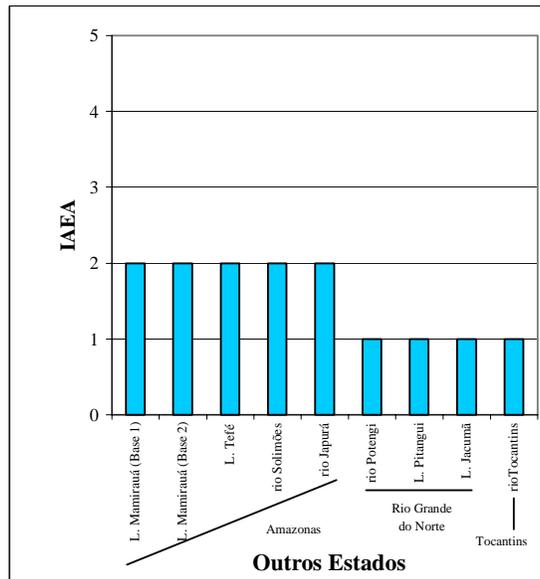


FIGURA 192. “Índice de Absorção Espectral da Água” - I.A.E.A para lagos e rios do Estado do Amazonas (julho de 1999), do Estado do Rio Grande do Norte (setembro de 1999) e rio Tocantins, Estado de Tocantins (em julho de 1999).

8. CONCLUSÕES

8.1 Energia Radiante Subaquática e Sua Importância

A energia radiante subaquática, do ponto de vista quantitativo e qualitativo, é fundamental para a produção biológica de ecossistemas aquáticos, especialmente fitoplâncton, bacterioplâncton fotossintetizante e macrófitas aquáticas submersas.

A distribuição da radiação solar no sistema aquático tem grande influência nos parâmetros reguladores da fisiologia e no comportamento dos organismos aquáticos.

A absorção da radiação solar é específica para os diferentes tipos de pigmentos de clorofila. Para a clorofila *a* o pico de absorção ocorre entre 405 nm e 640 nm, enquanto que para a clorofila *b* ocorre entre 440 nm e 620 nm. Existe adaptação de algumas plantas diante das condições fóticas encontradas dentro do ambiente aquático, como por exemplo, a cianobactéria *Microcystis* cujo espectro de ação mostra que o pigmento acessório ficocianina ganha importância quando estes organismos crescem na presença de radiação na faixa espectral do vermelho, substituindo a atuação da clorofila *a* (HERRING et al., 1990).

Ainda, os raios UV prejudicam células algais e atuam também sobre zooplâncton e peixes, podendo causar efeitos diretos na alteração do DNA, e também os UV-B podem gerar efeitos fotoquímicos danosos (WETZEL, 2001).

Embora alguns animais possam evitar a ação do UV por migração, pigmentos fotoprotetores são desenvolvidos, num processo de adaptação. Tanto a migração como o desenvolvimento do pigmento podem alterar a suscetibilidade da presa diante do predador. Outro exemplo de adaptação às condições fóticas do ambiente aquático que pode ser citado são invertebrados que possuem receptores visuais controlados na faixa de pico a 550 nm (WETZEL, 2001).

Portanto, a qualidade espectral da radiação solar subaquática, que depende como foi levantado neste trabalho, de um conjunto de fatores ecológicos, físicos e químicos, pode interferir decisivamente no comportamento do fitoplâncton, zooplâncton, peixes e outros organismos aquáticos. A distribuição da radiação solar pode ser influenciada por outros fatores climatológicos, como precipitação e ventos, como reafirmam TALLING e LEMOALLE (1998).

O estudo da penetração da radiação solar na faixa fotossinteticamente ativa, em ecossistemas continentais tanto naturais como artificiais, possibilitou a determinação de semelhanças e diferenças no modo pelo qual a radiação solar tem a intensidade reduzida e a sua qualidade espectral alterada ao longo da coluna d'água.

8.2 Interferências na Distribuição da Radiação Solar Subaquática

A radiação solar ao atingir um corpo d'água tem sua intensidade atenuada por mecanismos de absorção e de espalhamento devido o conteúdo da água. O espalhamento também modifica seu carácter direcional, compondo assim todo o processo de atenuação da radiação solar.

Desta forma, o modo pelo qual ocorre a redução da radiação solar e a alteração da qualidade espectral está intimamente vinculado ao conteúdo da massa de água, que são representados pelos coeficientes: K_w , K_c e K_x , constituintes do coeficiente de atenuação total da radiação solar subaquática, K_t .

O conhecimento de cada uma dessas parcelas e o modo pelo qual elas contribuíram para Kt consiste no ponto-chave desta questão, a saber:

1. Os fatores que de alguma forma atuam neste processo podem ser enumerados devido as seguintes condições:

(a) *Inerentes aos regimes climatológico e hidrológico*

- Condições climatológicas
- Condições hidrológicas

(b) *Inerentes aos sistemas terrestres e aquáticos*

- Características fisiográficas da região
- Características gerais da bacia hidrográfica
- Características morfométricas do ambiente aquático
- Relevo
- Cobertura vegetal
- Localização geográfica (altitude, latitude, longitude)

(c) *Externos ao sistema aquático (condições artificiais)*

- Operação do sistema, no caso de reservatórios
- Usos e ocupações da bacia hidrográfica

2. A ocorrência de chuvas no verão apresentou grande influência na atenuação da radiação solar subaquática nos reservatórios e lagos estudados, devido entrada de material particulado e dissolvido no sistema aquático, enquanto que a ação de ventos foi mais relevante para estes reservatórios, uma vez que os lagos estudados são protegidos por vales e morros.

3. A penetração da radiação solar foi maior em praticamente todos os lagos que nos reservatórios tanto no inverno como no verão. Os lagos estão localizados em áreas florestadas e de atividade antrópica menos intensa, contrariamente aos reservatórios cuja influência do lançamento de esgotos domésticos,

industriais e agrícolas em larga escala foi notória, principalmente nos reservatórios situados à montante.

4. Os valores de K_t para os primeiros reservatórios da cascata, foram maiores que na maioria dos lagos no período seco, que apresentam usos do solo mais intensos e menor volume de água, como por exemplo o reservatório de Ibitinga. A interferência da ação dos ventos na atenuação da radiação solar subaquática está relacionada com a circulação da massa de água ocasionando aumento em sua turbidez por toda na coluna d'água nesta época do ano, com mais evidências nos reservatórios que nos lagos, cuja circulação é baixa.
5. Foram encontrados valores de K_t iguais para lagos e reservatórios, contudo a radiação solar subaquática foi atenuada devido a fatores diferentes dependendo do conteúdo da água e da parcela de contribuição de cada componente na atenuação afetando assim, sua distribuição na coluna d'água.
6. A contribuição do componente K_x na atenuação da radiação solar subaquática foi preponderante nos reservatórios e na maioria dos lagos, nas duas épocas estudadas, devido a entrada de material alóctone no sistema aquático.
7. Para os lagos, a contribuição de K_c aumentou no verão, chegando a superar a contribuição de K_x , como a 1,0 m de profundidade para a Lagoa Águas Claras e entre 1,0 m e 1,50 m na lagoa ferrugem. O mesmo ocorreu nos primeiros metros, do inverno estudado nas lagoas Aguapé, Aníbal e Ferrugem.
8. No período chuvoso a contribuição de K_c foi dependente da formação de estratificação nos lagos estudados. A concentração de clorofila total aumentou na região da profundidade da zona eufótica, que na maioria dos lagos foi praticamente coincidente com a profundidade da zona de mistura. Esta diferenciação na concentração de clorofila total na coluna d'água contribui

para a atenuação da radiação solar subaquática tanto quantitativa como qualitativamente.

9. A própria fisiografia da região dos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce facilita o transporte de grande quantidade de material, em grande parte de origem orgânica, para o sistema aquático acarretando no aumento da contribuição de K_w devido a presença de compostos dissolvidos e substâncias húmicas na água, outro agente atenuante agindo na radiação solar subaquática. Nas lagoas Amarela e Verde a parcela K_w foi maior no inverno.
10. No período seco, devido a circulação da massa de água e reciclagem de nutrientes na coluna d'água a contribuição de K_c foi maior na maioria dos lagos e para os dois primeiros reservatórios à montante, neste último caso possivelmente devido a entrada de matéria orgânica dissolvida e particulada dos tributários em grande escala. Aumenta a entrada desse material nos dois reservatórios no período chuvoso, o que contribuiu para o aumento de K_w neste período.
11. A contribuição de K_c nos reservatórios está condicionada aos efeitos das circulações vertical e horizontal, que acarretam a distribuição diferenciada de fitoplâncton na coluna d'água, com o surgimento de florescimentos de algas localizadas, afetando consideravelmente a penetração da radiação solar subaquática.

8.3 Diferenças entre Lagos e Reservatórios

1. Os lagos estudados, ecossistemas naturais, são protegidos por paisagem natural, localizados em vales profundos em forma de V o que ocasiona baixa circulação da massa de água, com pouca ação de ventos e como consequência um padrão térmico peculiar: apresentam estratificação estacional (verão) e diurna (principalmente nos dois primeiros metros de profundidade).

A atenuação da radiação foi em sua grande parte devido a entrada de material alóctone no sistema aquático, principalmente no período chuvoso. A maioria dos lagos neste período foram estratificados, com as profundidades das zonas eufótica e de mistura praticamente iguais, com aumento da concentração de clorofila total na região da profundidade da zona eufótica. De acordo com REYNOLDS (1997) os organismos planctônicos da camada metalimnética migram na coluna d'água rumo a camadas superiores ricas de nutrientes. Assim, o modo pelo qual o fitoplâncton se distribui na coluna d'água provoca não só redução da intensidade como alteração na qualidade espectral da radiação solar nas camadas de água. Neste período, em alguns lagos a contribuição de K_w foi significativa devido entrada de compostos dissolvidos em grande parte oriundos da decomposição de matéria orgânica no entorno dos lagos.

2. Os reservatórios estudados, são mais suscetíveis à ação dos ventos frequentes provocando circulação da massa de água na maior parte do ano, diferindo do que foi estudado nestes lagos.

Um dos determinantes essenciais do funcionamento de represas é sua estrutura espacial (vertical e horizontal) muito mais heterogênea que nos lagos, por depender dos níveis de entrada de água dos rios e da altura de saída de água.

- 2.1 A penetração da radiação solar em reservatórios, portanto, depende da distribuição das massas de água mediante o sistema de circulações vertical e horizontal, bem como o tipo de material alóctone que entra no sistema aquático decorrentes dos usos e ocupações das bacias hidrográficas.

- 2.2 Os reservatórios estudados estão dispostos em cascata, sendo os reservatórios de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga os três primeiros da série e recebem lançamentos de esgotos domésticos, industriais e agrícolas dos tributários. Para os três últimos da cascata foi observado a tendência de diluição desses

lançamentos nos sentido do curso do rio até sua foz, sendo observado que a atenuação da radiação solar subaquática no sistema em cascata foi menor nos últimos reservatórios. Além disto os reservatórios a jusante retém material em suspensão o que diminui o efeito atenuador deste material na radiação solar incidente.

8.4 Padrões das Circulações Vertical e Horizontal e a Penetração da Radiação Solar na Água

1. A distribuição tanto vertical como horizontal dos elementos constituintes da água tem grande influência na penetração da radiação solar, onde cada componente atua diferencialmente na quantidade e na qualidade espectral, como demonstrado para os sistemas naturais (lagos estudados) e artificiais (reservatórios estudados).
2. Ficou evidente neste trabalho que a hipótese de MARGALEF (1991) da geração de complexidade vertical devido a penetração diferenciada da radiação solar, foi comprovada pelos resultados encontrados tanto nos lagos do Sistema de lagos do Vale do rio Doce (ecossistemas naturais), como nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (ecossistemas artificiais).

8.5 Espectro de Absorção da Água Superficial

Para cada espectro de absorção água superficial, o ambiente aquático pôde ser classificado segundo o “*Índice de Absorção Espectral da Água*”, IAEA, através da comparação entre os ambientes estudados. Este índice indica simplesmente se a luz na superfície aquática foi fraca ou fortemente absorvida pela água coletada no espectro de ação a 440 nm.

Na avaliação dos ambientes aquáticos assim classificados, a observância dos seguintes fatores é imperiosa:

- (a) Inerentes aos regimes climatológico e hidrológico
- (b) Inerentes aos sistemas terrestres e aquáticos
- (c) Externos ao sistema aquático (condições artificiais)

A partir da avaliação criteriosa do IAEA (figura 193), é possível concluir quanto ao resultado da resposta óptica do ambiente frente aos fatores acima mencionados e então determinar a ocorrência de fontes pontuais de poluição e de contaminação no sistema aquático, quando existentes.

O IAEA é assim representado para os ecossistemas artificiais e naturais estudados:

← **ABSORBÂNCIA** →

Baixa	Média Baixa	Média	Média Alta	Alta
(0 – 25) %	(26 – 45) %	(45 – 55) %	(56 – 75) %	(76 – 110) %
1	2	3	4	5

FIGURA 193. Representação esquemática do “Índice de Absorção Espectral da Água”, IAEA, apresentando os valores correspondentes na escala de absorbância da radiação solar (%) considerada.

Assim, a utilização deste recurso pode ser de grande valia no gerenciamento de ambientes aquáticos e no controle de florescimentos localizados. É sem dúvida um indicador muito importante da qualidade da água e sua composição química, principalmente em se tratando de substâncias orgânicas dissolvidas. Esta técnica mostrou ser muito eficiente na caracterização de águas e de “assinatura óptica” de cada massa de água, podendo ser utilizada para a detecção de origem de massas de água com contaminantes (como traçador) com segurança.

8.6 Espectrograma da Radiação Solar Subaquática

O espectro de radiação solar subaquática medidos para as duas represas (Barra Bonita e UHE Carlos Botelho, Lobo-Broa) apresentaram maior penetração dos comprimentos de onda situados na região entre 500 nm a 570 nm (faixa espectral do verde) não demonstrando significativas diferenças espectrais no clima de radiação solar subaquático nas duas represas, provavelmente pelo comportamento similar devido o período do ano em que foram feitas as medidas (inverno, período seco). Entretanto, estas medidas foram efetuadas em um único ponto, e é provável, dado as informações provenientes deste trabalho, ocorrerem diferenças significativas na qualidade e quantidade da radiação solar em todos pontos da extensão dos mesmos.

8.7 Equipamento Teste

O “Fotômetro Subaquático” que foi reconstruído e adaptado do Hidrofotômetro (Modelo N ° 268 WA 310 GM MFG & Instrument Corp. Bronx 10 451), mediante os testes realizados no transcorrer das atividades em campo, apresentou resultados compatíveis com os obtidos com o equipamento referência, Quanta-meter LI-COR (LI - 185A).

Sendo assim, o mesmo poderá ser utilizado em outras pesquisas limnológicas.

9. PERSPECTIVAS

O estudo comparativo da distribuição da radiação solar subaquática em diferentes ecossistemas, pode contribuir para o refinamento dos métodos de análise de impactos ou mesmo detecção de efeitos pontuais imediatos nos sistemas aquáticos, mediante suas respostas do ponto de vista óptico.

Estudos mais detalhados do espectro de absorção da água com espectrofotômetros, em diferentes sistemas aquáticos são também importantes do ponto de vista ecológico.

As perspectivas de pesquisa devem concentrar esforços na comparação de espectrogramas de sistemas naturais e artificiais em diferentes épocas do ano, e sua relação com o crescimento de diferentes populações de fitoplancton.

Algumas aplicações neste sentido podem ser citadas:

- No gerenciamento de reservatórios como indicador de poluição
- Na utilização da profundidade da zona eufótica para controle de florescimento de cianofíceas ou de macrófitas aquáticas submersas
- Na detecção de impactos a partir da bacia hidrográfica
- No controle de populações de macrófitas aquáticas submersas e perifiton

Os dados apresentados nesta tese podem ser úteis em estudos comparados de produtividade primária de ecossistemas aquáticos de águas interiores, principalmente àqueles relacionados com a comunidade fitoplanctônica, macrófitas submersas e perifiton.

BIBLIOGRAFIA

ALDRIDGE, F. J. et al. (1995). Relationships between light availability, chlorophyll a, and tripton in a large, shallow subtropical lake. *Limnology and Oceanography*, v.40, n.2, p.416-421.

ALEIXO, R. C. (1981). *Fatores ecológicos, concentração de clorofila a e feofitina em cinco lagos do Vale do rio Doce – MG: um estudo comparativo*. 220p. Dissertação (Mestrado) Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de São Carlos.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. (2002). Os recursos hídricos disponíveis. <http://www.ana.gov.br/Bacias/Amazonas/caracgeral/recursos> (18/06/2002)

_____. (2002).

A bacia. <http://www.ana.gov.br/Bacias/Tocantins/caracgeral/abacia/index.htm>. (04/06/2002)

_____. (2002). Caracterização fisiográfica da Bacia
<http://www.ana.gov.br/Bacias/Tocantins/caracgeral/caracterizacao/index.htm>. (04/06/2002)

_____. (2002). A flora e a fauna na região.
<http://www.ana.gov.br/Bacias/Tocantins/caracgeral/flora/index.htm> (04/06/2002)

_____. (2002). O Meio Sócio-Econômico
<http://www.ana.gov.br/Bacias/Tocantins/caracgeral/omeio/index.htm>. (04/06/2002)

_____. (2002). Situação Atual dos Recursos Hídricos
<http://www.ana.gov.br/Bacias/Tocantins/caracgeral/situacao/index.htm>. (04/06/2002)

_____. (2002). Os recursos hídricos disponíveis
<http://www.ana.gov.br/Bacias/Tocantins/caracgeral/osrecursos/index.htm>. (04/06/2002)

ANESIO, A M., et al. (1999). Decreased bacterial growth on vascular plant detritus due to photochemical modification. *Aquatic Microbial Ecology* v.17, p.159-165.

- ARMENGOL, J. et al. (1999). Longitudinal Process in Canyon type reservoirs: The case of Sau (N.E. Spain) in *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications* .J.G.Tundisi e M. Straskraba Editors. Internacional Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhys Publishers p.313-345.
- BARBOSA, F. A. R. (1979). *Produção primária e fatores ambientais na lagoa Carioca-Parque Florestal do rio Doce - MG*. 250p. Dissertação (Mestrado) Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de São Carlos.
- _____. (1997). The Importance of Diurnal Cycles for conservation and management of tropical waters: Examples from the Rio Doce Valley Lakes System. In *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.449-456.
- BARBOSA, F. A. R. et al. (1999). The Cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and this application to the river Tietê-basin, São Paulo State, Brazil. in *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications* .J.G.Tundisi e M. Straskraba Editors. Internacional Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhys Publishers p. 425-437.
- BRICAUD, A; STRAMSKI, D. (1990). Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea. *Limnology and Oceanography*, v.35, n.3, p.562-582.
- BUDDE, W. (1983). *Optical radiation measurements. Physical detectors of optical*. v.4, New York, Academic Press.
- BUKATA, R. P. et al. (1995). *Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters*. Flórida. CRC Press Inc.
- CALIJURI, M. C. (1985). *Curvas de luz-fotossíntese e fatores ecológicos em ecossistema artificial e não estratificado: Represa do Broa (Lobo), São Carlos, São Paulo*. São Carlos. 280p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos.
- _____. (1988). *Respostas fisiológicas da comunidade fitoplantônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*. São Carlos. 292p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

- CALIJURI, M. C. et al.(1989). Changes in light attenuation in fifteen lakes and its relationship with chlorophyll and particulate material, during summer and winter. *Limnological Studies in Rio Doce Valley Lakes Brazil* (3rd. Report) Water Research Institute, Nagoya University, Edited by Yatsuka Saijo e José Galízia Tundisi, p. 3-13, March.
- CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G. (1990). Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: mecanismo de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Rev. Bras. Biologia*, v.50, n.4, p.893-913, nov.
- CAMARGO, M. N.; BENNEMA, J.; SILVA, J. X. (1966). Solos in *Atlas Nacional do Brasil*. ed. IBGE.
- CESP. (1989). *Caracterização limnológica preliminar do reservatório da UHE Mário Lopes Leão-Promissão*. São Paulo : ARCL,. 45p. (Coleção Ecossistemas Aquáticos).
- _____. (1998). *Conservação e manejo nos reservatórios: limnologia, ictiologia e pesca*. São Paulo : CESP, 166p. (Série Divulgação e Informação).
- CETESB. (1993) *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 1992*. São Paulo : Secretaria do Meio Ambiente, (Série Relatórios/ Secretaria do Meio Ambiente).
- _____. (2000) *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 1999*. São Paulo : Secretaria do Meio Ambiente, (Série Relatórios/ Secretaria do Meio Ambiente).
- CITY BRASIL (2002). Dados Gerais. <http://www.citybrasil.com.br/am/geral.htm> (18/06/2002).
- COLE, G. A. (1979). *Text book of Limnology*. 2nd. Ed. The C. V. Mosby Company . St. Louis. p.426.
- CPTEC.INPE. (2003). Radiação Solar. http://www.3cpte.inpe.br/ensinop/radia_solar.htm (02/02/2003).
- DERENIAK, E. L.; CROWE, D. G. (1984). *Optical Radiation Detectors*, New York, John Wiley and Sons.
- De MEIS, M. R. M. (1977). As unidades morfoestratigráficas do médio Vale do rio Doce. *An. Acad. Bras. Ciênc.* v.49, n.3, p.443-459.

- DUBINSKY, Zvy & BERMAN, T. (1979). Seasonal changes in the spectral composition of downwelling irradiance in Lake Kinneret (Israel). *Limnology and Oceanography* v.24, n.4, p.652-663.
- EISBERG, R. M. (1974). *Fundamentos de Física Moderna*. Editorial Limusa, México.
- EISBERG, R. & RESNICK, R. (1985). *Quantum Physics of atoms, molecules, solids, nuclei and particles*, New York, John Wiley and Sons.
- ESPÍNDOLA, E. L. G. (1994). *Dinâmica da associação congênica das espécies de notodiaptomus (copeida, calanoida) no reservatório de Barra Bonita, São Paulo*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- ESTEVES, F.A. (1988). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência: FINEP, 575p.
- FEYNMAN, R. P. (1985). *The strange story of light and matter*. Princeton, N.J., Princeton Univ. Press.
- FIGUEIRAS, F. G., et al. (1999). Implications of bio-optical modeling of phytoplankton photosynthesis in Antarctic waters: further evidence of no light limitation in the Bransfield Strait. *Limnol. Oceanogr.* v. 44, n.7, p.1599-1608.
- FUKUARA, H. et al. (1997). Standing Crop of Zoobenthos in Lakes D. Helvécio and Jacaré. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.335-344.
- GEOCITIES, (2002).
A cidade do Sol. <http://www.geocities.com/SoHo/3114/natal.htm>.(03/06/2002).
- _____.(2003). Fotometria.
http://www.geocites.com/marcelo_para/fotometria.htm (02/02/2003).
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S. (1969). *Methods of Chemical Analysis of Fresh Waters*. Oxford and Edinburgh. International Biological Programme Blackwell Scientific Publications.

- GÜNTZEL, A. M. (2000). *Variações espaço-temporais da comunidade fitoplanctônica em reservatórios do Médio e Baixo Tietê/Paraná, SP*. São Carlos, 280p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.
- HENRY, R. et al. (1983). Response of the phytoplankton of a tropical reservoir (São Paulo, Brazil) to the enrichment with nitrate, phosphate and EDTA. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* v.68, n.6, p.853-862.
- _____. (1985). Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplankton in the Barra Bonita reservoir (State of São Paulo, Brazil). *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* v.70, n.4, p.561-573.
- _____. (1988). O conteúdo de calor e estabilidade em dois reservatórios com diferentes tempos de residência. In: Tundisi, J. G. (Ed.) *Limnologia e manejo de represas*. Vol. I, Tomo 1. ACIESP/EESC/USP, São Carlos, p.299-322.
- _____. (1997). A comparative study of Thermal Structure, heat content and stability of stratification in the three lakes. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.69-77.
- HENRRING, P. T. et al. (1990). *Light and life in the sea*. Cambridge. Great Britain by University Press.
- HUBBLE, D. S.; HARPER, D. M. (2001). Impact of light regimen and self-shading by algal cells on primary productivity in the water column of a shallow tropical lake (Naivasha, Kenya). *Lakes Reservoirs research and management*. International Lake Environment Comitee, v. 6, issue 2, jun. p.143-150.
- HUTCHINSON, G. E. (1967). *A treatise on limnology*, 2: Introduction to lake biology and limnoplankton. New York, John Willey & Sons, Inc. 1115p.
- IBGE. Região Sudeste do Brasil. (1980).
- _____. *Contagem da população*. Local : IBGE (1996).
- INVESTCO (2002). Estado do Tocantins.
http://www.investco.com.br/obra/ivobr_locmap.htm. (04/06/2002).
- IPT. (1981). *Mapa geológico do estado de São Paulo*. São Paulo : Divisão de Minas e Geologia Aplicada,. 2v. Mapa colorido. 92p. (Publicação IPT, no. 1183). Escala 1:500.000.

- JASSBY, A D. et al. (1999). Origins and scale temporal variability in the transparency of Lake Tahoe, California, Nevada. *Limnol. Oceanogr.* v.44, n.2, p.282-294.
- KIRK, J. T. O. (1977). Use of a quantameter to measure attenuation and underwater reflectance of photosynthetically active radiation in some inland and coastal south-eastern Australian waters. *Aust.Journal Mar. Freshwater Res.*v.28, p.9-21.
- _____. (1980). Spectral Absorption properties of natural waters:Contribution of Soluble and Particulate fractions to light absorption in some inland waters of South-eastern Australia. *Aust.Journ. mar. freshwater Res.*, n.31, p. 287-296.
- _____. (1983).*Light and Photosynthesis in aquátic ecosystems*. London, Cambridge University Press., 401p.
- MAGNOLI, D.; ARAUJO, R. (1996). *A nova geografia, estudos de geografia do Brasil*. São Paulo. Editora Moderna.
- MAMIRAUÁ : plano de manejo (1996). Brasília: SCM (Sociedade Civil Mamirauá); CNPq/MCT; Manaus: IPAM (Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas), 96p.
- MARGALEF, R. (1983).*Limnologia*. Barcelona, Ediciones Omega, S.A.
- _____. (1991). *Teoria dos Sistemas Ecológicos*. Barcelona. Universita de Barcelona.
- MATSUMURA-TUNDISI., et al. (1997). The ecological significance of the metalimnion in lakes of Middle rio Doce Valley. In *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.227-241.
- MITAMURA, O. ; HINO, K. (1997). Distribution of biochemical constituents in the waters. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.97-108.
- MITAMURA, O. et al. (1997). The significance of regenerated Nitrogen for phytoplankton productivity in Lakes D. Helvécio, Jacaré and Carioca. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia

- Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.141-153.
- MOED, J. R. & HALLEGRAEFF, G. M. (1978). Some problems in the estimation of chlorophyll-a and phaeopigments from pre-and postacidification spectrophotometric measurements. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* v.63, n.6, p.787-800.
- MOREIRA, V. A. (1987). *Iluminação e Fotometria – Teoria e Aplicação*, São Paulo, Edgar Blücher, 211p.
- MOREL, A.; SMITH, R. C. (1982). Terminology and units in optical oceanography. *Marine Geodesy*, v.5, n.4, p.334-349.
- MOSTAJIR, B. et al. (1999). Experimental test of the effect of ultraviolet-B radiation in a planktonic community. *Limnol. Oceanogr.* v.44, n.3, p.586-596.
- MOURA, J. R. S.; OLIVEIRA, P. T. M.; De MEIS, M. R. (1978). Insight into the morphometry of drowned valleys. *Brazilian Geogr. Studies*, 22p.
- NIMER, E. (1966). Clima in *Atlas Nacional do Brasil*, ed. IBGE.
- NUSCH, E. A. & PALME, G. (1975). Biologische methoden fur die praxis der gewasseruntersuchung. *Gws-Wasser Abwasser*, v.116, p.562-565.
- NUSCH, E. A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v.14, p.14-36.
- ODUM, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology*. 3.ed. USA, W. B. Saunders Company.
- OKANO, W. Y. (1980). *Padrão de migração vertical e flutuação sazonal das principais espécies de copepoda (crustácea) lo lago S. Helvécio, Parque Florestal do rio Doce - MG*.166p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos.
- PFLUGG, R. (1968). Das Uberschutlungsrelief des rio Doce, Brazilien. *Z.Geomorph.*v.3, n.12, p. 141-162.
- PFLUGG, R. (1969). Quaternary lakes of eastern Brasil. *Photogrametria.* v.24, p. 29-35.

- POOLE, H. H.; ATKINS, W. R. G. (1929). Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of the Marine Biological Association*, v.16, p.297-324.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL (2002). Planejamento e Controle Urbano. <http://www.natal.rn.gov.br/home/home.asp?Ret23>. (03/06/2002)
- REYNOLDS C. S., et al. (1997). On the Vertical Distribution of Phytoplankton in the Middle Rio Doce Vale Lakes. In *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.227-241.
- REIS PEREIRA, V. L.(2002). *A Limnologia e o gerenciamento integrado do reservatório da UHE “Luis Eduardo Magalhães”, Lajeado – Tocantins*. São Carlos. 262p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RIETZLER, A. C. (1995). *Alimentação, ciclo de vida e análise da coexistência de espécies e cyclopoida na Represa de Barra Bonita, SP*. São Carlos, 385p. Tese Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- RIETZLER, A. C. et al. (2002). Life cycle, feeding and adaptive strategy implications on the co-occurrence of *Argyrodiaptomus furcatus* and *Notodiaptomus iheringi* in Lobo-Broa reservoir (SP, Brazil). *Braz. J. Biol.*, v.62, n.1, p.93-105
- ROCHA, O. et al. (1997). A preliminary limnological characterization of low São Francisco river and reservoirs, extend abstract from the third Conference on Lakes, San Martin de Los Andes, Argentina.
- RODRIGUES, S. L. (1997). *Efeitos das variáveis ecológicas na disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática em ecossistemas artificiais (reservatórios de Barra Bonita e do Lobo)*. São Carlos. 218p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SAMNET (2002). Natal, a cidade do Sol. <http://www.samnet.com.br/natal/page04/nat.htm>. (04/06/2002).
- SMITH, R. C. (1980). The optical characterization of natural waters by means of an extinction coefficient. *Limnology and Oceanography*. v.13. p.423-429.

- STEEB, E. S. J. & FORSYTHE, W. F. (1967). Photometry and Illumination in *Handbook of Physics*, Condon, E.U., Odishaw H. 2^a Ed. MacGraw-Hill Book Company, E.U.A.
- STRAHLER, A.N. (1981). *Geografia física*. Barcelona : Omega, 767p.
- TALLING, J. F.; LEMOALLE J. (1998). *Ecological Dynamics of tropical inland waters*. Cambridge. United Kingdom at the University Press.
- TEIXEIRA, C. et al. (1965). Plankton studies in a mangrove II: the standing-stock and some ecological factors. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, São Paulo, v.24, p.23-41.
- TRAN, A. V; COLLINS, D. J. (1990). The incident solar irradiance at the sea surface. *Ocean Optics X*, Spinrad, Editor, Proc. SPIE 1302, p.443-553.
- TUNDISI, J. G. (1969). *Produção primária, "standing-stock" e fracionamento do fitoplâncton na Região Lagunar de Cananéia*. 131p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. (1976). Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. *Ciência e Cultura*, v. 28 n.8, p.864 - 887, agost.
- TUNDISI, J. G. et al. (1978). Estudos limnológicos no sistema de lagos do Parque Florestal do rio Doce, MG. Universidade Federal de São Carlos - DCB. Convênio CETEC-UFSCar, São Carlos, 45p.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (1981). Estudos limnológicos no sistema de lagos do médio rio Doce, Minas Gerais, Brasil. In: II SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 123. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Depto. Ciências Biológicas, UFSCar, 1980. *Anais*. São Carlos, p. 133-258.
- TUNDISI, J. G. (1983). A review of basic ecological processes interacting with production and standing-stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. *Rev. Hydrobiology* n. 100, p.223-243.
- TUNDISI, J. G. & MUSSARA, M. L. (1986). Morphometry of four lakes in the rio Doce Valley system and its relationships with primary production of phytoplankton. *Rev. Bras. Biol.*, v.46, n.1, p.159-171.
- TUNDISI, J. G. (1988). *Limnologia e manejo de represas*. São Paulo, ACIESP, Vol. 1. 2tomos (Série monografias em limnologia).

- TUNDISI, J. G. et al. (1988). Comparações do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: eutrofização e manejo. In: Tundisi, J. G. (Ed.) *Limnologia e manejo de represas*. (Série Monografias em Limnologia), Vol. I, Tomo 1, p.165-204.
- TUNDISI, J. G. et al. (1988). The Lobo (Broa) ecosystem study and reservoirs in Brazil. *Japan:UNCRD: ILEC; UNEP*, 27p.
- TUNDISI, J. G. (1990) Key factors of reservoir functioning and geographical aspects of reservoir limnology Chairman's overview. *Ergebnisse der Limnologie Advances in Limnology* Heft 33. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart p.645-646.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (1990). Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, S. Paulo State, Southern Brasil. *Ergebnisse der Limnologie Advances in limnology*. Helf 33. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart – p.661-676.
- TUNDISI, J. G. et al. (1993). Limnology and management of reservoirs in Brazil. In *Comparative Reservoir Limnology and Water quality Management*. M. Straskraba, J. G. Tundisi e A Duncan Editors., Printed in the Netherlands, p. 25-55.
- TUNDISI, J. G. (1990). Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em repesas: fatores limitantes e controladores. *Rev. Brasileira de Biologia*. v.50, p.937-955.
- _____. (1994). Ecosystem model for the Lobo (Broa) Reservoir (Brazil). *Wetlands and Shallow Continental Water Bodies*. Vol.2. Case Studies, p.217-234.
- TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y.; NAKAMOTO, N. (1997). Meteorological Environment in the Rio Doce Valley. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.51-56.
- TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y.; HENRY, R.; NAKAMOTO, N. (1997). Primary Productivity, Phytoplankton Biomass and Light Photosynthesis Responses in Four Lakes. *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Academia Brasileira de Ciências. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. p.199-225.

- TUNDISI, J. G.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; BRAGA B. (1998). Reservoir management in South America . *Water resources development*. v.14, n.2, p. 141-155.
- WETZEL, R. G. (1975). *Limnology*. W. B. Saunders Company. Philadelphia, Toronto. 743p.
- _____. (1981). *Limnologia*. Barcelona. Ed. Omega, 679p.
- WETZEL, R. G. . (2001). *Limnology – Lakes and River Ecosystems* 3rd. ed. California, Academic Press. A. Harcourt Science and Technology Compny
- WETZEL, R G. & LIKENS, G. E. (1991). *Limnological Analyses*. 2nd. . ed. New York, Springer-Verlag.
- YENTSCH, C. S. (1980). Light attenuation and phytoplankton photosynthesis. In: Morris, I. (ed.) *The physiological ecology of phytoplankton*. blackwell_Scientific Publ., v.99. p.95-127.