

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE ROSANA-S.P. PARA FINS DE
PISCICULTURA

POR

ELIANE MARTA QUIÑONES

Parecer

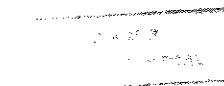
Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Eliane Marta Quiñones e aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de agosto de 1994.
Campinas, 15 de fevereiro de 1995.

Orientador :
Prof. Dr. Archimedes Perez Filho


Presidente da Banca

Dissertação apresentada como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola: área de concentração Água e Solo

Campinas - SP
Agosto - 1994



AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à Faculdade de Engenharia Agrícola a oportunidade de desenvolver esta dissertação. Ao professor Archimedes Perez Filho, orientador, pelo apoio, condução da pesquisa, compreensão e companheirismo.

Agradeço também a participação da equipe da CESP, das técnicas de laboratório desta Faculdade, Rosa e Angélica, ao Departamento de Água e Solo, que prestaram contribuições fundamentais, sem as quais não teria sido possível a realização do trabalho a contento.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo fornecimento de bolsas de mestrado e apoio ao projeto.

Agradeço àqueles que de alguma forma colaboraram na elaboração desta dissertação, especialmente aos professores Espíndola, Jansle, Durval, Gilberto, Hilton, Roberto, à Dona Daura, às secretárias Aninha, Mara, Suzi e Rose, aos funcionários do LABIN (Edgar e Clóvis), e aos amigos Daniella, Rubens, Edinaldo, Jurandir, Luíz Fernando, Regina, Denise, Júnior, Paulo Sérgio, e Paulo Ricardo.

Agradeço ainda àquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram desde os trabalhos de coleta de dados até a redação do relatório final.

Agradeço a Deus pela vida.

AS DIFICULDADES EXISTEM, NÃO PARA FAZER O SER HUMANO SOFRER, MAS
PARA DESENVOLVER NELE A CAPACIDADE DE SUPERÁ-LAS.

SEICHO-NO-IE

DEDICO

ao meu marido,

LUÍZ ROBERTO BRÁZ,

pelo seu amor, carinho,

incentivo e compreensão

nos momentos mais difíceis

e nos mais felizes também.

SUMÁRIO

	PÁGINA
AGRADECIMENTOS	i
SUMÁRIO	iii
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	viii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1 Imagens Orbitais	05
2.2 Correções atmosféricas e geométricas	07
2.3 Comportamento espectral da água	10
2.4 Estudos realizados em reservatórios	12
2.5 Características Físicas, Químicas e Biológicas da Água ..	16
2.6 Impactos de obras Hidráulicas sobre a Qualidade da Água ..	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Amostragem	28
3.2 Parâmetros analisados	30
3.3 Aquisição de dados orbitais	32
3.4 Testes estatísticos	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5 CONCLUSÕES	49

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
7 ANEXO	55
8 APÊNDICE	78
9 ABSTRACT	91

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
01	Largura das bandas do Mapeador Temático-TM..... 33
02	Dados de campo coletados em 30/03/93..... 56
03	Análise estatística das amostras coletadas em 30/03/93.. 57
04	Teste de t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida na três profundidades em 30/03/93..... 57
05	Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 30/03/93..... 58
06	Profundidade efetiva das amostras coletadas em 30/03/93. 59
07	Dados de campo coletados em 18/06/93..... 60
08	Análise estatística das amostras coletadas em 18/06/93.. 61
09	Teste de t-student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 18/06/93..... 61
10	Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 18/06/93..... 62
11	Profundidade efetiva das amostras coletadas em 18/06/93. 63
12	Dados de campo coletados em 05/08/93..... 64
13	Análise estatística das amostras coletadas em 05/08/93.. 65
14	Teste de t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 05/08/93..... 65
15	Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 05/08/93..... 66

Tabela	Página
16	Profundidade efetiva das amostras coletadas em 05/08/93. 67
17	Dados de campo coletados em 09/11/93..... 68
18	Análise estatística das amostras coletadas em 09/11/93.. 69
19	Teste de t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 09/11/93..... 69
20	Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 09/11/93..... 70
21	Dados orbitais na imagem TM/LANDSAT de 09/11/93..... 70
22	Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água e dos dados orbitais de 09/11/93..... 71
23	Análise de regressão múltipla entre as variáveis medidas na água e as variáveis orbitais de 09/11/93..... 71
24	Profundidade efetiva das amostras coletadas em 09/11/93. 72
25	Dados de campo coletados em 01/03/94..... 73
26	Análise estatística das amostras coletadas em 01/03/94.. 74
27	Teste de t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 01/03/94..... 74
28	Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 01/03/94..... 75
29	Profundidade efetiva das amostras em 01/03/94..... 76
30	Teste de t-Student para sólidos, clorofila e Secchi entre as datas (30/03 e 09/11/93; 18/06 e 09/11/93; 05/08 e 09/11/93; 01/03/94 e 09/11/93)..... 77

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Temperatura superficial da represa.....	79
02	Temperatura do meio da represa.....	80
03	Temperatura do fundo da represa.....	81
04	pH da superfície da represa.....	82
05	pH do meio da represa.....	83
06	pH do fundo da represa.....	84
07	Profundidade Secchi da represa.....	85
08	Teor de sólidos em suspensão na represa.....	86
09	Concentração de clorofila na represa.....	87
10	Profundidade efetiva da represa.....	88
11	Vista aérea da represa de Rosana-S.P.....	89
12	Amostragem na represa de Rosana-S.P.....	90

RESUMO

O projeto "Qualidade de Água na Represa de Rosana - S.P., para fins de piscicultura" foi concebido com o objetivo de verificar a possibilidade de desenvolver uma metodologia de aplicação de sensoriamento remoto orbital ao monitoramento da qualidade da água, utilizando como parâmetros a profundidade Secchi, o total de sólidos em suspensão e a concentração de clorofila, comparando-os com os dados orbitais do satélite TM - LANDSAT-5. A coleta em campo foi realizada concordante com a obtenção da imagem orbital, obtendo-se medidas referentes à temperatura e ao pH em três profundidades (superfície, meio e fundo da represa), determinados no local da coleta, juntamente com a profundidade Secchi. Nos laboratórios foram determinados a concentração de clorofila e o total de sólidos em suspensão. A imagem TM-LANDSAT-5 foi analisada e, o nível de cinza extraído das bandas foi correlacionado com alguns parâmetros medidos na água, como o teor de sólidos em suspensão, a profundidade Secchi e a concentração de clorofila. Os resultados mostraram que o aumento do teor de clorofila e dos sólidos em suspensão diminuíram o valor da profundidade Secchi. Em relação ao pH, a variação esteve entre 6 e 8. Foram observados altos níveis de correlação entre os dados orbitais e alguns parâmetros medidos na água.

1 INTRODUÇÃO

A demanda de energia vem incentivando o incremento da construção de grandes reservatórios de acumulação de água para fins hidrelétricos. Esses prestam-se não somente à geração de energia, mas também ao abastecimento, ao lazer e à pesca. O desenvolvimento da pesca em reservatórios artificiais pode propiciar excelente fonte de proteínas para as populações da região.

Na transformação do rio em represa a água tem sua velocidade de fluxo muito reduzida, passando a apresentar acentuados gradientes verticais de temperatura, pH e outros parâmetros de qualidade de água, como, por exemplo, concentração de clorofila e sólidos suspensos.

A construção de barragens rompe o equilíbrio natural existente na região, modificando o ambiente e sofrendo as conseqüências dessa mudança.

Assim, as represas estão sujeitas a se tornarem depósitos de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, implicando num enriquecimento do reservatório, e conseqüentemente um aumento da produção primária do fitoplâncton, diminuindo assim a penetração de luz. Também pode-se acumular substâncias tóxicas, como agrotóxicos, que, dependendo de sua concentração, podem causar a mortandade dos peixes, em geral, trazidas pela rede de drenagem natural

(afluentes), que podem acarretar sérios problemas à qualidade da água, principalmente para a criação de peixes. A primeira consequência do represamento é a tendência de desaparecimento de algumas espécies, como o dourado (*Salminus maxillosus*), o pacu (*Nyloplus astérios*), o pintado (*Pseudoplatystoma* sp), impedindo-os de realizar migrações reprodutivas que garantem sua sobrevivência (MESCHKAT, 1975).

Ao mesmo tempo, as novas condições ecológicas favorecem a proliferação de espécies lânticas, não tão apreciáveis como a pirambela (*Pygocentrus piraya*) e a traíra (*Hoplias malabaricus malabaricus*), que tendem a se constituir em populações dominantes. O predomínio destas espécies predadoras resultará inevitavelmente, na deterioração qualitativa e quantitativa da produtividade biótica das grandes coleções de água.

O principal fator que pode afetar a utilização e a vida útil dos reservatórios é a erosão, pois o material erodido é transportado e depositado, dando início ao processo de assoreamento.

A erosão do solo pode provocar poluição e obstrução dos corpos d'água. Ela varia a cada precipitação, de acordo com a quantidade e intensidade das chuvas, com as condições do solo e com a cobertura vegetal e/ou práticas de manejo agrícola. Os sólidos removidos de uma bacia hidrográfica, durante uma precipitação intensa, podem se depositar ao longo do canal fluvial, aí permanecendo até que outra instabilidade no sistema provoque seu transporte mais a jusante.

Todos os rios transportam certa quantidade de matéria sólida, seja em suspensão, seja com o arrastamento de sólidos de maior porte, junto às margens laterais do canal. As águas carregadas de sólidos, ao alcançarem os reservatórios, têm sua velocidade e turbulência muito reduzidas, sendo que as partículas maiores e a maior parte das transportadas, por arrastamento, depositam-se na entrada do reservatório. As partículas menores permanecem em suspensão por mais tempo e se depositam, ainda, no reservatório, porém mais a jusante, embora as partículas muito pequenas (coloidais) possam permanecer em suspensão por muito tempo, podendo mesmo, algumas, transpor a barragem.

A eutrofização é um processo natural de enriquecimento de lagos, represas ou rios, em consequência de um aumento de nutrientes na água, especialmente nitrogênio e fósforo. Ela favorece o aumento da fração orgânica do total de sólidos em suspensão, e o processo erosivo gera modificações, de modo específico, nas propriedades óticas da água, sendo passível de detecção através da técnica de sensoriamento remoto (BRANCO et al, 1991). Desse modo, um acompanhamento da dinâmica das "plumas" de sólidos pode ser observado, bem como a concentração de biomassa de algas detectada através dos pigmentos fotossintetizadores do fitoplâncton, em diferentes respostas espectrais, que os diferentes complexos água-sólido apresentam na faixa do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético.

Esta pesquisa decorreu da possibilidade de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da qualidade da água na represa de Rosana.

Os objetivos específicos foram:

1- Obter, na região de estudo, amostras de água para determinar o teor de sólidos em suspensão, profundidade Secchi e concentração de clorofila, simultaneamente com imagem do satélite LANDSAT-TM.

2- Obter na imagem LANDSAT-TM tratada os valores digitais de nível de cinza para áreas correspondentes àquelas da coleta de dados de campo.

3- Coletar amostras de água para determinar temperatura e pH, em três profundidades para verificar a existência de gradientes verticais.

4- Realizar testes de correlação entre os conjuntos de dados relativos aos parâmetros medidos na água.

5- Realizar testes de correlação entre os conjuntos de dados relativos aos parâmetros medidos na água e o conjunto de valores digitais obtidos da imagem.

6- Indicar se os parâmetros medidos na água mostram-se apropriados ao monitoramento da água neste reservatório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMAGENS ORBITAIS

Imagens de satélites têm sido muito empregadas nos últimos anos no estudo das características espectrais de alvos na superfície da Terra, dos quais destacam-se os obtidos nos corpos d'água. Dentre os satélites mais utilizados, encontram-se os da série LANDSAT que, desde 1972, vêm obtendo imagens periódicas da superfície da terra.

Atualmente, o LANDSAT 5 traz inovações quando comparados aos seus predecessores, com relação ao seu desempenho espacial, destacando-se os equipamentos de imageamento: Mapeador Temático (TM) e Mapeador Multiespectral (MSS). O termo multi refere-se ao uso de imagens de diferentes bandas do espectro, fato que permite a obtenção de uma maior quantidade das imagens do que se as mesmas tivessem sido usadas isoladamente e individualmente.

O sensor TM é um sistema avançado de varredura multiespectral, para proporcionar resolução espacial mais fina, melhor discriminação espectral entre objetos de superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e maior precisão radiométrica em relação ao sensor MSS (NOVO,1989).

A principal vantagem do uso desses sistemas reside na

capacidade de obtenção de informações, com características sinóptica sobre grandes áreas, e na possibilidade de uma análise regional do fenômeno.

A disponibilidade de dados do sensor Thematic Mapper propiciou um recrudescimento de pesquisas voltadas à avaliação do potencial da nova tecnologia, no fornecimento de informações sobre sistemas aquáticos. A metodologia utilizada consiste, em geral, na coleta de dados simultaneamente à passagem do satélite e no desenvolvimento de modelos empíricos, a partir de técnicas de estatísticas multivariada.

Uma das restrições na atividade de sensoriamento remoto orbital é a presença de nuvens, especialmente no período chuvoso, dificultando, ou mesmo impedindo, a obtenção de dados sobre a superfície terrestre. Para minimizar este problema podem-se utilizar sistemas fotográficos a bordo de aeronave, o que permite uma maior flexibilidade, quando comparado ao satélite LANDSAT, que passa sobre uma mesma área a cada 16 dias, num horário pré-determinado.

O sensoriamento remoto utiliza basicamente dados de medidas radiométricas, referentes a interações entre energia e matéria, em geral determinadas pela intensidade de resposta do alvo, em termos de reflectância ou radiância por intervalo de comprimento de onda. Tais interações ocorrem tanto ao nível macroscópico, quando são controladas pelas propriedades geométricas do objeto, quanto aos níveis atômicos e moleculares, quando são relacionadas com sua composição química (ROLIM et al, 1990). A maioria das pesquisas

relaciona os dados sinópticos ao estudo da circulação superficial, tendo o material em suspensão como traçador natural (HERZ, 1977).

As imagens LANDSAT, quando obtidas simultaneamente com amostragem "in situ", possibilitam obter modelos de correlação entre os níveis digitais e os dados ambientais, (MENDES et al,1989). A obtenção de dados de grandes áreas, de forma rotineira e a custos inferiores, com relação aos métodos convencionais, limita a necessidade de amostragens "in situ" a um número adequado de pontos, segundo HARTMANN et al (1990).

2.2 CORREÇÕES ATMOSFÉRICAS E GEOMÉTRICAS

Os fatores atmosféricos afetam a radiância medida pelo sensor, de dois modos: a) modificando a qualidade e quantidade de energia que atinge a superfície da água; b) modificando a qualidade e quantidade de energia que atinge o sensor após interagir com a superfície da água.

Como fatores atmosféricos destacam-se a profundidade ótica da atmosfera, o "range" visual e a porcentagem de energia espalhada pela atmosfera. A profundidade ótica da atmosfera depende do tipo e da quantidade de partículas nela presentes. O tipo de partículas presente na atmosfera afeta a forma da função de espalhamento atmosférico. Quanto mais absorvedora a partícula, mais isotrópico é o espalhamento (CURRAN & NOVO 1988).

A turbidez atmosférica, que é função da concentração de partículas de aerossol, é o maior fator causador de variabilidade na radiância medida por um satélite nos comprimentos de onda da luz

visível e infravermelho próximo. A variabilidade na radiância, causada pelos outros constituintes óticamente ativos na atmosfera (ozônio, vapor d'água e moléculas de ar), é comparativamente pequena nesta faixa do espectro. Dados fornecidos por MOORE (1977) indicam que, em algumas circunstâncias 95% do sinal detectado pelo sensor MSS/LANDSAT referem-se à contribuição da atmosfera.

A radiância, que atinge o detector de um instrumento de sensoriamento remoto, consiste de 80 a 95% da radiância retroespalhada presente na atmosfera, e de apenas 5 a 20% devidos à radiância emergente do corpo d'água.

A porcentagem de radiância da água aumenta para 2% na faixa de 0,4 a 0,5 μm quando as medidas são feitas por um radiômetro colocado a 150 metros da superfície e para 10% quando o radiômetro for colocado a 3050 metros. Essa variação na porcentagem de energia refletida representa a contribuição de radiância da atmosfera (ou radiância de trajetória) entre 150 e 3050 metros.

A correção atmosférica tem como objetivo reduzir o efeito da interferência da atmosfera sobre os valores de nível de cinza registrados em uma dada cena. Como a atmosfera afeta o sinal registrado pelos detectores a bordo de satélites e aeronaves, é desejável que os dados originais sejam submetidos à correção atmosférica antes de serem analisados.

Segundo NOVO (1989), os métodos mais sofisticados baseiam-se na teoria da transferência radiativa e usam programas para o cálculo de transmitância atmosférica. Esses métodos apresentam, também certas desvantagens no tocante ao tempo computacional,

dependendo dos cálculos.

Alguns métodos de correção atmosférica baseiam-se em aproximações para o efeito atmosférico e admitem alguma generalizações, tais como:

- isotropia do campo de radiação
- homogeneidade da atmosfera
- constância do ângulo de incidência de radiação

Existem alguns métodos simplificados de correção atmosférica, porém de baixa precisão. Uma das técnicas baseia-se na suposição de que a interferência da atmosfera é aditiva, ou seja, há uma radiância de trajetória, devido ao espalhamento, que é "adicionada" ao sinal proveniente do alvo. Como o efeito do espalhamento atmosférico decresce com o aumento do comprimento de onda, este método utiliza regiões de sombreamento ou de lagos com água limpa para determinar a grandeza do sinal adicionado à imagem. Teoricamente, a radiância de uma região de sombra ou de um lago de águas límpidas deve ser nula. Portanto, o que estiver registrado acima de zero deverá ser atribuído à atmosfera. Os valores de nível de cinza diferentes de zero relacionados a essas áreas são, então, subtraídos para toda a cena.

Outro método prático consiste na análise dos histogramas com a distribuição de níveis de cinza da cena. Neste método assume-se que o valor mínimo de nível de cinza identificado em cada banda representa o efeito aditivo da atmosfera.

Há ainda o método de correlação entre canais, onde se assume que entre dois canais altamente correlacionados a equação da reta

de melhor ajuste deveria passar pela origem, caso não houvesse o efeito aditivo da atmosfera. Devido a este efeito, a reta corta o eixo y em algum ponto maior que zero. O valor do ponto de intercepção representaria, dessa maneira, o valor adicionado ao sinal naquela dada banda. Este valor do termo constante da equação da reta é, então, subtraído na banda considerada.

MORAN et al (1991) conduziram um teste para verificar os diversos procedimentos para correção atmosférica, incluindo quatro modelos de transferência radiativa (RTC - Radiative Transfer Code) e subtração de objetos escuros (DOS - Dark Object Subtraction) para verificar os fatores de reflectância na superfície dos dados do LANDSAT-TM no espectro visível e infravermelho próximo. A técnica de subtração de objetos escuros é o método menos preciso, produzindo no espectro infra-vermelho próximo um erro muito maior que a não correção atmosférica.

As imagens devem ser corrigidas geometricamente e projetadas num mapa padrão. Modelos orbitais dos satélites devem ser utilizados para a primeira correção. Se distorções persistirem, quando da comparação entre imagens seqüenciais, as mesmas podem ser minimizadas pela aplicação de uma transformação polinomial. A minimização dessas distorções é importantíssima, visto que o campo de velocidades é diretamente dependente da precisão das correções geométricas, (GARCIA, 1990).

2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA

A água é praticamente transparente à radiação eletromagnética na região do espectro visível na faixa de 0,4 a 0,6 μ m (HERZ,1977). A transparência relativamente alta da água, na parte visível e ultravioleta do espectro, varia com o comprimento de onda. O conhecimento dos mecanismos que regem a interação dessa radiação com a água pura é fundamental para a determinação dos coeficientes de atenuação em águas túrbidas.

O espalhamento da energia eletromagnética na água ocorre, basicamente, por meio de três fenômenos físicos: difração, refração e reflexão. Deve-se considerar, no entanto, dois casos distintos de espalhamento: um causado pela própria água e outro pelas partículas em suspensão, sendo este último responsável pelo maior número de variações produzidas no comportamento espectral do alvo (JERLOV & NIELSON, 1968).

Segundo KLOOSTER & SCHERZ (1974), a turbidez é uma propriedade ótica relacionada à luz espalhada pelo material em suspensão, e não com as substâncias dissolvidas, depende do comprimento de onda utilizado, do tamanho e da forma das partículas em suspensão.

Ao estudarem a interação da luz solar com a água, DUNTLEY (1963) e JERLOV & NIELSON (1968) puderam constatar que a atenuação é o resultado da combinação da ação do espalhamento com o da absorção, e que estes determinam o processo de propagação da luz na água.

A radiação solar refletida da superfície da água varia com o total de sólidos em suspensão e com o comprimento de onda. Em geral, a radiação solar refletida entre 450-900nm aumenta com a

elevação da concentração de sólidos. A região de máxima radiação solar refletida está ao redor de 500nm, para baixa concentração de sólidos em suspensão e acima de 600nm para alta concentração de sólidos em suspensão (RITCHIE et al, 1976). Resultados semelhantes foram encontrados em NOVO et al (1990), em um experimento laboratorial, onde determinaram a reflectância da água produzida pela simulação de diferentes concentrações de sólidos em suspensão. Os resultados mostraram uma correlação linear entre a reflectância espectral da água e a concentração de sólidos em suspensão.

2.4 ESTUDOS REALIZADOS EM RESERVATÓRIOS

Há vários anos técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo buscadas em estudos de qualidade da água KLEMAS & POLIS (1977), em razão das dificuldades de ser avaliada por métodos convencionais.

Tais técnicas, a nível orbital, possibilitam a obtenção de informações a um custo mais reduzido, pelas suas características de visão sinóptica, repetitividade, além da compreensão das interações entre o sistema aquático e a região circundante.

Segundo CURRAN & NOVO (1988), para realizar o monitoramento da qualidade da água através de medidas de sensoriamento remoto é necessário isolar e quantificar todos os fatores que influem no sinal do mesmo, visto que a diferenciada capacidade de interação da radiação eletromagnética, com os vários componentes da coluna de água (sólidos, clorofila), são dependentes das propriedades óticas inerentes a estes, bem como das próprias moléculas da água.

Wezernak & Polcyn, citados em NOVO (1989), levantaram uma

série de indicadores do estado eutrófico de lagos passíveis de serem monitorados. Dentre eles, destacam-se: a) presença de algas e plantas aquáticas; b) quantidade de sólidos em suspensão; c) níveis de clorofila; d) transparência. Tais parâmetros alteram a coloração da água, detectada através de dados de sensoriamento remoto.

Para verificarem a afinidade de dados digitais MSS e TM com os parâmetros (sólidos em suspensão, clorofila e temperatura), no Lago Moon, Mississippi, RITCHIE et al (1990) notaram que não houve diferença significativa nas correlações entre os dados do MSS ou TM com os dados superficiais de sólidos em suspensão. A vantagem de se usar dados do sensor MSS seria a habilidade em monitorar grandes áreas com dados significativamente menores; a vantagem de se utilizar dados do sensor TM seria a habilidade em monitorar lagos menores e reservatórios. Deste modo, na escolha do sensor LANDSAT, para correlacionar com os dados de campo obtidos, deve-se considerar qual o tamanho do lago ou reservatório. A banda termal do sensor TM apresentou-se altamente correlacionada com dados de temperatura obtido no campo. Quanto à concentração de clorofila, os autores concluíram que os sensores (TM e MSS) não apresentam alta correlação com essa concentração medida no campo.

CHESHIRE et al (1991), ao estudarem a qualidade da água na Baía Augusta (Itália), obtiveram bons resultados de correlação entre os dados orbitais do satélite LANDSAT-TM com os três parâmetros medidos no campo(teor de sólidos em suspensão, temperatura e concentração de clorofila).

Estudos realizados por RITCHIE et al (1976), a partir de dados espectro-radiométricos de campo, indicaram uma alta correlação entre a concentração de sólidos em suspensão e a energia refletida da água. Segundo os autores, a região entre 700 e 800nm apresenta correlações mais estáveis com a concentração de sólidos em suspensão na água.

Parâmetros ambientais de qualidade da água das lagoas do Rio Grande do Sul foram investigados "in loco" e comparados às imagens do TM/LANDSAT. SILVA & HARTMANN (1990) observaram que os parâmetros responsáveis pela resposta espectral das lagoas estavam relacionados à granulometria e à concentração de sólidos em suspensão, bem como às altas concentrações de material orgânico em suspensão, principalmente os dissolvidos.

SCHIEBE et al (1984) fizeram uma comparação entre dados de campo, coletados no lago Chicot (Arkansas), e dados do LANDSAT-TM de 23/09/1984. Uma análise preliminar dos dados mostrou que o sensor TM pode ser útil no monitoramento de sólidos em suspensão e de clorofila, em lagos com grande quantidade de sólidos em suspensão. A banda 3 pareceu ser a mais útil, e as bandas 1, 2 e 4 também contiveram informações relativas a sólidos em suspensão.

Na Baía de São Francisco, KHORRAM (1985) concluiu que as áreas contendo intensa atividade biológica são completamente distinguíveis em dados digitais do LANDSAT. Essas áreas são caracterizadas pela alta turbidez, alto teor de sólidos em suspensão e alto teor de clorofila-a.

YARGER et al (1973), estudando dois reservatórios no Kansas,

realizaram dez amostragens de água em cada reservatório, durante cada passagem do LANDSAT livre de nuvens. Essas amostras foram analisadas para concentração de sólidos dissolvidos e suspensos orgânicos, clorofila, potássio, fosfato e íons nitrato. Foram também tomadas medidas de disco de Secchi e temperatura em cada estação de amostragem. Esses pesquisadores puderam constatar que as imagens de satélites podem ser úteis para a aquisição de dados de qualidade de água, de uma forma rápida e de baixo custo, facilitando, assim, o gerenciamento desses corpos de água.

LATHROP & LILLESAND (1986), utilizando LANDSAT-TM para avaliar a qualidade da água, na Baía Green e no Lago Central Michigan, observaram que dados do satélite TM, coletados simultaneamente com dados de campo, apresentaram correspondências altamente significativas entre os dados orbitais e os dados de campo (profundidade Secchi, concentração de clorofila-a e temperatura superficial).

Em estudos, no reservatório de Três Marias, SAUSEN (1981) utilizou imagens LANDSAT nos períodos seco e chuvoso, uma vez que esse reservatório está em região de clima tropical e as substâncias presentes no corpo da água mudaram em função da sazonalidade. Foram coletados, também, dados de profundidade Secchi e reflectância da água "in situ", em períodos coincidentes com as passagens do satélite, constatando-se que as imagens do sistema LANDSAT são úteis para o monitoramento do comportamento das concentrações de sólidos em suspensão em reservatórios; foi também possível, a partir dos níveis de cinza e profundidade Secchi, elaborar mapas

semi-quantitativos dessas concentrações; constatou-se ainda que os dados mais confiáveis são aqueles coletados no dia da passagem do satélite.

2.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DA ÁGUA

O homem é capaz de perceber alterações na qualidade da água através de seus sentidos, a partir da água pura que é sem cor, sem cheiro e translúcida. Na natureza, usualmente ela pode possuir cor, devida, principalmente, à existência de material orgânico no ambiente. Por este motivo, as águas superficiais estão mais sujeitas a cores do que as águas subterrâneas. Além disso, a cor pode ser devida à presença de alguns íons metálicos, como ferro e manganês, como ainda por efeito de plâncton, macrófitas e despejos industriais.

Águas superficiais podem parecer ter determinada cor em decorrência de materiais em suspensão. Esta coloração é dita aparente, porque é como o ser humano a vê, mas é na verdade, em parte, resultado da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão. A cor dita verdadeira ou real é causada por materiais dissolvidos e por colóides. A diferenciação entre a cor verdadeira e a cor aparente, que é adicionada pela turbidez, é função do tamanho das partículas, podendo-se generalizar, que com diâmetro superior a $1,2\mu\text{m}$, as partículas causam turbidez. Assim, a turbidez é a alteração da penetração da luz, provocada por plâncton, bactérias, argila e silte em suspensão, fontes de poluição que adicionam materiais finos e outros (SCHWEBEL et al, 1973). A

absorção da luz abaixo da superfície ocorre de forma exponencial, tipificada pelo coeficiente de extinção, que depende da turbidez e que varia substancialmente de reservatório para reservatório.

Para se medir a turbidez é utilizado um disco circular preto e branco o qual é baixado na água até o ponto a partir do qual o disco torne-se imperceptível ao olho humano. A distância entre esse ponto e a superfície da água é a profundidade Secchi no local (PICHARD, 1963). Esta profundidade decresce à medida que o coeficiente de absorção da água aumenta, estando relacionada linearmente com as concentrações de sólidos em suspensão (RITCHIE et al, 1976). A profundidade Secchi proporciona uma estimativa do coeficiente de atenuação da água.

YARGER et al (1973) constataram que o início da profundidade Secchi (ou $1/\text{profundidade de penetração da luz solar}$) está linearmente relacionado com o teor de sólidos em suspensão.

Um outro parâmetro indicativo da qualidade da água é a presença de sólidos, podendo contribuir na modificação do formato do espectro de absorção total ou de reflexão da luz no espectro do visível, originando, por consequência, variações na cor do corpo d'água (JERLOV & NIELSON, 1974).

Sólidos na água podem ser classificados de acordo com seu tamanho e suas características químicas. Quanto ao tamanho, podem ser classificados em sedimentáveis, em suspensão, colóides e dissolvidos. Na prática a classificação é feita separando os sólidos apenas em dois grupos: em suspensão e dissolvidos. Os sólidos em suspensão dividem-se em sedimentáveis e não

sedimentáveis. Sólidos sedimentáveis são aqueles que se depositam quando se deixa a amostra de água em repouso durante certo tempo (em geral, uma hora). Os sólidos dissolvidos incluem os colóides e os efetivamente dissolvidos. A separação entre sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos é realizada utilizando uma membrana filtrante de poros de 1,2µm. (BRANCO et al 1991). Qualquer partícula que passe é considerada dissolvida e aquela que fica retida é considerada em suspensão (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Quanto à caracterização química, os sólidos podem ser classificados em voláteis e fixos. Sólidos voláteis são aqueles que se volatilizam a temperaturas inferiores a 650°C. É impreciso caracterizar esses sólidos voláteis como orgânicos, pois existem alguns sais minerais que também se volatilizam a essas temperaturas (BRANCO et al, 1991).

Segundo RITCHIE et al (1987), os sólidos em suspensão afetam a qualidade da água, a produção primária, a produção de peixes e o valor estético do ecossistema aquático. Em um experimento realizado no Lago Moon em Mississipi esses autores concluíram que dados espectrais do satélite LANDSAT podem ser usados para localizar e monitorar o teor de sólidos em suspensão na superfície presente, em ecossistemas aquáticos.

Os sólidos em suspensão aumentam a turbidez, prejudicando aspectos estéticos da água e a produtividade do ecossistema, pela diminuição da penetração da luz.

A concentração de clorofila é o principal parâmetro para medir o grau de eutrofização em corpos d'água. Além de afetar a turbidez

da água, é considerada um indicador do enriquecimento de um lago ou reservatório. Esse enriquecimento é consequência de nutrientes na água (especialmente nitrogênio e fósforo) devido à maior produção primária do fitoplâncton.

Como indicadores de eutrofização pode-se observar, num corpo d'água, um aumento na concentração de sólidos em suspensão, especialmente matéria orgânica e uma pequena diminuição da penetração de luz (BRANCO et al, 1991).

A principal manifestação da eutrofização pode ser verificada pelo aumento da produtividade e/ou da vegetação aquática superior. Tal fenômeno manifesta-se nos meses de primavera-verão, através de uma elevada produção primária, com típicas florações de algas, que conferem às águas uma coloração característica. Esse aumento de produtividade altera as propriedades óticas da massa de água a nível de reflectância, chegando mesmo a alterar sua transmitância.

O nível de eutrofização pode ser definido como uma combinação linear dos indicadores de eutrofização (clorofila, sólidos em suspensão).

O aumento da concentração de clorofila e pigmentos determina alterações significativas no espectro de energia refletida da água. A reflectância máxima de águas oceânicas, com baixa concentração de clorofila, ocorre na região do azul, em decorrência do retroespalhamento pela água. O aumento da concentração de clorofila determina uma redução da reflectância na região do azul e um aumento da reflectância da água na região do verde. Esse efeito do fitoplâncton sobre a reflectância da água tem sido utilizado no

desenvolvimento de algoritmos, que permitem estimar a concentração de clorofila a partir da radiância espectral da água, medida por sensores orbitais (NOVO & BRAGA, 1991).

A radiância ascendente do volume de água é governada pelos seus componentes. As substâncias opticamente importantes no estudo da água foram classificadas em quatro categorias por BRICAUD & SATHYENDRANATH (1981): fitoplâncton; substâncias e particulados que covariam ou estão associados ao fitoplâncton; partículas inorgânicas e de origem terrestre; matéria orgânica dispersa.

A forma como tais componentes covariam no interior do volume da água tem sido reconhecida como um dos principais fatores que explicam a variabilidade e a inconsistência dos diferentes algoritmos, desenvolvidos para estimar o teor de sólidos em suspensão, através de dados de sensoriamento remoto. Dados fornecidos por KORRAM (1981) e KORRAM (1985) mostram, por exemplo, que o coeficiente de correlação entre teor de sólidos em suspensão e concentração de clorofila varia de -0,23 a 0,65. Tal covariação afeta a estimativa de sólidos em suspensão na água, na medida em que a presença de clorofila pode ter um efeito oposto ao dos sólidos em suspensão. Assim, num local com alta correlação entre sólidos em suspensão e clorofila, com o aumento da concentração de sólidos em suspensão, poderá não haver a mesma variação na intensidade da energia retroespalhada, pois parte da energia que atinge a água será absorvida pela crescente concentração de clorofila. Isso ocorre até um ponto em que a turbidez da água pode passar a representar um fator limitante ao desenvolvimento do

fitoplâncton. Tais considerações, entretanto, são apenas válidas em função do próprio "range" de variação das concentrações e do nível dessas concentrações.

Um dos parâmetros físicos mais importante para avaliar a qualidade da água é a temperatura, influenciando todos os aspectos da vida dos organismos aquáticos (crescimento, desova, alimentação), a quantidade de oxigênio dissolvido e a ação de certos compostos dissolvidos.

A distribuição da temperatura na água não é uniforme, variando tanto de um reservatório para outro, como a diferentes profundidades, com características próprias em cada reservatório e em cada época do ano.

Geralmente a temperatura diminui com a profundidade. A diminuição de temperatura, desde a superfície até as camadas imediatamente inferiores, é mais ou menos rápida. A seguir, em poucos metros de profundidade há uma diminuição brusca e ao chegar na região de hipotalasia a diminuição de temperatura é mínima em toda a sua amplitude.

A zona superior corresponde à epitalasia ou troposfera, a segunda, de diminuição ampla e brusca, é chamada termoclima e a terceira hipotalasia ou estratosfera.

As faixas de termoclimas geralmente ocorrem no verão e são de grande interesse para a piscicultura, para estudos de profundidade em que são encontrados os cardumes, já que estes não suportam diminuições bruscas de temperatura, permanecendo no fundo do reservatório (PÁDUA & BOLDRINI, 1981). Reservatórios tropicais

amplos e com baixa profundidade não têm termoclima; reservatórios profundos poderão ou não ter termoclima marcado, dependendo da posição da massa de água em relação ao vento.

O conhecimento do pH da água em reservatórios tem grande importância, uma vez que muitos fenômenos químicos e biológicos podem estar regulados pelo mesmo.

O pH depende da quantidade de gás carbônico contida na água. As águas naturais, em geral, contêm pH compreendidos entre 4,0 e 9,0 e, na maioria das vezes, são ligeiramente alcalinos, devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Os valores mais elevados são encontrados na superfície, devido a uma situação de equilíbrio entre o gás carbônico dissolvido e o gás carbônico atmosférico. Se nessas águas ocorrer uma ativa atividade fotossintética, com conseguinte diminuição do gás carbônico dissolvido, o pH pode elevar-se ainda mais.

Abaixo de zonas eufóticas, em que o oxigênio tenha sido consumido, as quantidades de gás carbônico alcançam seu valor máximo e, conseqüentemente, mostram os menores valores de pH (4,4), somente superados na ausência total de oxigênio, tornando o meio anaeróbico, com conseqüente formação de ácido sulfídrico e redução do valor.

2.6 IMPACTOS DE OBRAS HIDRÁULICAS SOBRE A QUALIDADE DAS ÁGUAS

Uma das questões muito discutidas ultimamente, no Brasil e em outros países tropicais, é a que diz respeito à construção de grandes barragens em rios, produzindo conseqüências ambientais

decorrentes da inundação de grandes áreas muitas vezes florestadas. Esses prejuízos nem sempre foram devidamente levados em conta, por exemplo nos grandes projetos de aproveitamento hidrelétrico na bacia Amazônica. O afogamento de grandes massas orgânicas em áreas de densa vegetação, como ocorre na Amazônia e em outras áreas tropicais pluviais, pode provocar profundas alterações na composição química e biológica das águas represadas, com sérios agravos às condições ambientais. Esse fenômeno tem sido observado em vários locais, sendo o exemplo mais antigo, no Brasil, o do reservatório de Curuá-Una, no estado do Amazonas e, em âmbito internacional, o de Brokopondo, no Suriname. Apesar desses exemplos negativos, a mesma prática desastrosa de inundação de áreas florestais tem sido repetida, em escala cada vez maior, por exemplo, em Tucuruí, alterando significativamente a qualidade do rio Tocantins a jusante, formando um verdadeiro charco putrefato de cerca de 2400 km². O fenômeno e suas conseqüências são conhecidos no Brasil desde o início do século.

A formação de um espesso leito de folhas e ramos caídos das árvores, que morrem durante o processo de enchimento da represa e a subsequente decomposição lenta dessa matéria sedimentada, leva ao consumo de grandes quantidades de oxigênio dissolvido na água armazenada. Esse consumo, se não for balanceado através da reposição de oxigênio, provoca dois efeitos: o primeiro, relacionado com a vida aquática, afeta a sobrevivência de peixes e de outros animais, principalmente nas camadas mais profundas do lago e no rio a jusante; o segundo estabelece um processo anaeróbio

de decomposição, que leva à produção de gás sulfídrico, tóxico e altamente corrosivo (BRANCO et al, 1991).

Além desses efeitos ambientais, como resultado da decomposição da matéria vegetal, formam-se compostos de nitrogênio e fósforo em concentrações relativamente elevadas, que estimulam a proliferação das plantas aquáticas, como o aguapé e outras. Tais plantas, ao morrerem, mergulham na água, acumulando-se na forma de sedimento orgânico, reiniciando o ciclo. Além disso, concorrem para o aumento da taxa de evaporação superficial da represa, para a obstrução de sistemas hidráulicos, abrigando ainda formas larvárias de mosquitos transmissores de moléstias.

Evidentemente, esses efeitos têm amplitude proporcional à área de inundação. O fato é que a destruição de grandes áreas densamente florestadas, mesmo para sua transformação em lago, pode levar a perturbações maiores ou menores do ecossistema natural, com influências climáticas e redução sensível do potencial de energia, fixado através do processo fotossintético.

No que diz respeito às influências climáticas, deve-se ter em conta, principalmente, a questão do ciclo hidrológico em relação à evapotranspiração. Matas tropicais muito densas apresentam uma taxa de transpiração vegetal muito elevada e altamente significativa, em relação ao ciclo hidrológico e à manutenção da umidade atmosférica que, por sua vez, constituem condições primordiais à preservação da própria floresta. A densa trama superficial de raízes das árvores absorve, quase instantaneamente, uma elevada porcentagem da água de chuva precipitada, que é transportada através de vasos ascendentes

dos troncos, até as folhas, daí retornando rapidamente à atmosfera, por transpiração ativa, através da imensa superfície foliar, condensando-se para novas precipitações.

A área de uma represa em contato direto com o ar transfere, por evaporação, uma quantidade de água muito menor à atmosfera do que uma área equivalente de floresta, uma vez que a superfície de folhas desta última é imensamente maior do que a superfície livre do lago. O resultado dessa substituição, se de proporções significativas, poderá ser, sem dúvida, a transformação de um regime de chuvas quase perenes em torrencial, com grandes volumes de água precipitando em pouco tempo, com pouca retenção pelo solo, grande escoamento superficial, erosões descomunais, fantásticos volumes de areia transportados para as regiões mais baixas e, finalmente, assoreamento de vales, rios e represas. É o caso característico de regiões semi-áridas, acompanhado de completa esterilidade dos solos, pela remoção de sua delgada camada superficial de nutrientes (BRANCO & ROCHA, 1977).

Tendo em vista o fato de que todas estas importantes perturbações ambientais causadas pela geração de energia hidrelétrica são de extensão e gravidade essencialmente proporcionais à área inundada, conclui-se que um parâmetro, fundamental para refletir o "dano" versus "benefício" proporcionado por uma hidrelétrica seria aquele que relacionasse área de inundação com potência instalada (KW por km², por exemplo). Este parâmetro só agora começa a ser valorizado nos grandes empreendimentos hidrelétricos. Enquanto a usina de Itaipu gera

8000 KW por km² de área inundada, a produção de Balbina é de apenas 100 KW por km², indicando que, se do ponto de vista puramente monetário esta usina é considerada econômica, em termos de ônus ambiental ela poderá representar, por certo, um grande desastre, fazendo com que o custo do nosso desenvolvimento seja excessivamente elevado, por colocar em risco o equilíbrio de nossos ecossistemas.

Por outro lado, têm sido questionadas, nos últimos tempos, as virtudes dos grandes empreendimentos. As razões de economia de escala, geralmente invocadas, nem sempre se aplicam, quando se trata da preservação do meio ambiente. Os efeitos ambientais de pequenos empreendimentos somados são, em última análise, menores que os resultados de um grande empreendimento, pois são diluídos e mais facilmente absorvidos pelo ecossistema circundante, o que desmente a existência de uma ecologia de escala. Certamente a exploração de vários pequenos potenciais hidroenergéticos, mediante a construção de pequenas obras, seria muito menos nociva ao equilíbrio de ecossistemas tropicais frágeis, como a Amazônia. Não se pode quebrar a continuidade do sistema mediante intervenções generalizadas ou de grande amplitude (BRANCO et al, 1991).

Os ambientes naturais modificados pela construção das barragens para formação de lagos artificiais geram, normalmente, uma redução do número de peixes que exigem águas correntes para sua reprodução. Segundo BRANCO & ROCHA (1977), na construção acelerada de represas hidrelétricas ocorre a destruição de áreas essenciais ao cumprimento de processos vitais para a manutenção do equilíbrio de

estoques, com a eliminação de trechos de rios, onde se realizam as migrações reprodutivas e o alagamento de planícies de inundação e várzeas, ambientes que representam criadouros para as fases iniciais de desenvolvimento de peixes. Mesmo nos trechos não alagados as variações de nível fluviométrico, determinadas por operações das barragens, têm alterado seu ritmo cíclico, sendo um fator preponderante no desencadeamento do processo de maturação gonadal, que culmina com a desova dos peixes.

Para MESCHKAT (1975), os peixes tropicais não têm a necessidade absoluta de subirem às cabeceiras dos rios para a reprodução, diferentes de peixes de mar que, para se reproduzirem migram obrigatoriamente para as águas doces, para satisfazerem as necessidades de um complexo neuro-endócrino, onde fatores externos, como a salinidade e a corrente marítima, podem refletir sobre o complexo. Os peixes brasileiros da água doce ou vivem e se reproduzem em águas semi-paradas (ambientes lênticos), ou constituem um grupo chamado "peixes de piracema", que formam cardumes na época de desova e procuram águas correntes (ambientes lóticos) para excitarem-se, a fim de satisfazerem o instinto de procriação. Quando encontram barragens natural ou artificial que impeçam seu livre trânsito tentam transpô-las, saltando. Se não conseguem, reproduzem-se à jusante do obstáculo, em remanso.

3 MATERIAL E METODOS

3.1 Amostragem

Foram escolhidos 15 pontos na represa (apêndice 11 e 12), numa extensão de 40km, sendo que 12 pontos foram coletados próximo à confluência com afluentes do rio Paranapanema e os outros 3 pontos no meio da represa (antigo canal do rio), a fim de verificar se houve contribuição dos afluentes para o reservatório. O número de amostras foi limitado em virtude de se trabalhar com um barco tipo "chata", com a presença de quatro pessoas, além de todo o material para a coleta, bem como as caixas de isopor para manterem as amostras de água refrigeradas. Se fosse possível contar com a presença de mais um barco, haveria a possibilidade de um maior número de amostras, o que tornaria os resultados mais significativos.

Como não havia sido adquirido o equipamento GPS, que fornece a latitude e a longitude do local, todos os pontos foram marcados através de estacas e bóias, com distâncias conhecidas até a margem dos rios.

Em dias de passagem do LANDSAT-5 sobre a represa Rosana, situada a 750Km da cidade de São Paulo, foi observada a possibilidade de se coletarem dados de amostras de campo na superfície, para análises posteriores.

Realizou-se estudo da viabilidade do projeto, através de levantamento preliminar da existência de imagens de satélite da região, notando a possibilidade de se adquiri-las em diferentes estações do ano.

As coletas estavam programadas para serem realizadas no verão e no inverno. Devido à dificuldade de se obter imagem orbital sem nuvens, nas datas de passagem do satélite, realizou-se a coleta de amostras de água mesmo em dias nublados, a fim de se obter informação a respeito dos parâmetros a serem analisados, perfazendo um total de cinco coletas. A primeira coleta de campo foi realizada em 30/03/1993, cujos dados encontram-se na Tabela 02. Através de informações do INPE (Cachoeira Paulista) as imagens da órbita ponto 223-76, referente à área da represa, apresentou 80% de cobertura de nuvens, tornando-se inviável a aquisição dessa imagem.

Foram realizadas outras tentativas em 15/04, 17/05, 02/06, 20/07/1993 e 28/01/1994, mas, devido a ação de ventos muito fortes (característica da região), a CESP não autorizou a saída do barco, uma vez que a presença das ondas poderia causar acidentes.

Em outras datas (01/05, 04/07/1993 e 13/02/1994) a coleta também não foi possível, por ser final de semana e não haver funcionários para operarem o barco.

Nas datas de 18/06 e 05/08/1993 realizaram-se outras coletas de campo, mas devido à presença de nuvens no momento da passagem do satélite não foi possível a aquisição da imagem.

A quarta coleta ocorreu em 09/11/1993 (Tabela 17) e, segundo informações obtidas no INPE (Cachoeira Paulista), a imagem

apresentava 0% de cobertura de nuvens e uma visibilidade de 7% (valor este considerado muito bom), proporcionando, assim, a aquisição desta imagem.

A próxima passagem ocorreu em 01/03/1994, realizando-se, assim, a quinta coleta de campo (Tabela 25). No momento da passagem do satélite houve a presença de algumas nuvens, porém, quando se procurou saber qual a porcentagem de nuvens no reservatório naquela data, a informação era de que havia sido suspensa a gravação de imagens a partir de 01/03, sem previsão para se reiniciar a gravação.

3.2 Parâmetros Analisados

Os parâmetros da água que foram analisados neste reservatório são:

Sólidos em suspensão - Todas as águas naturais contêm em suspensão uma certa quantidade de matérias sólidas. Depois de uma precipitação a quantidade destas partículas pode aumentar consideravelmente, porém os peixes podem suportar essa situação muito bem, mesmo sofrendo danos mecânicos nas brânquias. Contudo, os ovos dos peixes são muito vulneráveis a acréscimos de argila, que inibem a respiração e estimula o crescimento microbiano. As partículas em suspensão reduzem a penetração da luz na água, com a conseqüente redução de energia para a fotossíntese e diminuição da produtividade dos organismos aquáticos, que servem de alimento para os peixes. Este parâmetro tem apresentado bons índices de correlação com os dados obtidos por satélite. A análise deste parâmetro foi realizada em laboratórios da CETESB, utilizando a

metodologia "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater", 17ª edição, APHA-AWWA-WPCF.

Concentração de clorofila - Tem-se encontrado bons resultados em pesquisas para a determinação do teor de clorofila em corpos de água, sendo este o parâmetro principal para se medir o grau de eutrofização.

A concentração de clorofila foi medida por meio de análises das amostras de água em laboratórios da CESP, utilizando a metodologia descrita em GOTLEMAN et al (1978). A água coletada na superfície foi filtrada em uma membrana com porosidade de 0,8 a 8,0µm, no mesmo dia e, a seguir, a membrana foi guardada em sílica e refrigerada a -10°C, para posterior análise.

Profundidade Secchi - Esta medida caracteriza a turbidez da água; quanto menor seu valor, maior a turbidez. A turbidez é a alteração da penetração da luz provocada pelo material orgânico e inorgânico em suspensão. Foi medida pela mesma pessoa (para evitar a influência das características subjetivas de visão), com um disco de cor branca e preta de 30cm de diâmetro.

Temperatura - A temperatura é uma das mais importantes características de qualidade da água, já que suas propriedades físicas, químicas, biológicas, reações e transporte de sólidos em suspensão dela dependem. Este dado foi obtido através de um termistor digital de escala Celsius, pela imersão em amostras de água da superfície, do meio e do fundo da represa, a fim de verificar se ocorreu uma zona de termoclima, ou seja, de

abaixamento brusco da temperatura.

pH - A estabilidade do pH em um reservatório é muito importante, pois a maioria dos organismos aquáticos estão adaptados a um valor médio de pH e suportam mal suas bruscas variações. Sua obtenção se deu por um potenciômetro, a partir da imersão do eletrodo em amostras de água coletadas na superfície, no meio e no fundo da represa, recolhidas em vasilhame.

As coletas foram realizadas num período de cinco horas, em horários centrados em relação aos da passagem do satélite LANDSAT-5.

3.3 Aquisição de Dados Orbitais

Para realização desse teste foram utilizadas as imagens do satélite LANDSAT-5, que possui órbita circular, com altitude média de 750 km e inclinação de $98,2^\circ$. Este satélite apresenta um período orbital de 98,7 minutos imageando um mesmo ponto do globo a cada 16 dias. Sua órbita é heliossíncrona e seu horário de cruzamento do equador ocorre às 9:45 horas LST.

A bordo do LANDSAT-5 encontra-se o Mapeador Temático-TM, um imageador multiespectral que opera em sete diferentes bandas (Tabela 01). Para a banda 6 o IFOV (Campo de Visada Instantâneo) é de 120 metros e para as demais 30 metros. A largura da faixa imageada no terreno é de 185km.

A imagem do satélite LANDSAT-5 foi analisada no equipamento SITIM (Sistema de Tratamento de Imagem), existente na UNICAMP, com a utilização do programa operacional implantado, denominado leitura

de pixel. Utilizaram-se as bandas de 1 a 4 do satélite TM-LANDSAT. Trabalhou-se bandas na escala 1:50000, ampliação esta que forneceu um elemento de resolução (pixel) da imagem correspondendo a um elemento de resolução da tela.

Tabela 01 - Largura das Bandas do Mapeador Temático-TM

BANDAS ESPECTRAIS	μm
1	0,45 - 0,52
2	0,52 - 0,60
3	0,63 - 0,69
4	0,76 - 0,90
5	1,55 - 1,75
6	10,45 - 12,50
7	2,08 - 2,35

3.4 Testes Estatísticos

Foram realizados testes de correlação linear simples e análises de regressão linear múltipla, entre conjuntos de valores relativos aos parâmetros medidos na água e dados do satélite TM/LANDSAT. Os testes foram realizados da seguinte forma:

- Testes de correlação entre as variáveis medidas na água

Estes testes indicam quais variáveis estarão associadas.

- Testes de correlação entre as variáveis medidas na água - independentes - e a variável orbital - dependente.

Foram realizados testes de correlação entre as variáveis independentes (teor de sólidos em suspensão, concentração de clorofila e profundidade Secchi), que afetam o comportamento espectral da água, e a variável dependente (nível de cinza extraído

das bandas 1, 2, 3 e 4). O teste foi realizado excluindo-se o pH e a temperatura do conjunto de variáveis independentes. O pH foi excluído por não ser uma propriedade ótica da água, não afetando, assim, a absorção e o espalhamento da energia na água. A temperatura foi excluída pois o tempo de coleta de campo ocorreu num período de cinco horas (entre 7 e 12:00 horas), com grande variação de temperatura e a temperatura obtida através da imagem orbital é referente às 9:45 horas, implicando em baixos valores de correlação entre os dados de campo e os dados orbitais.

- Análises de regressão múltipla passo a passo

Estes testes substituem a realização da análise de correlação múltipla, entre todas as combinações possíveis do conjunto de variáveis independentes e das variáveis dependentes.

O primeiro passo consistiu-se na escolha de uma das variáveis independentes que satisfizesse a duas condições: ser a mais bem correlacionada com uma dada variável dependente e, ao mesmo tempo, menos correlacionada com as outras variáveis independentes. Nos passos seguintes foram incluídas, uma a uma, as outras variáveis independentes que aumentem o coeficiente de correlação, no mínimo, de um valor igual a 0,001.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A informação detectada pelos sensores remotos limita-se à profundidade de atenuação da luz pela água. Assim, abaixo da profundidade Secchi a composição da água não interfere em seu espectro de reflexão. Com isso, as amostras de água para análise limitaram-se à camada de água contida entre a superfície e a profundidade Secchi. Nas estações amostrais foram realizadas coletas em três profundidades da represa, mas para a integração com dados de sensoriamento remoto só foram consideradas as informações até a profundidade Secchi.

A temperatura, um dos parâmetros mais importantes para monitorar a qualidade da água, quando medida nas três profundidades, revelou uma diminuição com o aumento da profundidade.

Através do teste t-Student, referente à amostragem realizada em 30/03 (Tabela 04), notou-se que, ao nível de 5% de significância, houve diferença entre as três profundidades.

Esta diferença significativa revelou-se como óbvia, uma vez que a análise de t-Student trabalha com médias de temperatura superficial, de meio e de fundo. Quando se analisou a temperatura medida nas três profundidades, em cada ponto de amostragem, notou-se que a variação é muito pequena, ou seja, insuficiente para

formar a zona de termoclima, tendo em vista que neste reservatório observou-se alta velocidade das águas, ocasionada, principalmente, pelos ventos, não alterando o habitat dos peixes.

Analisando-se a amostragem realizada em 18/06/1993, notou-se que pela análise de t-Student (Tabela 09) a temperatura superficial foi estatisticamente igual à temperatura do meio, assim como a temperatura do meio e do fundo, mas houve diferença significativa entre temperatura da superfície e do fundo. Em 05/08 (Tabela 14) verificou-se igualdade estatística apenas para a temperatura de meio e de fundo. Para 09/11 (Tabela 19) esta igualdade foi verificada para temperatura superficial e de meio e, temperatura de meio e de fundo; para 01/03 (Tabela 27) notou-se igualdade entre pH superfície e do meio. Apesar desta diferença significativa, ecologicamente a mesma não irá interferir no desenvolvimento dos peixes, uma vez que estes suportam uma variação de 20 a 30°C. As figuras de temperatura superficial, de meio e de fundo da represa (apêndice 1, 2 e 3) revelaram que as maiores temperaturas, determinados nos 15 pontos amostrados, ocorreram em 01/03/1994 (verão) e as menores no inverno (18/06 1993).

O período de reprodução dos peixes nos rios Paraná e Paranapanema inicia-se em outubro, quando a temperatura varia consideravelmente (20-30°C), começando a subir e atingindo valores elevados (29°C) em novembro; nessa época inicia-se a enchente, sendo que a maior freqüência (86,6-89,7%) das espécies em reprodução ocorre em dezembro-janeiro, quando a temperatura elevada associa-se ao nível fluviométrico alto, que se mantém até março,

garantindo condições favoráveis ao desenvolvimento das larvas.

Quanto ao pH, verifica-se que em todos os dias de coleta houve diminuição desse parâmetro da superfície para o fundo, diminuição esta esperada devido ao equilíbrio entre o CO_2 dissolvido e o CO_2 atmosférico, aumentando o pH na superfície.

Ao se observar as figuras de pH medidos nas três profundidades da represa (apêndice 4, 5 e 6) nota-se que, de uma maneira geral, os menores valores determinados nos 15 pontos amostrados ocorreram em 18/06/1993. Nas demais amostragens os valores de pH apresentaram pequena variação, podendo ser explicada pela atividade fotossintética.

A análise de t-Student das médias de pH na superfície, no meio e no fundo do reservatório, realizada em 30/03 (Tabela 04) demonstrou que o pH em superfície, no meio e no fundo foram estatisticamente diferentes. Em 18/06 (tabela 09) o pH em superfície foi estatisticamente igual ao pH no meio, assim como o pH no meio e no fundo, mas houve diferença significativa entre pH em superfície e no fundo. Para 05/08 (Tabela 14) verificou-se igualdade estatística apenas entre pH no meio e no fundo. Em 09/11/1993 (Tabela 19) esta igualdade foi verificada para pH no meio e no fundo e em 01/03/1994 (Tabela 27) a igualdade ocorreu entre pH em superfície e no meio. Esta diferença não deve causar alterações no desenvolvimento de peixes, pois os critérios de proteção da vida aquática fixam o pH entre 6 e 9. Muitos peixes e outros animais aquáticos podem sobreviver a valores iguais ou menores que 5,0; mas a este pH os metais se solubilizam muito

facilmente, aumentando as possibilidades de toxidez. Acima de pH 6,0 há uma melhora na pesca (BRANCO et al,1991).

A turbidez, que pode ser definida como a alteração de penetração de luz provocada pelo material em suspensão, foi medida através de um disco de Secchi; quanto menor o seu valor, maior a turbidez da água.

Os sólidos em suspensão reduzem a penetração de luz na água, acarretando baixos valores de profundidade Secchi. Desta forma, pode-se relacionar estes dois parâmetros, pois com o aumento do teor de sólidos em suspensão, ocorre uma diminuição da profundidade Secchi.

Através do gráfico de sólidos em suspensão (apêndice 8), notou-se que os maiores valores determinados nos 15 pontos ocorreram em 01/03/1994. Nas demais amostragens a variação desse parâmetro foi muito pequena (1 a 10 mg/l).

Relatório apresentado pela FAO (1965) revelou que o efeito de partículas finas em suspensão influenciou na sobrevivência dos peixes, no seu crescimento, reprodução, resistência a doenças, comportamento, disponibilidade alimentar, etc. As conclusões desses estudos foram que concentrações de sólidos em suspensão inferiores a 25 mg/l não tinham efeitos danosos sobre os peixes. A piscosidade da água com 25 a 80 mg/l era regular (entre moderada e boa), porém, com teores de 80 a 400 mg/l interferiam definitivamente na produtividade dessas águas.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente, o teor de sólidos em suspensão aceitável para águas, visando a piscicultura,

classificada como classe II, é de até 500 mg de teor de sólidos em suspensão em 1 litro de água. Os valores de teor de sólidos em suspensão nessa represa estão bem abaixo do valor que poderá prejudicar o desenvolvimento dos peixes (menor que 25 mg/l).

Os dados da Tabela 05 revelaram que não houve correlação significativa entre a profundidade Secchi e o teor de sólidos em suspensão. De fato, o menor valor de profundidade Secchi (60cm), na estação 12, correspondeu a um valor de 5mg/l de teor de sólidos em suspensão, que é o terceiro valor em teor de sólidos suspensos (vide Tabela 02 e 03). A concentração de 5mg/l correspondeu a várias profundidades Secchi diferentes, tais como 90cm, 75cm e 85cm. O segundo menor valor de profundidade Secchi correspondeu a uma concentração mínima de sólidos suspensos.

A Tabela 05 revelou ainda que não houve correlação entre a profundidade Secchi (indicador de atenuação da luz na água) e a concentração de clorofila (um dos responsáveis pela atenuação na água). Uma das hipóteses que foi considerada é a presença de alta concentração de matéria orgânica dispersa na água, o que explicaria os valores baixos de profundidade Secchi, em média; outra hipótese é de que as medidas de profundidade Secchi poderiam estar contaminadas por modificações na irradiância solar, pois no dia da coleta de campo (30/03/1993) o céu estava nublado, havendo, portanto, uma variação instantânea no campo de radiação submerso; ou ainda, considerar que houve erros metodológicos durante a aquisição dos dados.

Os dados da Tabela 10 revelaram que não houve correlação

significativa entre a profundidade Secchi e o teor de sólidos suspensos ($r= 0,426$). O menor valor de profundidade Secchi (70cm), na estação 06, correspondeu a um valor de 6mg/l, que é o quarto valor em teor de sólidos suspensos (Tabela 06 e 07). A concentração de 6mg/l correspondeu a várias profundidades Secchi: 85cm, 75cm, 65cm. O segundo menor valor de profundidade Secchi correspondeu a uma concentração média de sólidos suspensos (7mg/l).

Comparando-se a profundidade Secchi com a concentração de clorofila (Tabela 07 e 08), notou-se que o maior valor de concentração (36,02mg/m³) correspondeu à segunda maior profundidade Secchi, e o que seria esperado era que o maior valor correspondesse à menor profundidade Secchi. A Tabela 10 confirmou os dados observados ($r= 0,429$), não havendo correlação entre a profundidade Secchi e a concentração de clorofila, podendo ser devido a uma das hipóteses descritas anteriormente, já que as condições meteorológicas eram semelhantes, dificultando o trabalho de campo.

Em 05/08/1993, (Tabela 12 e 13), o maior valor de profundidade Secchi (142cm) correspondeu aos menores valores do teor de sólidos em suspensão (1,0mg/l) e de concentração de clorofila (1,0mg/l), e o menor valor de profundidade Secchi correspondeu ao maior valor de teor de sólidos em suspensão (9mg/l) e de concentração de clorofila (30,16mg/m³). A Tabela 15 revelou a correlação entre profundidade Secchi e teor de sólidos suspensos ($r= -0,941$) e a correlação entre profundidade Secchi e concentração de clorofila ($r= -0,914$).

A correlação observada entre o teor de sólidos em suspensão e

a profundidade Secchi atesta a forte influência do material em suspensão no aumento da turbidez da água. Uma possível explicação para a correlação entre concentração de clorofila e profundidade Secchi é que este parâmetro biológico faz parte da fração orgânica do teor de sólidos suspensos.

Apesar da média de profundidade Secchi aumentar para 120,40cm (Tabela 13), o que se observou é que o teor de sólidos em suspensão permaneceu no "range" de 5mg/l e a concentração de clorofila continuou alta (11,86mg/m³), revelando que o teor de sólidos suspensos é o principal responsável pela atenuação da luz na água, já que o aumento da concentração de clorofila não causou diminuição na profundidade Secchi.

Em 09/11/1993, (Tabela 17 e 18), notou-se também que o maior valor de profundidade Secchi (138cm) correspondeu aos menores valores de teor de sólidos suspensos e concentração de clorofila (1mg/l e 1,08mg/m³, respectivamente). As médias de profundidade Secchi, teor de sólidos suspensos e concentração de clorofila apresentaram valores muito próximos das médias destes parâmetros coletados em 05/08/1993, revelando que neste período não houve variação na contribuição de partículas sólidas para o reservatório. A Tabela 20 revelou a correlação entre profundidade Secchi e teor de sólidos suspensos ($r = -0,959$) e a correlação entre profundidade Secchi e concentração de clorofila ($r = -0,957$).

A média de profundidade Secchi em 01/03/1994 (Tabela 26) foi de 55,67cm, a média de teor de sólidos suspensos foi de 20,80cm e a média de concentração de clorofila de 23,62mg/m³. Comparando-se

as médias desses três parâmetros com as amostragens anteriores, notou-se que houve uma diminuição da profundidade Secchi devida ao aumento no teor de sólidos suspensos e na concentração de clorofila. Este aumento ocorreu devido à presença de chuva no dia anterior à amostragem, contribuindo para um aumento de partículas sólidas no reservatório.

A figura de profundidade Secchi (apêndice 7) revelou que os menores valores determinados nos 15 pontos amostrados ocorreram em 01/03/1994 e os maiores em 05/08 e 09/11/1993.

As médias de concentração de clorofila foram respectivamente 4mg/m^3 em 30/03/1993, 16mg/m^3 em 18/06/1993, 11mg/m^3 em 05/08/1993, 11mg/m^3 em 09/11/1993 e $23,63\text{mg/m}^3$ em 01/03/1994. Essas médias encontram-se dentro do "range" de concentração de corpos d'água classificados entre mesotróficos e eutróficos. O nível de eutrofização de um reservatório já existente pode ser medido utilizando-se diversos critérios, relacionado à produção do fitoplâncton. O método mais simples é através da medição de concentrações de clorofila-a, um indicador da qualidade bruta de fitoplâncton. Ao se comparar a concentração de clorofila com o teor de sólidos suspensos, notou-se que os maiores valores de concentração de clorofila coincidem com os maiores valores de teor de sólidos suspensos.

As correlações entre concentração de clorofila e teor de sólidos suspensos foram: $r = 0,615$; $r = 0,999$; $r = 0,906$; $r = 0,947$ e $r = 0,981$, respectivamente em 30/03/1993, 18/06/1993, 05/08/1993, 09/11/1993 e 01/03/1994, isto porque a concentração de clorofila

faz parte da fração orgânica do teor de sólidos em suspensão.

Em estudos de ecossistemas individuais, realizados entre 1983 e 1989, em várias regiões da Bulgária, Hungria, Alemanha, o valor do fitoplâncton (clorofila-a) variou de 0,1 a 350 mg/m³ e o de teor de sólidos em suspensão de 0,1 a 66 mg/l (GITELSON, 1992). Através da figura de concentração de clorofila (apêndice 9) verificou-se que os maiores teores foram encontrados nos 15 pontos amostrados em 01/03/1994.

Dentre os parâmetros da qualidade da água, a concentração de clorofila (pigmentos) e a profundidade Secchi são os melhores indicadores das condições gerais de um corpo d'água: o primeiro por indicar a produtividade primária e o segundo por fornecer uma medida da profundidade da camada eufótica.

Considerou-se a superfície de uma estação os primeiros 15 cm da profundidade em cada ponto amostrado. Cada estação apresentou uma profundidade diferente, já que se situa em regiões diferentes; porém, no decorrer do período de coleta a variação da profundidade de cada ponto foi muito pequena, com exceção da última coleta, que, devido ao maior volume de água do rio, cada estação teve uma maior profundidade.

Através da figura de profundidade efetiva (apêndice 10), notou-se que as maiores profundidades dos pontos amostrados ocorreram no dia 09/11/1993, referentes à quarta amostragem. Nas demais amostragens (30/03, 18/06, 05/08/1993 e 01/03/1994) a profundidade efetiva não apresentou muita variação.

O aumento na profundidade efetiva das amostras coletadas em

01/03/1994 foi ocasionado pela ocorrência de chuvas em alguns dias anteriores à coleta, ocasionando aumento do nível da água. Em novembro de 1993 iniciou-se o período das cheias, com a elevação do nível de água nos reservatórios; já a partir de março iniciou-se o período das secas, com conseqüente diminuição do nível da água.

O fato de se coletar amostras de água em diferentes épocas do ano, mesmo em dias nublados, foi muito importante, pois pôde se acompanhar o comportamento da temperatura, do pH, da concentração de clorofila e do teor de sólidos em suspensão. Em relação à turbidez, deve-se tomar muito cuidado na sua determinação em dias nublados.

No geral, os dados de variância dos parâmetros determinados no campo revelaram uma alta variabilidade em relação a média, o que pode ser explicado pela variabilidade espacial, verificada nos gráficos em anexo.

Ao se analisar os valores obtidos de teor de sólidos em suspensão e concentração de clorofila, notou-se que os pontos coletados na margem esquerda, apresentaram valores mais elevados que os pontos da margem direita, podendo ser explicado pelo tipo, uso e ocupação do solo.

Estudando a região do Paranapanema juntamente com os técnicos responsáveis pela construção da barragem, o que se tem observado é que, mesmo com a transformação do rio em represa, a região apresenta uma diversidade de peixes, já que a água apresenta características físicas, químicas e biológicas adequadas à piscicultura.

A imagem LANDSAT referente à data de 09/11/1993 apresentou elevação solar igual a $55,81^\circ$ e azimute de $86,28^\circ$. Os dados de nível de cinza dos produtos multiespectrais desta imagem encontram-se na Tabela 21.

Não houve a necessidade de se aplicar na imagem original programas de realce e filtragem a fim de melhorar a visualização de variáveis discerníveis na água.

Verificando os resultados dos testes de correlação entre o dados reais de campo e os dados orbitais (Tabela 22), notou-se que houve correlação negativa entre a profundidade Secchi com as bandas 1, 2, 3 e 4, ou seja, quanto maior a profundidade Secchi, menor foi a resposta espectral. Este parâmetro apresentou maior correlação com a banda 2 ($r = -0,954$) e menor correlação com a banda 4 ($r = -0,896$).

O teor de sólidos suspensos apresentou correlação positiva com as quatro bandas, sendo que a maior correlação ocorreu com a banda 1 ($r = 0,990$).

A concentração de clorofila também apresentou correlação positiva com as bandas e a maior correlação ocorreu com a banda 3 ($r = 0,961$).

Pelos dados pode-se verificar que os três parâmetros medidos na água apresentaram alta correlação com os dados orbitais, concordando com SCHIEBE et al (1984), em que o sensor TM pode ser muito útil no monitoramento de teor de sólidos suspensos e de concentração de clorofila em corpos d'água. Estes autores verificaram que a banda 3, faixa em que a clorofila mais absorve

luz, apresenta uma maior porcentagem da variabilidade dos níveis de cinza da imagem. Infelizmente não foi possível obter outro conjunto de dados de clorofila e de dados orbitais que permitisse conhecer melhor o comportamento dos produtos TM/LANDSAT em função das variações desse parâmetro.

Os resultados das análises de regressão múltipla, como um todo, indicaram que os parâmetros da qualidade da água considerados nesta pesquisa foram responsáveis pela variabilidade dos níveis de cinza dos produtos orbitais utilizados.

Na Tabela 23 estão apresentados os coeficientes de determinação (R^2) da regressão linear múltipla, utilizando o método de máximo coeficiente de determinação para a inclusão da variável no modelo. Este método foi adotado, pois através dos coeficientes das equações e dos coeficientes de determinação (Tabela 23) a variável que mais contribuiu para o modelo foi sólidos em suspensão, sendo que a inclusão da profundidade Secchi e da concentração de clorofila no modelo foi não significativa, do ponto de vista estatístico. A não significância destas variáveis deve-se ao fato de que elas possuem uma alta correlação entre si. Desta forma, a variação de uma das variáveis medidas na água explica a variação das demais, ou seja, neste caso a variação do nível de cinza em função da profundidade Secchi e da concentração de clorofila pode ser detectada através do teor de sólidos suspensos. Assim, a variação de tonalidade do nível de cinza poderia ser descrito apenas em função do teor de sólidos suspensos em água, através de um modelo linear simples. Ainda com relação à Tabela 23

nota-se que todos os coeficientes de determinação estão acima de 80%, indicando uma forte relação entre as variáveis estudadas e o nível de cinza nas bandas da imagem.

Os coeficientes de determinação de sólidos suspensos em relação às bandas 1, 2, 3 e 4 foram de 0,990; 0,981; 0,972 e 0,933, indicando que 99,0%; 98,1%; 97,2% e 93,3% da variação de níveis de cinza das bandas 1, 2, 3 e 4 são explicados pela variação do teor de sólidos suspensos na água, e 1,0%; 1,9%; 2,8% e 6,7% são variações influenciadas por outros fatores. Observou-se ainda que a banda 1 foi a que melhor explicou a variação de sólidos suspensos na água.

Considerando-se que não foi possível a obtenção das imagens do satélite em todas as datas de amostragem no campo, por razões já discutidas anteriormente, aplicou-se o teste de t-Student entre todas as datas de amostragem e a data de 09/11/1993 (que foi a data de obtenção da imagem) para as variáveis teor de sólidos suspensos, concentração de clorofila e profundidade Secchi, a partir das quais construíram-se modelos matemáticos a fim de se verificar a possibilidade de uso dos mesmos em outras épocas do ano. Se a diferença entre as variáveis medidas em 09/11/1993 e nas datas não for significativa pode-se utilizar o mesmo modelo obtido em 09/11/1993 para esta outra data. Esta é uma interpretação do ponto de vista estatístico.

Através da Tabela 30 verificou-se que a data de 05/08/1993 possuía as mesmas características do ponto de vista estatístico do que 09/11/1993, sendo que todas as variáveis apresentaram diferença

não significativa. Já para 30/03/1993 apenas o modelo que incluiu a variável sólidos poderia ser utilizada, pois foi a única variável com diferença não significativa. Da mesma forma pode-se analisar a data de 18/06/1993, onde apenas a clorofila apresentou-se não significativa e o modelo a ser utilizado deverá ser em função da clorofila. Já o modelo de 09/11/1993 jamais poderia ser utilizado para 01/03/1994, onde todas as variáveis apresentaram diferença significativas.

5 CONCLUSÕES

- Os parâmetros da água determinados na represa não apresentaram valores extremos que causassem um impacto ambiental para a piscicultura.

- A temperatura e o pH não apresentaram gradientes verticais que pudessem alterar o desenvolvimento dos peixes.

- Pelos altos níveis de correlação entre os dados de campo e os dados orbitais, pode-se utilizar a técnica de sensoriamento remoto para monitorar a qualidade da água quanto ao teor de sólidos em suspensão, concentração de clorofila e turbidez em condições semelhantes à da represa em estudo.

- Alguns parâmetros como a profundidade Secchi, o teor de sólidos em suspensão e a concentração de clorofila (determinados em 05/08/1993) não apresentaram diferenças significativas quando comparados com esses mesmos parâmetros em outra data (09/11/1993).

Assim sendo, podem constituir recomendações para futuras pesquisas:

- Que as coletas de dados incluam a obtenção de pelo menos duas amostragens em épocas semelhantes, melhorando a significância dos resultados e as conclusões obtidas.

- Que sejam utilizadas meios de transporte mais velozes para a coleta de campo, na tentativa de minimizar a variabilidade causada nos dados devido ao intervalo de tempo dispendido.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA/AWWA/WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 17th ed., 1989.
- BRAGA, C.Z.F. Utilização de Imagens dos Satélites LANDSAT-5 e NOAA-9 na identificação de parâmetros físico-químicos da água na Baía de Guanabara. Instituto de Pesquisas Espaciais, 1988. 115p (Mestrado em Sensoriamento Remoto).
- BRANCO, S.M., CLEARY, R.W., COIMBRA, R.M. et al. Hidrologia Ambiental. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, edusp, 1991.
- BRANCO, S.M.; ROCHA, A.A. Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas. Edgard Blucher/CETESB, 1977.
- BRICAUD, A.; SATHYENDRANATH, S. Spectral signatures of substances responsible for the change in ocean colour. Signatures Spectrales D objects em Teledétection, Avignon, p. 8-11, 1981.
- CHESHIRE, S.K.H., GERACI, A.L., ROSA, G. Water quality mapping of Augusta Bay, Italy from LANDSAT-TM data. International Journal Remote Sensing, v.12, n.4, p.803-808, 1991.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography, v.2, n.2, p.361-369, 1977.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial: O Canal Fluvial. Ed. Edgard Blucher LTDA - São José dos Campos, 1981. v.1, cap.2.
- CRÓSTA, A.P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto - Campinas, S.P: IG/ UNICAMP, 1992. 170p.
- CURRAN, P.J., NOVO, E.M.M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: A review. Journal of Coastal Research, v. 4, 351p, 1988.
- DUNTLEY, S.Q. Light and the sea. Journal of the optical society of America, v. 53, n. 2, p. 214-233, 1963.

- FAO, Roma. Water quality criteria for european freshwater fish; report on finely divided solids and inland fisheries. International Journal of Air and Water Pollution, New York, v. 9, 151p, 1965.
- FISCHER, J., KOEPKE, P. The influence of perturbing water properties in chlorophyll mapping. ESA, 1984.
- GARCIA, C.A.E. On the use of visible and infrared satellite imagery for coastal dynamical studies. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Manaus, 1990. v. 3, p. 596-604.
- GITELSON, A. The peak near 700nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. International Journal Remote Sensing, v. 13, n. 17, p. 3367-3373, 1992.
- GOTLEMAN, H.L., CLYMO, R.S., OHMSTAD, M.A.M.: Bacwel Scientific Publication 1, Oxford, 1978.
- HARTMANN, C., ABREU, P.C.O.V., MENDES, C.A.B. et al. Análise comparativa de custos entre métodos convencionais e de satélite na região da Laguna dos Patos, R.S. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Manaus, 1990. v. 3, p. 587-595.
- HERZ, R. Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos: contribuição metodológica do estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul, através de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. São Paulo: USP, 1977. (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Univ. Estadual Paulista, 1977.
- JERLOV, N.G., NIELSON, E.S. Beam attenuation. Optical aspects of oceanography, Aberdeen University, 1968, cap. 1, p. 47-62.
- JERLOV, N.G., NIELSON, E.S. Optical aspects of oceanography, London, Academic, 1974.
- KHORRAM, S. Use of ocean colour data in water quality mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 47, p. 667-676, 1981.
- KHORRAM, S. Development of water quality models applicable throughout the entire San Francisco Bay and Delta. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 51, n.1, p.53-62, 1985.
- KHORRAM, S., CHESHIRE, H.M. Remote sensing of water quality in the Neuse River Estuary, North Carolina. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.51, n.3, p. 329-341, 1985.

- KLEMAS, V., POLIS, D. Remote sensing of estuarine fronts and their effects on pollutants. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 43, n. 5, p. 599-612, 1977.
- KLOOSTER, R.A., SCHERZ, J. Water quality by photographic analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 40, p. 927-935, 1974.
- LATHROP, R.C., LILLESAND, T.M. Use of thematic mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.52, n.5, p.671-680, 1986.
- LILLESAND, T.M., JOHNSON, W.L., DEWELL, R.L. et al. Use of LANDSAT data to predict the trophic state of Minnesota lakes. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 49, n. 2, p. 219-229, 1983.
- MCNEELY, R.N. Water Quality Sourcebook; A Guide to Water Quality Parameters. Ottawa, 1979.
- MENDES, A.B., HAERTEL, V., HARTMANN, C. et al. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto à região estuarina da Lagoa dos Patos, R.S.- Brasil. In: IV SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO EM SENSORIAMENTO REMOTO. Argentina, 1989. p. 872-883.
- MESCHKAT, A. Aquacultura e pesca em águas interiores do Brasil. Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Brasil. (Doc. Técnico,9). SUDEPE. Rio de Janeiro, 1975.
- MOORE, G.K. Satellite surveillance of physical water quality characteristics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12, 1977 Ann Arbor, MI, Proceedings, p. 445-461.
- MORAN, M.S., JACKSON, R.D., SLATER, P.N., et al. Comparaison of atmospheric correction procedures for visible and near-IR satellite sensor output. Proceedings of the 5th International Colloquium, Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, France. 14-18 January, 1991. (ESA SP- 319, May, 1991)
- NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Ed Edgard Blucher LTDA - São José dos Campos, 1989. 308p.
- NOVO, E.M.L.M., STEFFEN, C.A., BRAGA, C.Z.F. Results of a laboratory experiment relating spectral reflectance to total suspended solids. Remote Sensing Environmental, v.36, p.67-72, 1990.
- NOVO, E.M.L.M., BRAGA, C.Z.F. Relatório do Projeto "Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos", INPE, São José dos Campos, maio de 1991.

- PÁDUA, H.B., BOLDRINI, C.V. Piscicultura e qualidade das águas no Estado de São Paulo. Relatório CETESB, 2 vols., 1981.
- PICKARD, G.L. Instruments and method. Descriptive phisycal oceanography. Oxford, Pergamo, 1963. cap.6, p. 73-106.
- QUENZEL, H., KAESTNER, M. Masking effect of the atmosphere on remote sensing of chlorophyll. In: COSPAR/ IUCRN SYMPOSIUM ON OCEANOGRAPHY FROM SPACE, Venici, 1980. Oceanography from space; proceedings. New York, Plenum, 1981, p. 365-370. (Marine Science, v. 13).
- RAMON, A.M.A. & MENEZES, N.A. Limnología, Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1983.
- RITCHIE, J.C., SCHIEBE, F.B., MCHENRY, J.R. Remote sensing of suspend sediments in surface waters. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 42, n. 12, p. 1539-1545, 1976.
- RITCHIE, J.C., COOPER, C.M., YONQING, J. Using LANDSAT Multispectral scanner data to estimative suspended sediments in Moon Lake, Mississipi. Remote Sensing Environmental, v.23, p.65-81, 1987.
- RITCHIE, J.C., COOPRE, C.M., SCHIEBE, F.R. The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll, and temperature in Moon Lake, Mississipi. Remote Sensing Environmental, v.33, p.137-148, 1990.
- ROLIM, S.B.A., VEDOVELLO, R., ROCIO, M.A.R., et al. Caracterização espectrorradiométrica de materiais da cobertura laterítica de rochas dos grupos Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca e Rio Fresco da província mineral de Carajás. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Manaus, 1990. v. 3, p. 607-612.
- SAUSEN, T.M. Estudo da qualidade de água de reservatórios, utilizando técnicas de sensoriamento remoto: conceitos metodológicos. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Brasil, v. 1, 1981, p. 638-644.
- SHELLEY, P.E. Sediment measurement in estuarine and coastal areas, Washington, D.C., NASA, 1976.
- SCHIEBE, F.R., RITCHIE, J.C., BOATWRIGHT, G.O. A fisrt evaluation of LANDSAT/TM data to monitor suspended sediments in lakes. In: NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER LANDSAT-4 SCIENCE INVESTIGATIONS SUMMARY; Proceedings of the LANDSAT-4 Early Results symposium, Feb. 22-24 and the LANDSAT Science Characterization Workshop, held at Greenbelt, MD, dec.6, 1983. Washington, D.C., v.1, p.141, 1984.

- SCHWEBEL, M.D., JAMES, W .P., CLARK, W.J. Remote measurement of turbidity and chlorophyll through aerial photography. Texas A & M University Remote Sensing Center, Technical Report RSC-47, 1973.
- SILVA, O.F., HARTMANN, C. Estudo da resposta espectral de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Manaus, 1990. v. 3, p. 570-576.
- VAZZOLER, A.M.A. & MENEZES, N.A. Síntese de conhecimentos sobre o comportamento reprodutivo dos Characiformes da América do Sul, Rev. Bras. Biol., v. 52, n. 4, p. 627-640, 1991.
- WEZERNAK, K.C.T. The use of remote sensing in Limnology studies. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9. Ann Arbor, MI, 15-19. 1974. Proceedings. ERIM Ann Arbor, MI, v. II, p. 963-980, 1974.
- YARGER, H.L., MCCAULEY, J.R., JAMES, G.W. et al. Water turbidity detection using ERTS-1 imagery. In: NASA. SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1; proceedings of a Symposium in New Carrollton, MD, 1973. Washington, D.C., NASA, p. 651-658.

ANEXOS

TABELAS COM DADOS EXTRAÍDOS DAS COLETAS DE CAMPO E TRABALHADOS
ESTATISTICAMENTE

Tabela 02 - Dados de campo coletados em 30/03/1993

Amostra	T°C sup.	T°C meio	T°C fundo	Prof. Secchi (cm)	pH sup.	pH meio	pH fundo	sólidos suspensos (mg/l)	concentração clorofila (mg/m ³)
01	26,6	26,5	26,1	70	7,05	6,80	6,70	6,0	12,21
02	26,5	26,4	26,2	90	7,15	7,05	6,85	5,0	6,58
03	25,9	25,8	25,7	75	7,15	7,05	6,80	5,0	6,36
04	26,6	26,2	25,0	63	7,20	7,15	6,95	3,0	1,55
05	27,3	26,3	25,7	70	7,15	7,10	6,80	4,0	2,22
06	26,4	26,0	25,7	82	7,25	7,20	7,00	4,0	2,34
07	26,6	26,4	26,0	85	7,05	7,00	6,95	7,0	1,84
08	26,6	26,5	26,3	75	7,00	6,95	6,90	5,0	6,51
09	27,0	26,6	26,5	80	7,05	6,95	6,90	4,0	2,36
10	27,1	26,0	25,8	85	7,20	7,15	6,90	6,0	12,71
11	26,3	25,4	25,3	90	7,25	7,20	6,95	5,0	6,51
12	26,4	25,2	25,0	60	7,15	7,05	6,80	5,0	6,39
13	27,9	26,6	26,1	76	7,00	6,95	6,85	6,0	12,66
14	28,1	28,0	27,8	85	7,15	7,00	6,95	5,0	6,33
15	28,5	28,0	28,0	90	7,25	7,20	7,10	6,0	12,52

Tabla 03 - Análise estatística das amostras coletadas em 30/03/1993

	média	mínimo	máximo	variância	nº amostras
Temp. C superf.	26,920	25,900	28,500	0,542	15
Temp. C meio	26,393	25,200	28,000	0,599	15
Temp. C fundo	26,080	25,300	28,000	0,739	15
Prof. Secchi	78,400	60,000	90,000	92,543	15
pH superf.	7,137	7,000	7,250	0,007	15
pH meio	7,053	6,800	7,200	0,013	15
pH fundo	6,893	6,700	7,100	0,009	15
Sólidos suspensos	5,067	3,000	7,000	1,067	15
Conc. clorof.	6,606	1,550	12,710	63,226	15

Tabla 04 - Teste t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 30/03/1993

VARIÁVEL	X1 - X2	t calc.	t tab.
TS - TM	0,52	4,85*	1,701
TS - TF	0,84	7,35*	1,701
TM - TF	0,36	2,76*	1,701
pHS - pHM	0,09	2,34*	1,701
pHS - pHF	0,25	7,11*	1,701
pHM - pHF	0,16	3,95*	1,701

- média
- Primeira variável
- Segunda variável
- S - temperatura superficial
- M - temperatura meio
- F - temperatura fundo
- IS - pH superfície
- IM - pH meio
- IF - pH fundo
- significativo ao nível de 5%

abela 05 - Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 30/03/1993

	TEMP. SUP.	PROF. SECCHI	pH SUP.	SÓLIDOS SUSPENSOS	CONC. CLOROFILA
TEMP. SUP.	1				
PROF. SECCHI	0,278	1			
pH SUP.	-0,010	0,265	1		
SÓLIDOS SUSPENSOS	0,233	0,392	-0,305	1	
CONC. CLOROFILA	0,420	0,196	-0,067	0,615	1

Labela 06 - Profundidade efetiva das amostras coletadas em 30/03/1993.

Amostra	prof. superfície (cm)	prof. meio (m)	prof. fundo (m)
01	15,0	2,0	4,0
02	15,0	1,5	3,0
03	15,0	3,2	6,4
04	15,0	2,3	4,6
05	15,0	2,5	5,0
06	15,0	2,2	4,4
07	15,0	3,5	7,0
08	15,0	7,0	14,0
09	15,0	3,3	6,6
10	15,0	3,6	7,2
11	15,0	2,5	5,0
12	15,0	6,0	12,0
13	15,0	4,3	8,6
14	15,0	3,0	6,0
15	15,0	6,5	13,0

abela 07 - Dados de campo coletados em 18/06/1993

Amostra	T°C sup.	T°C meio	T°C fundo	Prof. Secchi (cm)	pH sup.	pH meio	pH fundo	sólidos suspensos (mg/l)	concentração clorofila (mg/m ³)
01	20,6	20,3	20,2	73	7,15	7,10	7,05	7,0	18,22
02	19,9	19,8	19,6	90	6,90	6,85	6,75	5,0	6,31
03	20,2	20,2	20,1	80	6,90	6,75	6,70	5,0	6,59
04	20,1	19,9	19,1	65	6,85	6,80	6,65	5,0	6,44
05	23,0	21,2	20,7	70	6,75	6,70	6,50	6,0	12,24
06	20,4	20,0	20,0	85	7,05	7,00	6,90	6,0	12,36
07	20,2	20,0	20,0	85	6,90	6,80	6,75	8,0	24,02
08	20,0	19,9	19,8	75	6,85	6,80	6,70	6,0	12,41
09	19,9	19,7	19,5	83	6,90	6,75	6,70	5,0	6,32
10	20,0	19,2	19,1	85	6,75	6,70	6,45	9,0	30,61
11	19,2	18,3	18,1	95	6,65	6,55	6,40	7,0	18,51
12	18,4	17,2	17,1	65	6,65	6,60	6,45	6,0	12,21
13	19,6	18,7	18,5	80	6,85	6,80	6,70	8,0	24,32
14	19,0	18,9	18,7	85	7,00	6,95	6,80	8,0	24,55
15	19,1	18,8	18,7	92	6,75	6,65	6,60	10,0	36,02

Tabela 08 - Análise estatística das amostras coletadas em 18/06/1993

	média	mínimo	máximo	variância	nº amostras
°C superf.	19,973	18,400	23,000	1,056	15
°C meio	19,413	18,300	21,200	0,947	15
°C fundo	19,280	17,100	20,700	0,891	15
Prof Secchi	80,533	65,000	95,000	85,552	15
pH superf.	6,860	6,650	7,150	0,019	15
pH meio	6,787	6,550	7,100	0,022	15
pH fundo	6,673	6,400	7,050	0,031	15
Sólidos suspensos	6,733	5,000	10,000	2,495	15
Conc. clorof.	16,742	6,310	36,020	89,003	15

Tabela 09 - Teste t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 18/06/1993

VARIÁVEL	X1 - X2	t calc.	t tab.
TS - TM	0,50	1,32NS	1,701
TS - TF	0,69	1,84*	1,701
TM - TF	0,19	0,52NS	1,701
pHS - pHM	0,07	1,30NS	1,701
pHS - pHF	0,19	3,18*	1,701
pHM - pHF	0,11	1,80 *	1,701

{ - média

1 - Primeira variável

2 - Segunda variável

TS - temperatura superficial

TM - temperatura meio

TF - temperatura fundo

pHS - pH superfície

pHM - pH meio

pHF - pH fundo

* - significativo ao nível de 5%

NS - não significativo

Tabela 10 - Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 18/06/1993

	TEMPERATURA SUPERFICIAL	PROFUNDIDADE SECCHI	pH SUPERFICIAL	SÓLIDOS SUSPENSOS	CONCENTRAÇÃO CLOROFILA
TEMPERATURA SUPERFICIAL	1				
PROFUNDIDADE SECCHI	-0,282	1			
pH SUPERFICIAL	0,197	-0,013	1		
SÓLIDOS SUSPENSOS	-0,264	0,426	-0,150	1	
CONCENTRAÇÃO CLOROFILA	-0,267	0,429	-0,150	0,999	1

Tabela 11 - Profundidade efetiva das amostras coletadas em 18/06/1993

mostra	prof. superfície (cm)	prof. meio (m)	prof. fundo (m)
01	15	2,2	4,4
02	15	1,6	3,2
03	15	3,2	6,4
04	15	2,4	4,8
05	15	2,4	4,8
06	15	2,3	4,6
07	15	3,6	7,2
08	15	7,5	15,0
09	15	3,3	6,6
10	15	3,5	7,0
11	15	2,6	5,2
12	15	6,5	13,0
13	15	4,0	8,0
14	15	3,2	6,4
15	15	7,0	14,0

abela 12 - Dados de campo coletados em 05/08/1993

Amostra	T°C sup:	T°C meio	T°C fundo	Prof. Secchi (cm)	pH sup.	pH meio	pH fundo	sólidos suspensos (mg/l)	concentraçã clorofila (mg/m ³)
01	18,6	17,9	17,6	142	7,36	7,29	7,25	1,0	1,00
02	19,0	18,6	18,5	110	7,26	7,20	7,16	7,0	24,12
03	18,8	18,5	18,0	100	7,30	7,24	7,20	9,0	30,16
04	19,3	19,0	18,7	110	7,19	7,14	7,10	8,0	18,55
05	19,7	19,5	19,0	118	7,22	7,18	7,15	7,0	12,22
06	19,4	19,0	18,7	110	7,35	7,29	7,26	7,0	18,71
07	19,2	18,5	18,0	118	7,32	7,27	7,23	6,0	12,31
08	20,8	19,9	19,5	125	7,26	7,20	7,16	5,0	6,74
09	20,2	19,5	19,0	122	7,35	7,31	7,28	6,0	18,25
10	19,8	19,6	19,3	125	7,25	7,20	7,17	5,0	6,00
11	20,0	19,7	19,4	118	7,31	7,27	7,24	6,0	12,51
12	20,6	20,0	19,3	128	7,21	7,17	7,14	3,0	1,72
13	19,9	19,5	19,2	130	7,29	7,26	7,21	2,0	1,25
14	21,0	20,4	20,0	122	7,34	7,31	7,26	6,0	12,60
15	20,7	19,8	19,1	128	7,24	7,20	7,17	3,0	1,75

Tabela 13 - Análise estatística das amostras coletadas em 05/08/1993

	média	mínimo	máximo	variância	n° amostras
°C superf.	19,800	18,600	21,000	0,569	15
°C meio	19,293	17,900	20,400	0,471	15
°C fundo	18,887	17,600	20,000	0,417	15
Prof. Secchi	120,400	100,000	142,000	105,686	15
pH superf.	7,289	7,190	7,360	0,003	15
pH meio	7,235	7,140	7,310	0,003	15
pH fundo	7,199	7,100	7,280	0,003	15
Sólidos suspensos	5,400	1,000	9,000	5,114	15
Conc. clorof.	11,859	1,000	30,160	79,791	15

Tabela 14 - Teste t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 05/08/1993

VARIÁVEL	X1 - X2	t calc.	t tab.
TS - TM	0,50	1,83*	1,701
TS - TF	0,91	3,42*	1,701
TM - TF	0,41	1,63NS	1,701
pHS - pHM	0,05	2,41*	1,701
pHS - pHF	0,08	3,86*	1,701
pHM - pHF	0,03	1,45NS	1,701

- média

- Primeira variável

- Segunda variável

S - temperatura superficial

M - temperatura meio

F - temperatura fundo

pHS - pH superfície

pHM - pH meio

pHF - pH fundo

* - significativo ao nível de 5%

NS - não significativo

Tabela 15 - Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 05/08/1993

	TEMP. SUP.	PROF. SECCHI	pH SUP.	SÓLIDOS SUSPENSOS	CONC. CLOROFILA
TEMP. SUP.	1				
PROF. SECCHI	0,317	1			
pH SUP.	-0,182	0,120	1		
SÓLIDOS SUSPENSOS	-0,243	-0,941	-0,092	1	
CONC. CLOROFILA	-0,439	-0,914	0,134	0,906	1

abela 16 - Profundidade efetiva das amostras coletadas em 05/08/1993

mostra	prof. superfície (cm)	prof. meio (m)	prof. fundo (m)
01	15	2,3	4,6
02	15	2,0	4,0
03	15	3,3	6,6
04	15	2,5	5,0
05	15	2,7	5,4
06	15	2,5	5,0
07	15	3,6	7,2
08	15	7,0	15,0
09	15	3,5	7,0
10	15	3,6	7,2
11	15	2,8	5,6
12	15	6,5	13,0
13	15	4,0	8,0
14	15	3,1	6,2
15	15	6,5	13,0

Tabela 17 - Dados de campo coletados em 09/11/1993

Amostra	T°C sup.	T°C meio	T°C fundo	Prof. Secchi (cm)	pH sup.	pH meio	pH fundo	sólidos suspensos (mg/l)	concentraç clorofila (mg/m ³)
01	25,8	25,2	24,9	138	7,32	7,28	7,23	1,0	1,08
02	25,6	25,3	25,0	107	7,28	7,25	7,20	8,0	24,26
03	25,9	25,5	25,2	103	7,31	7,27	7,23	9,0	30,61
04	26,1	25,8	25,6	110	7,22	7,17	7,14	7,0	18,73
05	26,4	25,9	25,6	116	7,23	7,18	7,15	6,0	12,54
06	26,7	26,4	26,0	112	7,40	7,36	7,31	7,0	18,91
07	27,0	26,6	26,3	118	7,33	7,28	7,24	6,0	12,26
08	26,9	26,3	26,0	126	7,30	7,25	7,22	5,0	6,51
09	27,0	26,4	26,2	119	7,33	7,28	7,26	7,0	18,78
10	27,3	26,9	26,5	125	7,25	7,21	7,18	5,0	6,57
11	27,7	27,5	27,1	119	7,30	7,26	7,23	6,0	12,31
12	27,9	27,5	27,0	132	7,23	7,19	7,16	3,0	1,72
13	28,0	27,7	27,3	130	7,30	7,24	7,21	2,0	1,25
14	27,8	27,5	27,0	119	7,33	7,28	7,25	6,0	12,41
15	28,1	27,7	27,2	130	7,24	7,18	7,15	3,0	1,75

Tabela 18 - Análise estatística das amostras coletadas em 09/11/1993

	média	mínimo	máximo	variância	n° amostras
°C superf.	26,947	25,600	28,100	0,719	15
°C meio	26,547	25,200	27,700	0,789	15
°C fundo	26,193	24,900	27,300	0,667	15
Prof. Secchi	120,267	103,000	138,000	98,067	15
pH superf.	7,291	7,220	7,330	0,003	15
pH meio	7,245	7,170	7,360	0,003	15
pH fundo	7,221	7,140	7,310	0,003	15
Sólidos suspensos	5,400	1,000	9,000	5,114	15
Conc. clorof.	11,979	1,080	30,610	81,531	15

Tabela 19 - Teste t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medi-
nas três profundidades em 09/11/1993

VARIÁVEL	X1 - X2	t calc.	t tab.
TS - TM	0,40	1,21NS	1,701
TS - TF	0,75	2,38*	1,701
TM - TF	0,35	1,08NS	1,701
pHS - pHM	0,05	2,78*	1,701
pHS - pHF	0,08	4,41*	1,701
pHM - pHF	0,03	1,59NS	1,701

- X - média
 X1 - Primeira variável
 X2 - Segunda variável
 TS - temperatura superficial
 TM - temperatura meio
 TF - temperatura fundo
 pHS - pH superfície
 pHM - pH meio
 pHF - pH fundo
 * - significativo ao nível de 5%
 NS - não significativo

abela 20 - Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 09/11/1993

	TEMP. SUP.	PROF. SECCHI	pH SUP.	SÓLIDOS SUSPENSOS	CONC. CLOROFILA
TEMPERATURA SUPERFICIAL	1				
PROFUNDIDADE SECCHI	0,514	1			
pH SUPERFICIAL	-0,084	-0,151	1		
SÓLIDOS SUSPENSOS	-0,446	-0,959	0,191	1	
CONCENTRAÇÃO CLOROFILA	-0,604	-0,957	0,264	0,947	1

abela 21 - Dados orbitais na imagem TM/LANDSAT de 09/11/1993

Amostra	B1*	B2*	B3*	B4*
01	76	37	36	12
02	88	47	46	14
03	89	48	46	14
04	86	45	44	14
05	85	44	42	13
06	87	45	44	14
07	85	43	41	13
08	82	42	40	13
09	87	46	45	14
10	82	41	40	13
11	85	43	41	13
12	80	40	38	12
13	77	39	36	12
14	85	44	42	13
15	79	40	38	12

- B1 - níveis de cinza referentes aos pontos de coleta na imagem na banda 1
 B2 - idem na imagem na banda 2
 B3 - idem na imagem na banda 3
 B4 - idem na imagem na banda 4

tabela 22 - Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água e dos dados orbitais de 09/11/1993

	B1	B2	B3	B4
prof. Secchi	-0,941	-0,954	-0,935	-0,896
ól. suspensos	0,990	0,981	0,972	0,933
onc. clorofila	0,935	0,961	0,961	0,926

tabela 23 - Análise de regressão múltipla entre variáveis medidas na água e variáveis orbitais de 09/11/1993

V. Dependente	V. Correlacionada (s)	coef. determinação
Banda 1	sólidos	0,979
Banda 1	sólidos, Secchi	0,980
Banda 1	sólidos, Secchi, clorofila	0,980
Banda 2	sólidos	0,962
Banda 2	sólidos, clorofila	0,972
Banda 2	sólidos, Secchi, clorofila	0,972
Banda 3	sólidos	0,945
Banda 3	sólidos, clorofila	0,961
Banda 3	sólidos, Secchi, clorofila	0,966
Banda 4	sólidos	0,871
Banda 4	sólidos, clorofila	0,888
Banda 4	sólidos, Secchi, clorofila	0,894

Equações para estimar as variáveis dependentes

anda 1 = 74,0456 + 1,7569.sólidos
 anda 1 = 68,8705 + 0,0362.Secchi + 1,9089.sólidos
 anda 1 = 67,6249 + 0,0459.Secchi + 1,8840.sólidos + 0,0174.clorofila

 anda 2 = 35,6629 + 1,3465.sólidos
 anda 2 = 36,5667 + 0,9414.sólidos + 0,1071.clorofila
 anda 2 = 35,4634 + 0,0079.Secchi + 0,9589.sólidos + 0,1113.clorofila

 anda 3 = 33,5437 + 1,4301.sólidos
 anda 3 = 34,7690 + 0,8811.sólidos + 0,1452.clorofila
 anda 3 = 20,9091 + 0,1007.Secchi + 1,1025.sólidos + 0,1977.clorofila

 anda 4 = 11,2867 + 0,3296.sólidos
 anda 4 = 11,5932 + 0,1922.sólidos + 0,0363.clorofila
 anda 4 = 7,9442 + 0,0263.Secchi + 0,2506.sólidos + 0,0501.clorofila

Tabela 24 - Profundidade efetiva das amostras coletadas em 09/11/1993

mostra	prof. superfície (cm)	prof. meio (m)	prof. fundo (m)
01	15	3,5	7,0
02	15	3,0	6,0
03	15	4,5	9,0
04	15	3,0	6,0
05	15	4,0	8,0
06	15	3,6	7,2
07	15	4,5	9,0
08	15	8,5	17,0
09	15	4,5	9,0
10	15	4,6	9,2
11	15	3,5	7,0
12	15	7,5	15,0
13	15	5,5	11,0
14	15	4,0	8,0
15	15	8,0	16,0

Tabela 25 - Dados de campo coletados em 01/03/1994

Amostra	T°C sup.	T°C meio	T°C fundo	Prof. Secchi (cm)	pH sup.	pH meio	pH fundo	sólidos suspensos (mg/l)	concentração clorofila (mg/m ³)
01	29,6	29,2	29,1	68	7,28	7,21	7,20	4,0	3,22
02	29,9	29,3	29,0	46	7,15	7,13	7,09	36,0	40,51
03	30,5	30,0	29,5	40	7,34	7,31	7,27	44,0	45,26
04	30,2	29,2	29,0	50	7,27	7,24	7,19	30,0	30,51
05	27,3	29,0	28,8	55	7,31	7,29	7,25	22,0	24,50
06	30,5	29,9	29,6	48	7,36	7,30	7,26	28,0	32,21
07	29,9	29,6	29,2	56	7,41	7,36	7,31	20,0	26,09
08	29,2	28,9	28,6	60	7,14	7,39	7,32	16,0	18,61
09	29,0	28,8	28,5	50	7,34	7,32	7,27	28,0	28,92
10	29,0	29,6	28,3	60	7,39	7,37	7,33	14,0	21,62
11	29,4	29,0	28,6	55	7,36	7,35	7,32	20,0	23,92
12	29,5	29,2	29,1	65	7,45	7,42	7,38	8,0	10,16
13	29,7	29,6	29,3	65	7,40	7,37	7,32	8,0	9,17
14	30,2	30,0	29,6	54	7,34	7,28	7,22	22,0	24,53
15	30,6	29,9	29,6	63	7,36	7,33	7,29	12,0	15,16

abela 26 - Análise estatística das amostras coletadas em 01/03/1994

	média	mínimo	máximo	variância	n° amostras
°C superf.	29,633	27,300	30,600	0,695	15
°C meio	29,413	28,800	30,000	0,171	15
°C fundo	29,053	28,300	29,600	0,181	15
rof. Secchi	55,667	40,000	68,000	63,095	15
H superf.	7,327	7,140	7,450	0,007	15
H meio	7,311	7,130	7,420	0,006	15
H fundo	7,268	7,090	7,380	0,005	15
ól.suspensos	20,800	4,000	44,000	122,743	15
onc.clorofila	23,626	3,220	45,260	129,822	15

abela 27 - Teste t-Student para as variáveis temperatura e pH da água medida nas três profundidades em 01/03/1994

VARIÁVEL	X1 - X2	t calc.	t tab.
TS - TM	0,22	0,88NS	1,701
TS - TF	0,58	2,32*	1,701
TM - TF	0,36	1,43NS	1,701
pHS - pHM	0,02	0,62NS	1,701
pHS - pHF	0,06	1,90*	1,701
pHM - pHF	0,05	1,81*	1,701

X - média

1 - Primeira variável

2 - Segunda variável

TS - temperatura superficial

TM - temperatura meio

TF - temperatura fundo

pHS - pH superfície

pHM - pH meio

pHF - pH fundo

* - significativo ao nível de 5%

NS - não significativo

abela 28 - Valores dos coeficientes de correlação entre dados reais da água de 01/03/1994

	TEMPERATURA SUPERFICIAL	PROFUNDIDADE SECCHI	pH SUPERFICIAL	SÓLIDOS SUSPENSOS	CONCENTRAÇÃO CLOROFILA
TEMPERATURA SUPERFICIAL	1				
PROFUNDIDADE SECCHI	-0,217	1			
pH SUPERFICIAL	0,075	0,252	1		
SÓLIDOS SUSPENSOS	0,218	-0,992	-0,311	1	
CONCENTRAÇÃO CLOROFILA	0,204	-0,981	-0,269	0,981	1

Tabela 29 - Profundidade efetiva das amostras em 01/03/1994

mostra	prof. superfície (cm)	prof. meio (m)	prof. fundo (m)
01	15	2,5	5,0
02	15	2,2	4,4
03	15	3,5	7,0
04	15	2,5	5,0
05	15	2,7	5,4
06	15	2,6	5,2
07	15	4,1	8,2
08	15	7,9	15,8
09	15	4,2	8,4
10	15	3,9	7,8
11	15	3,0	6,0
12	15	6,7	13,4
13	15	4,0	8,0
14	15	2,6	5,2
15	15	7,3	14,6

abela 30 - Teste t-Student para sólidos, clorofila e Secchi entre as datas:
 (30/03 e 09/11/1993; 18/06 e 09/11/1993; 05/08 e 09/11/1993;
 01/03/1994 e 09/11/1993)

DATAS	VARIÁVEIS	X1 - X2	t calc.	t tab.
30/03 e 09/11	sólidos	0,33	0,5NS	1,701
	clorofila	5,36	2,01*	1,701
	Secchi	41,86	11,34*	1,701
18/06 e 09/11	sólidos	-1,33	1,80*	1,701
	clorofila	-4,77	1,37NS	1,701
	Secchi	39,73	10,96*	1,701
05/08 e 09/11	sólidos	0,00	0,00NS	1,701
	clorofila	0,12	0,03NS	1,701
	Secchi	0,14	0,04NS	1,701
01/03 e 09/11	sólidos	-15,39	5,09*	1,701
	clorofila	-11,65	2,99*	1,701
	Secchi	66,60	15,63*	1,701

APÊNDICE

APÊNDICE 1

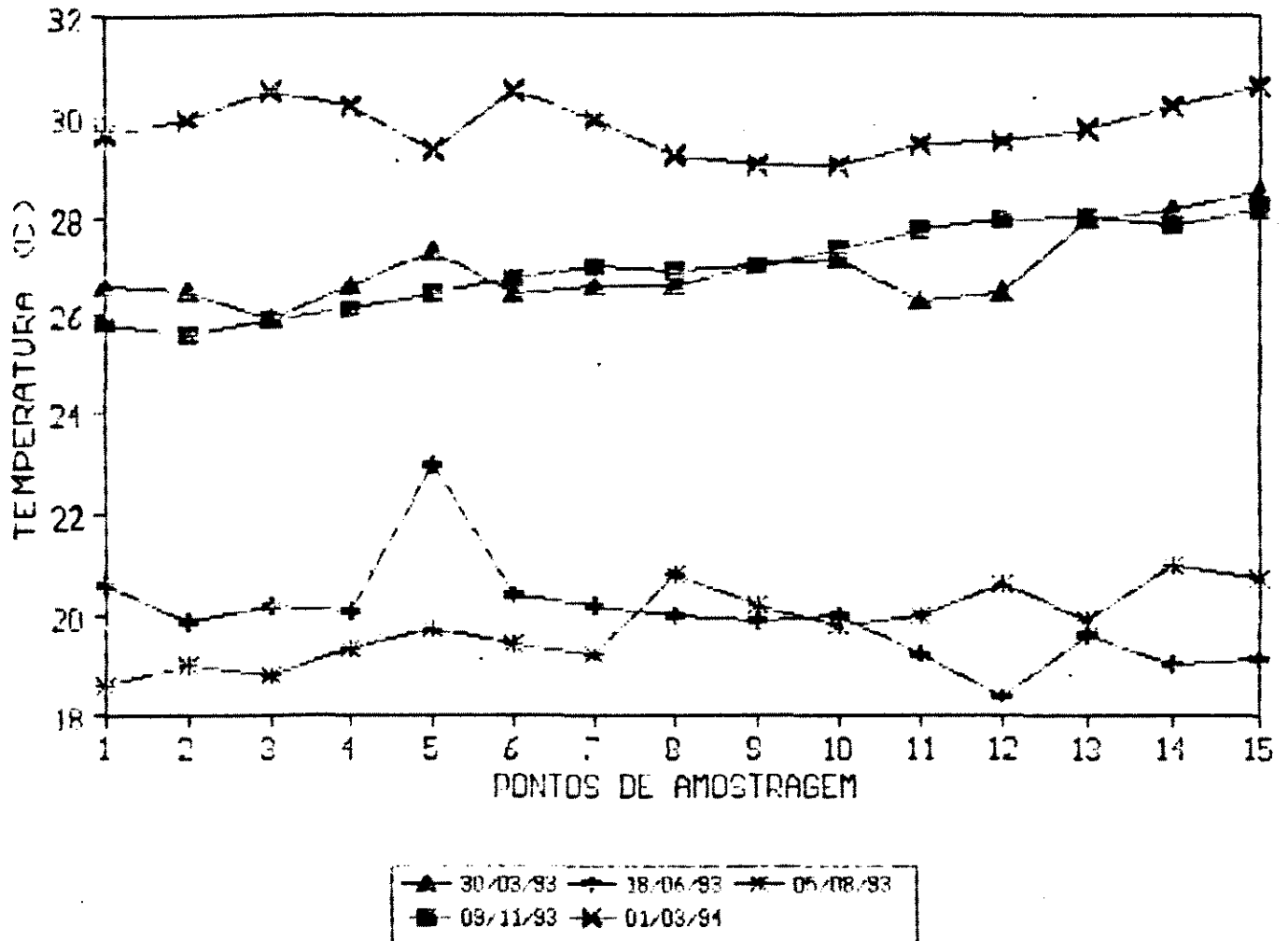


Fig.1 - Temperatura superficial da represa

APÊNDICE 2

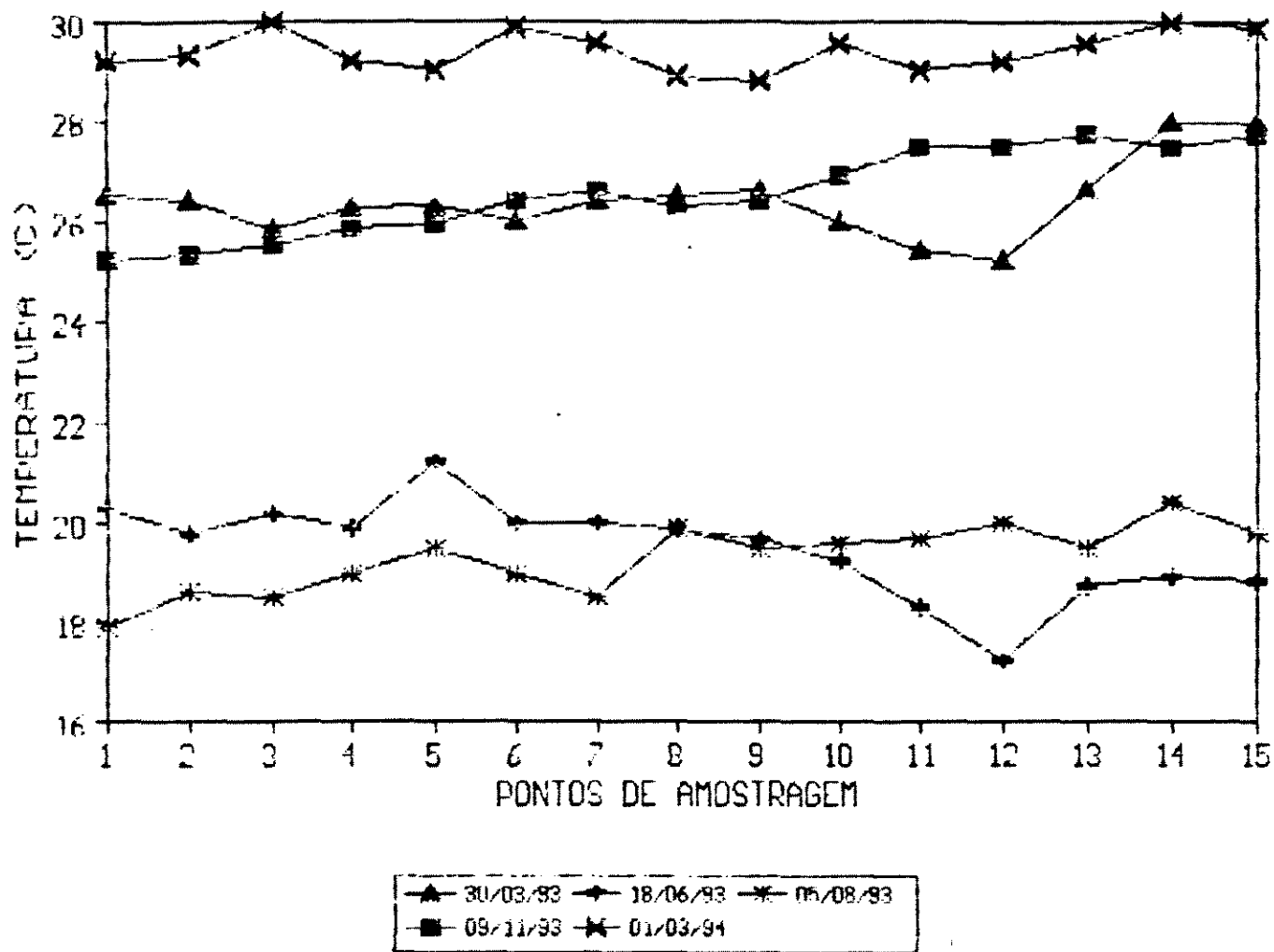


Fig. 2 - Temperatura do meio da represa

APÊNDICE 3

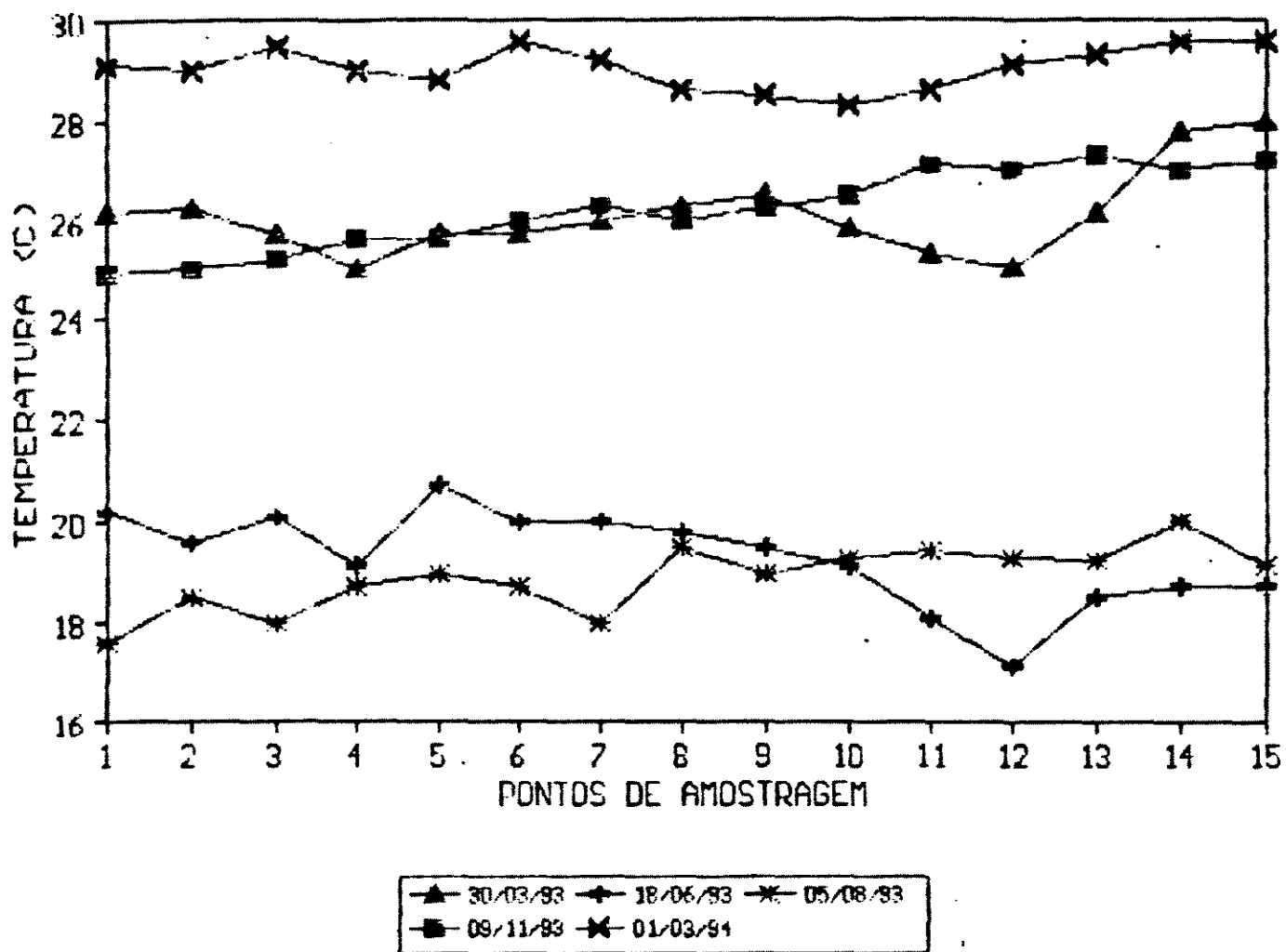


Fig. 3 - Temperatura do fundo da represa

APÊNDICE 4

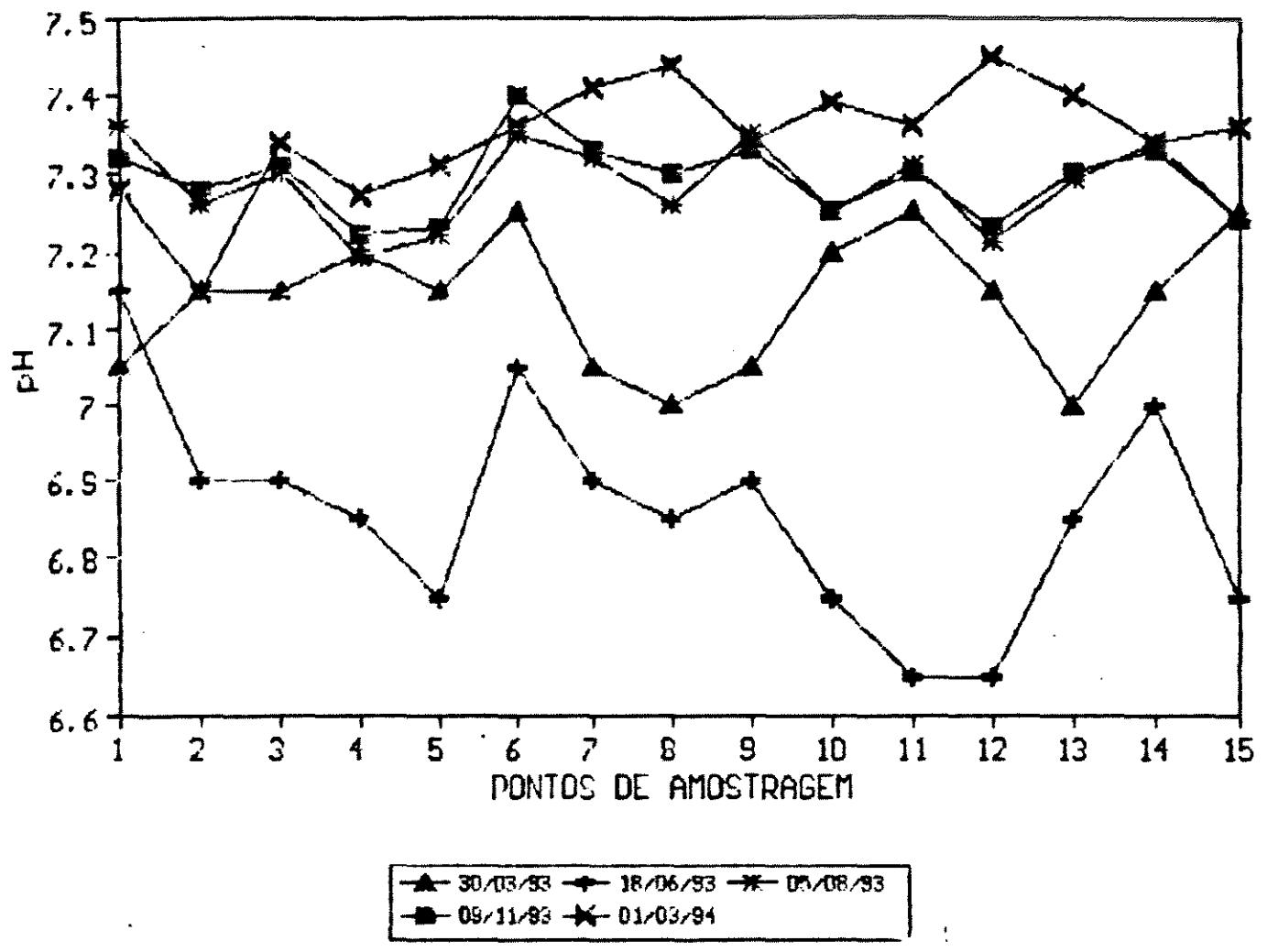


Fig. 4 - pH da superfície da represa

APÊNDICE 5

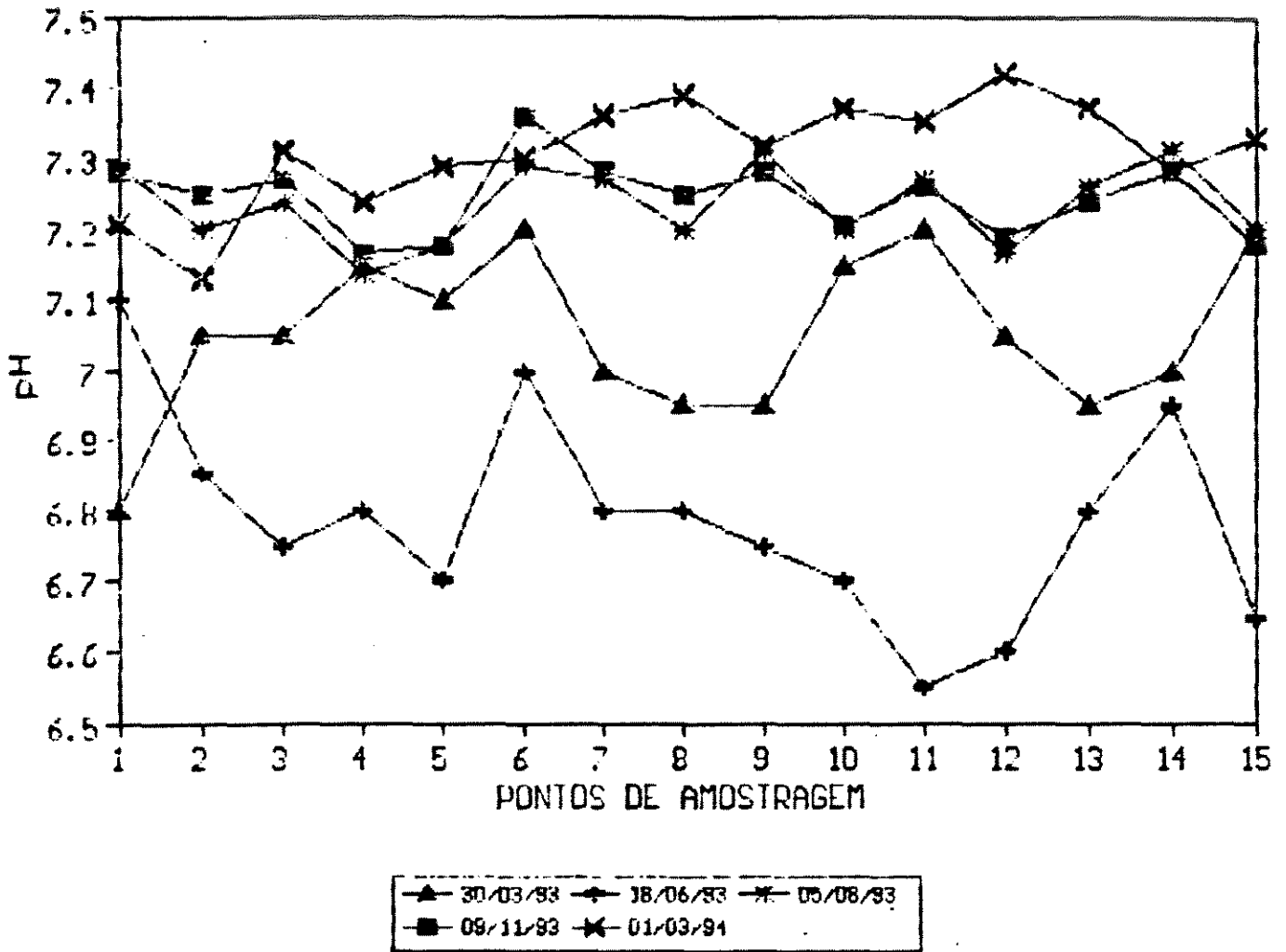


Fig.5 - pH do meio da represa

APÊNDICE 6

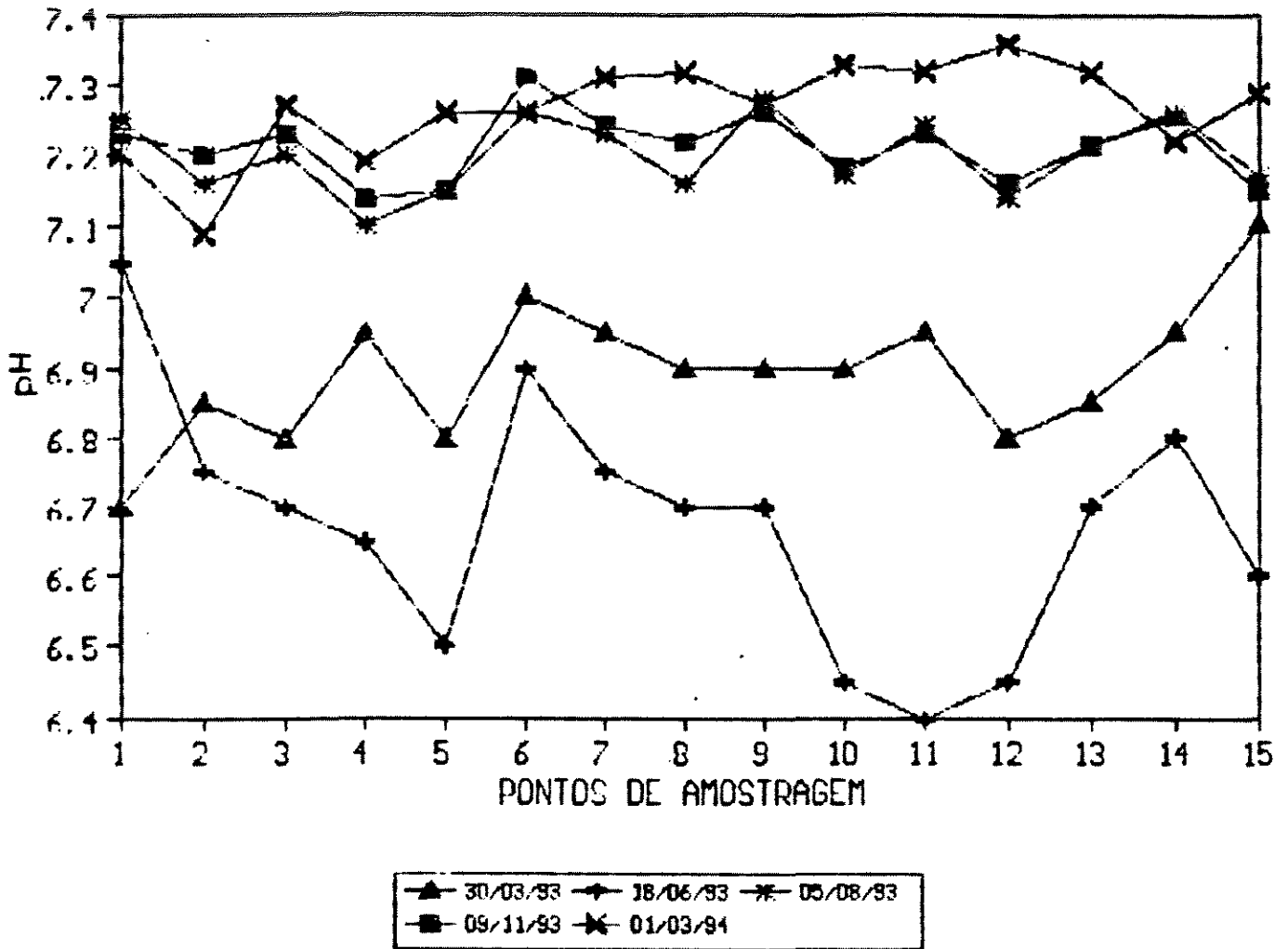


Fig. 6 - pH do fundo da represa

APÊNDICE 7

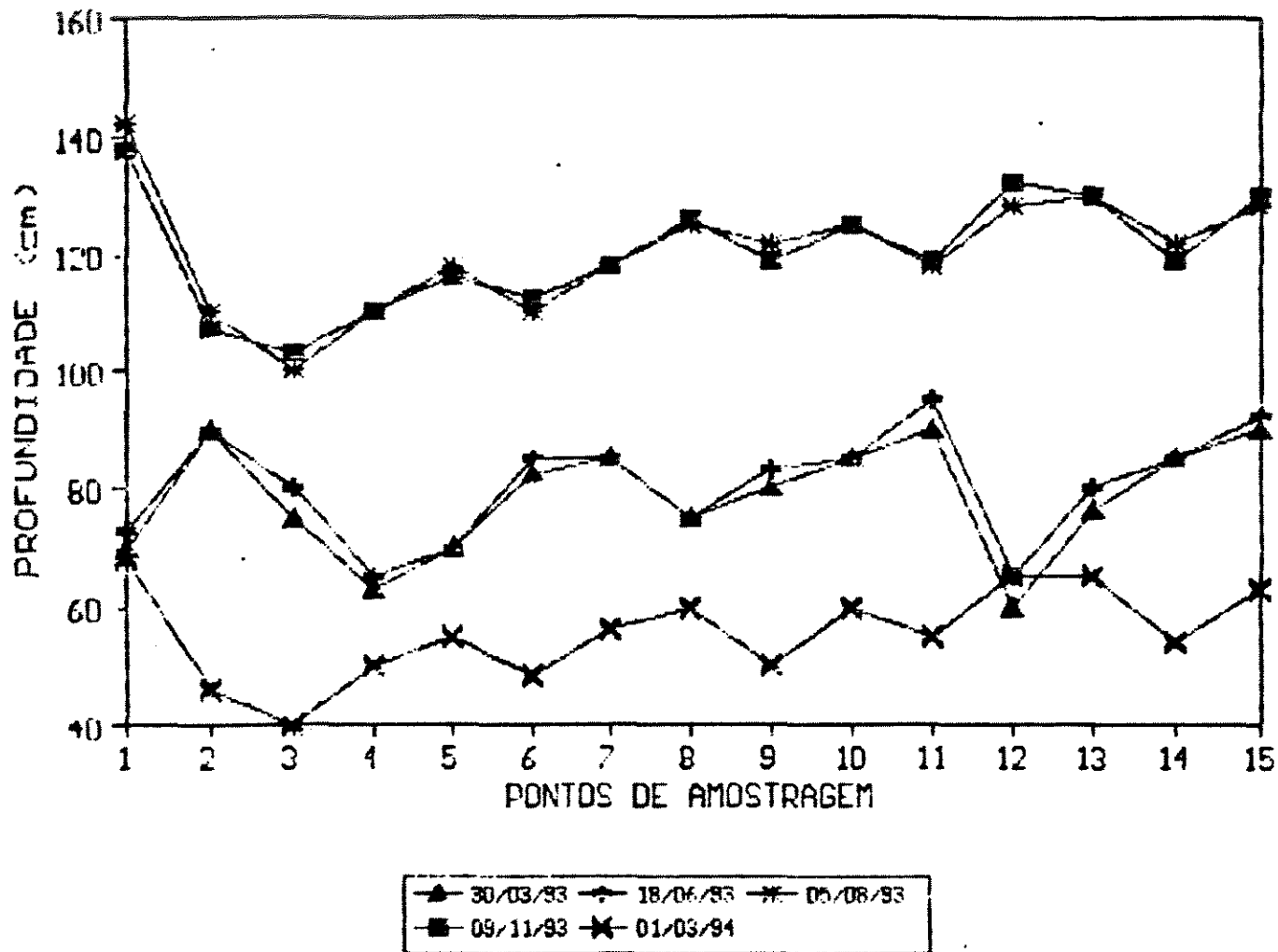


Fig. 7 - Profundidade Secchi da represa

APÊNDICE 9

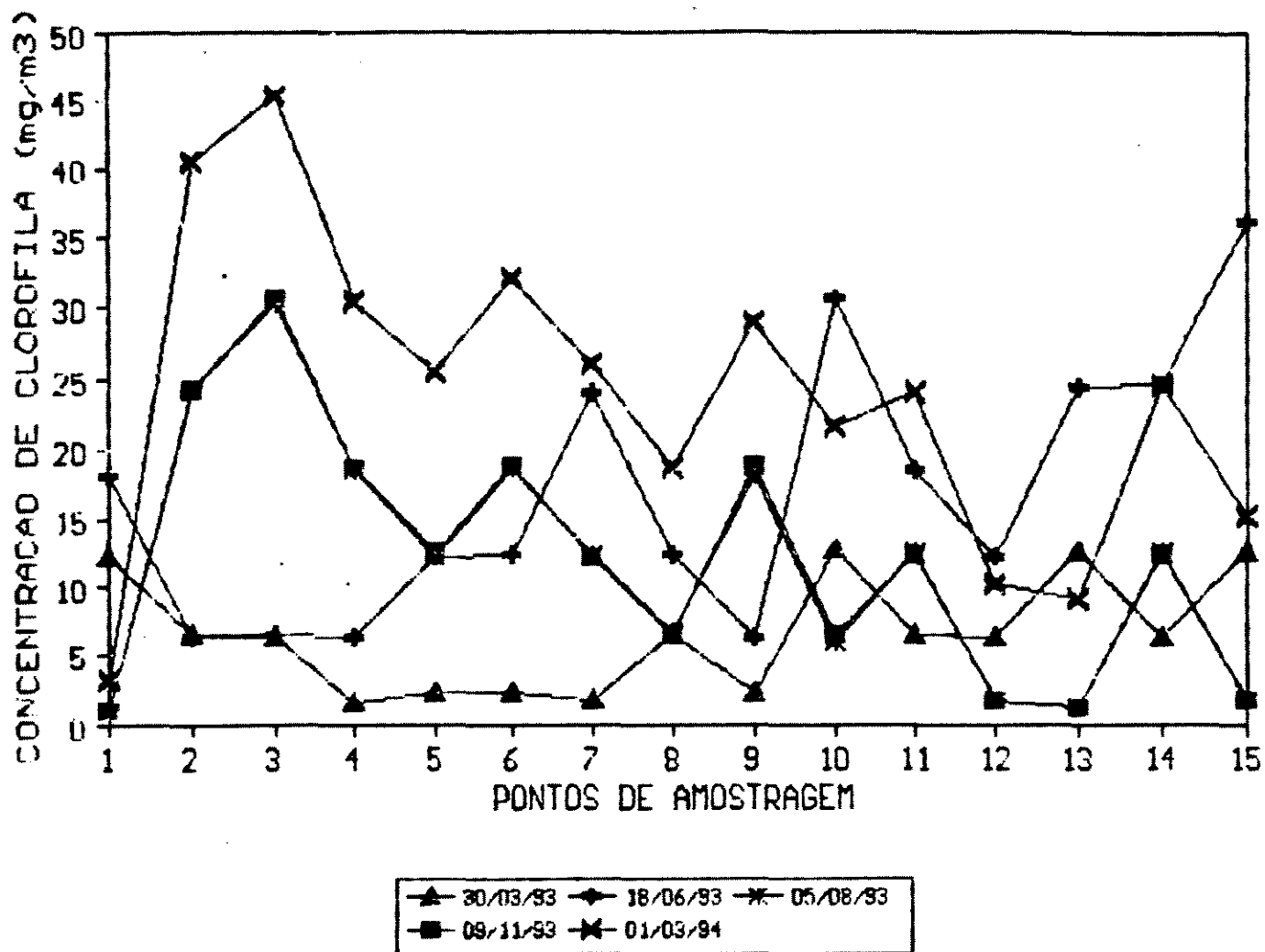


Fig. 9 - Concentração de clorofila na represa

APÊNDICE 8

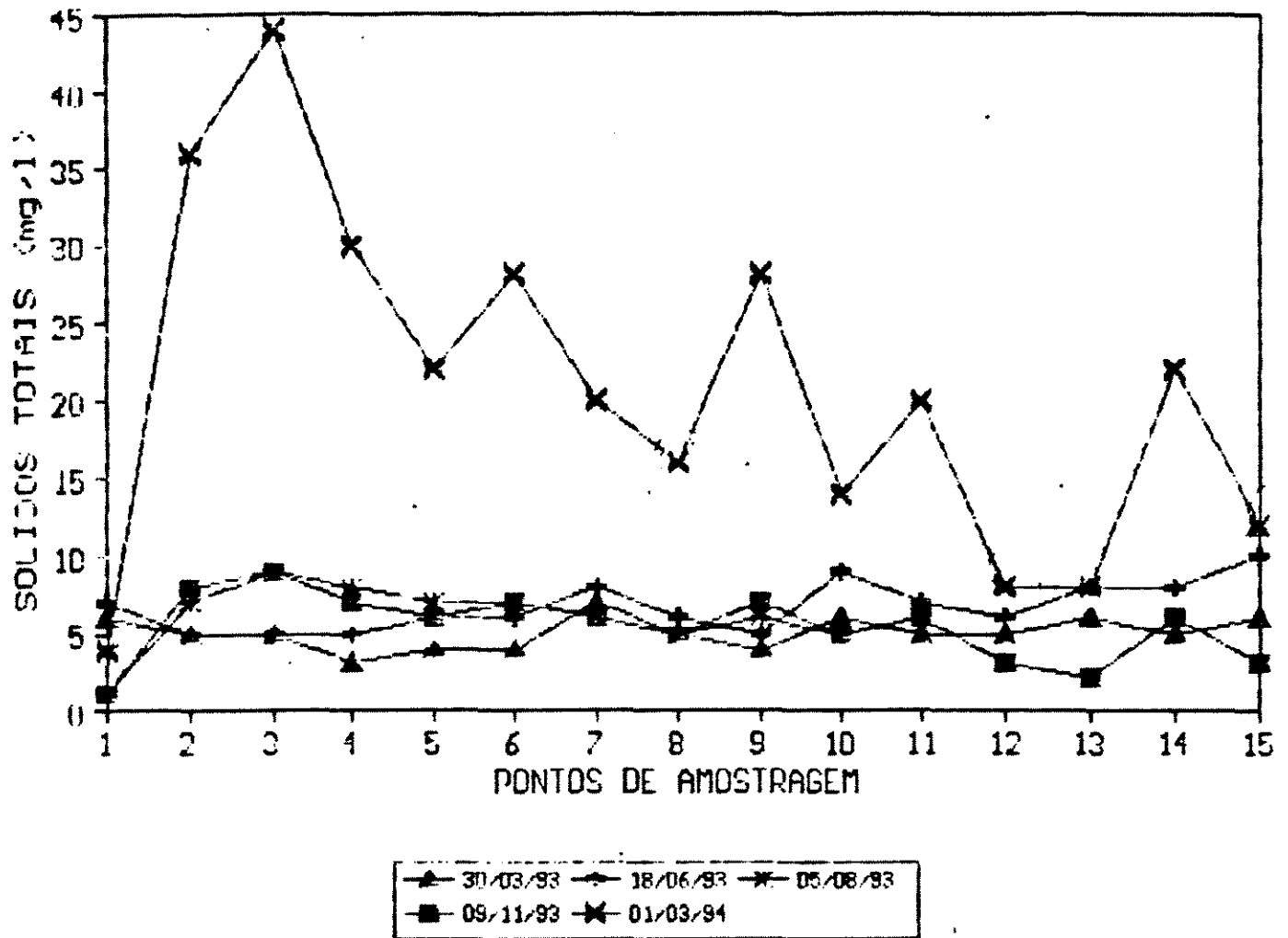


Fig. 8 - Teor de sólidos em suspensão na represa

APÊNDICE 10

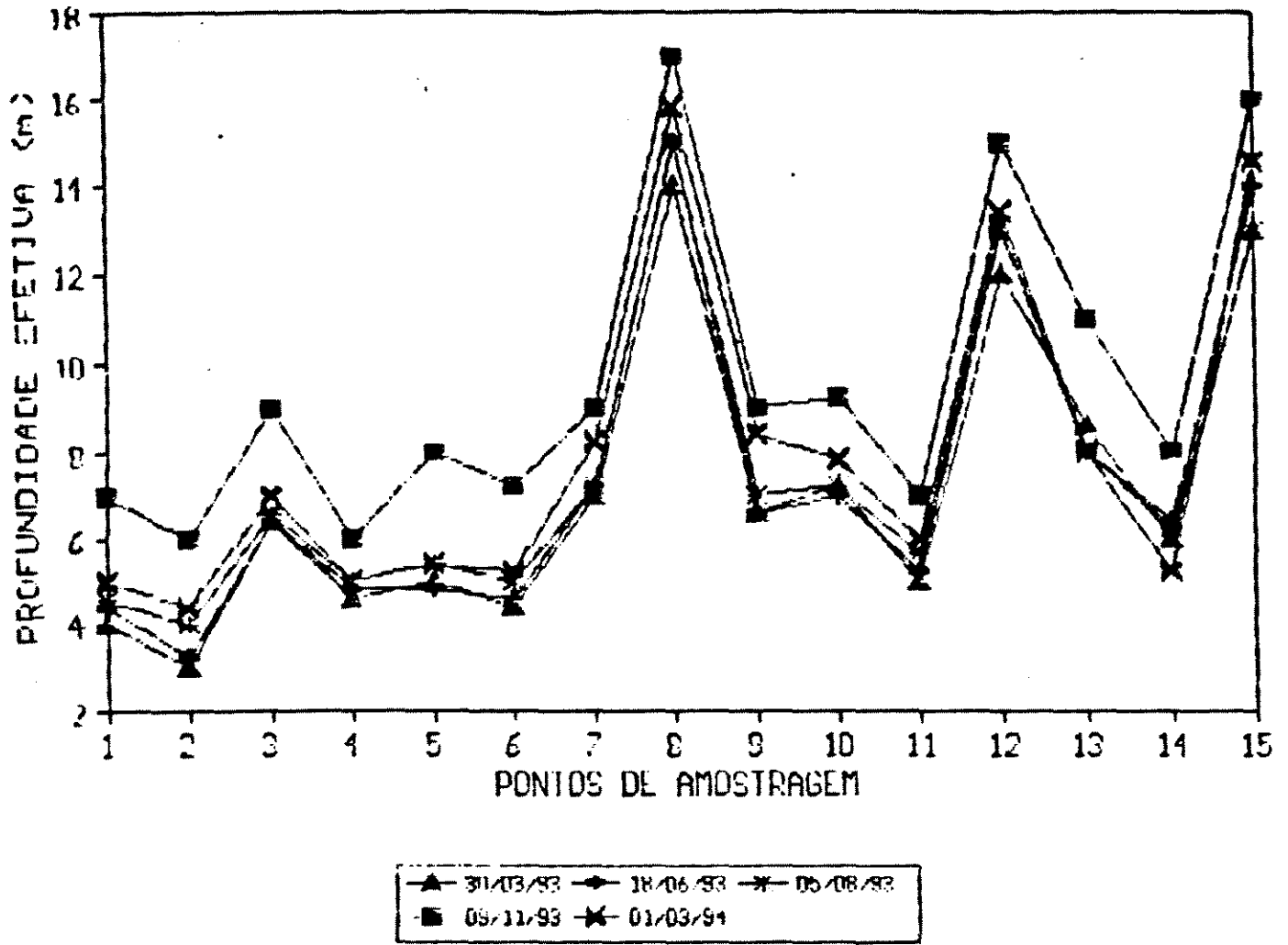
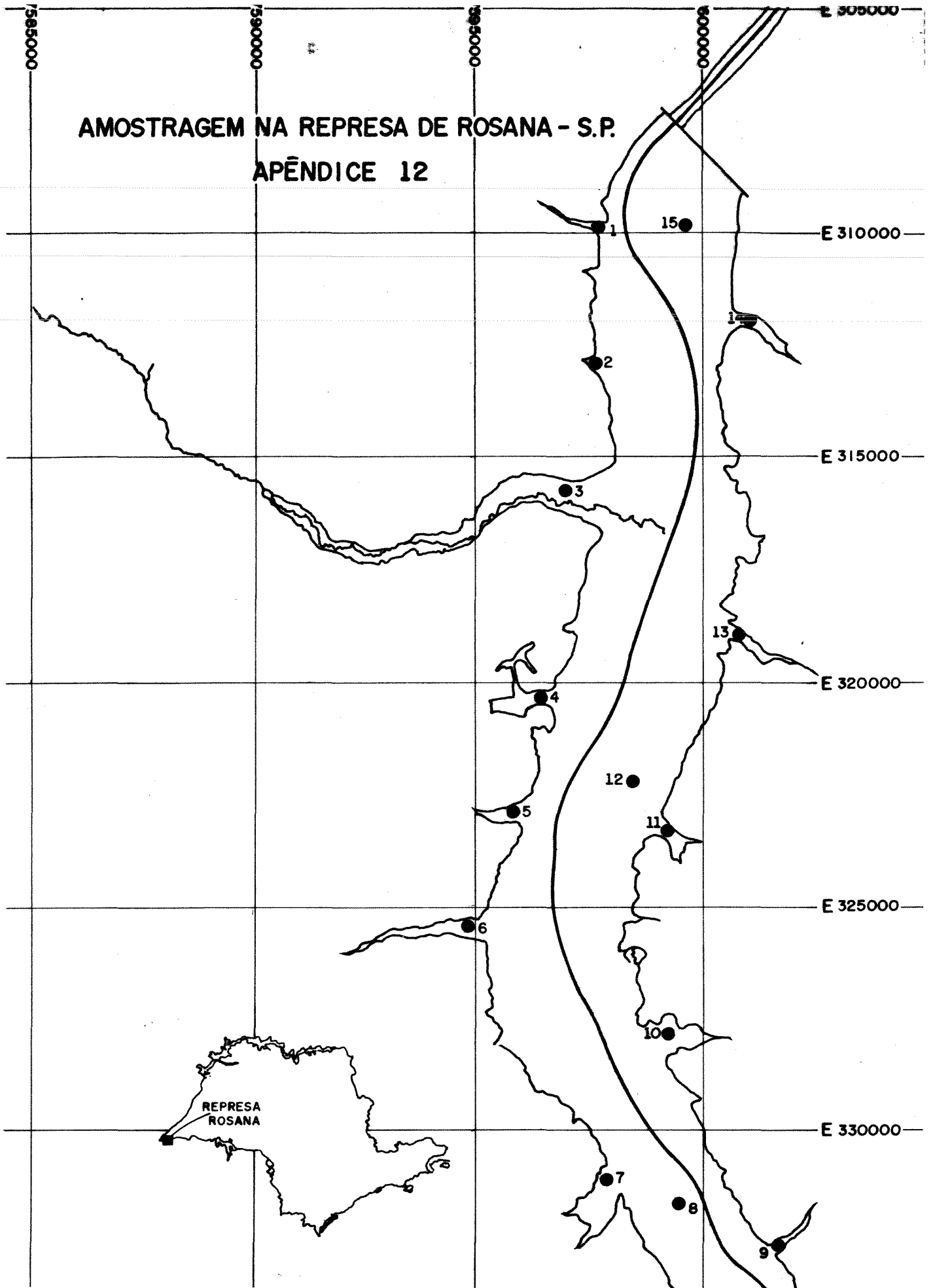


Fig. 10 - Profundidade efetiva da represa



FIGURA 11 - Vista aérea da represa de Rosana-S.P.

AMOSTRAGEM NA REPRESA DE ROSANA - S.P.
APÊNDICE 12



ABSTRACT

The scope of this study was to develop a methodology using the orbital remote sensing methods to evaluate dam's water quality for pisciculture purposes. The orbital data from satellite TM-LANDSAT 5 were compared with water parameters such as: Secchi depth, total solids in suspension and chlorophyll concentration. The samples were taken the same day of the orbital image. During the sampling were measured the water temperature and water pH (surface, half depth and bottom of the dam). The pH, the temperature, and the chlorophyll concentration and solids in suspension were determined in the laboratory. The satellite image was digitally treated. The grey levels was extracted and statistically correlated to the parameters sampled. The results showed that as the chlorophyll content and solids in suspension increased, the Secchi depth value decreased. The pH varied between 6 and 8. It was observed a significant correlation among the parameters sampled and the orbital data.