

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

**ALESSANDRO RIBEIRO DE SOUSA**

**DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA PELO  
FITOPLÂNCTON EM ZONA EUFÓTICA NA REPRESA SAMAMBAIA,  
GOIÂNIA-GO.**

**Goiânia  
2009**

**ALESSANDRO RIBEIRO DE SOUSA**

**DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA PELO  
FITOPLÂNCTON EM ZONA EUFÓTICA NA REPRESA SAMAMBAIA,  
GOIÂNIA-GO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

**Área de concentração do programa:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Orlene Silva da Costa.

Goiânia  
2009

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S275e Sousa, Alessandro Ribeiro de  
Determinação da produtividade primária pelo fitoplâncton em zona eufótica na represa Samambaia, Goiânia-GO / Alessandro Ribeiro de Sousa. -- Goiânia, 2009.  
117 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, 2009.

Orientadora: Dra. Orlene da Silva Costa

Banca examinadora: Dra. Orlene da Silva Costa, Dr. Ademir João Camargo, Dr. Nora Kátia Saavedra Del Aguila.

Bibliografia

1. Recursos Hídricos. 2. Limnologia. I. Título.

CDD 627.8

**ALESSANDRO RIBEIRO DE SOUSA**

**DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA PELO  
FITOPLÂNCTON EM ZONA EUFÓTICA NA REPRESA SAMAMBAIA,  
GOIÂNIA-GO.**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, em 06 de julho de 2009, avaliada pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Orlene Silva da Costa – UFG  
Presidente da Banca

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nora Kátia Saavedra Del Aguila – UFG  
Examinador Interno

---

Prof. Dr Ademir João Camargo – UEG  
Examinador Externo

*A Deus, aos meus pais, meus avós José e Ivone  
e meu querido irmão André que jamais me deixaram só  
nessa importante caminhada em minha vida.*

Eu gostaria de presentear meus colegas tolos com as partes que não são difíceis. Domine-as completamente e a compreensão das demais partes ocorrerá naturalmente. O que um tolo pode fazer outros também poderão.

*SILVANUS P. THOMPSON*

## **Agradecimentos**

Aos meus pais Emília e Adelci pela confiança, apoio e amor incondicionais sem os quais jamais seria possível essa fase tão importante de minha vida. Meu amor por vocês é infinito.

Aos meus queridos e estimados avós maternos José e Ivone fonte infinita de amor, inspiração, confiança, perseverança, luta, coragem, dedicação. Não imagino como tudo teria sido possível sem o amor de vocês. Vocês estarão eternamente em meu coração. Amo muito vocês.

Ao meu querido irmão André pelo apoio e incentivo, por sempre me fazer acreditar que tudo é absolutamente possível sempre que há dedicação, suor e principalmente amor e paixão pelo que se faz. Você é minha fonte de inspiração. Amor pela profissão é o segredo do sucesso.

Ao Wennyso Barbosa pelo apoio e paciência nos momentos de dificuldade. Seu incentivo e palavras sábias foram fundamentais para me tornar mais forte nesta nova fase de minha vida. Obrigado por tudo.

À Professora, amiga, incentivadora Orlene, que em nenhum momento deixou de depositar sua confiança em minha capacidade, que nunca me deixou desistir e que sempre esteve ao meu lado mesmo nos momentos mais difíceis. À professora e amiga que tanto me ensinou, jamais me esquecerei de sua dedicação, apoio e confiança.

À amiga Francismeire pela amizade incondicional, apoio, ajuda e palavras de sabedoria. Meu braço direito sem o qual este trabalho não teria sido possível de ser executado. Às longas e longas horas de coleta debaixo de chuva ou sol, obrigado pela imensurável ajuda.

À todos os meus colegas de mestrado pelos momentos de estudos, convivência e aprendizado.

Ao Professor Paulo César, da escola de veterinária da UFG, pelo apoio logístico e por disponibilizar todo material e pessoal utilizados nas coletas de campo. Suas recomendações para dissertação foram fundamentais para melhoria do trabalho.

Ao Professor Eduardo Queija, também amigo, pelas dicas, oportunidade e aprendizado fundamentais para a conquista deste tão importante título.

Aos amigos Paulo Sales e Rodrigo Gennari pela longa e importante amizade, pessoas que me acompanham desde o início desta árdua caminhada de minha formação profissional. Obrigado por tudo meus grandes amigos.

Aos amigos Welton, Susana, Gláucia, Frann, Leila, Victor, Raquel pelo grande e importante incentivo dado.

À colega e amiga de mestrado Susi Brandelero pelo enorme apoio e amizade.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás na figura do Prof. José Carlos pela permissão de uso dos seus laboratórios para execução de parte das análises físico químicas.

Ao Instituto de Pesquisas do Estado do Amapá (IEPA) e em especial ao Prof. Dr. Alan Cunha pelas oportunidades dadas.

À Universidade Federal de Goiás e Escola de Engenharia Civil pela oportunidade de estudo.

À todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar e determinar a produtividade do fitoplâncton, em zona eufótica, na Represa Samambaia na cidade de Goiânia, GO. O estudo envolveu coletas e medidas em campo da produtividade e de dados físico químicos relacionados com a produção primária. No total foram avaliados 16 parâmetros físico químicos cujas faixas de variação foram: (1) temperatura 24,3°C e 31,8°C; (2) oxigênio dissolvido 2,8 a 7,2 mg.L<sup>-1</sup>; (3) turbidez 5,9 a 54,1 UNT; (4) cor aparente 97 a 547 mgPt.L<sup>-1</sup>; (5) cor verdadeira 53 a 301 mgPt.L<sup>-1</sup>; (6) condutividade 42,6 a 66,0 Ohm.cm<sup>-1</sup>; (7) sólidos totais 0,030 a 3075,000 mg.L<sup>-1</sup>; (8) sólidos suspensos 0,009 a 0,160 mg.L<sup>-1</sup>; (9) sólidos dissolvidos totais 0,010 a 3074,000 mg.L<sup>-1</sup>; (10) clorofila-a 0,0 a 80,1 µg.L<sup>-1</sup>; (11) alcalinidade 34,06 a 64,10 mg.L<sup>-1</sup>; (12) pH 6,2 a 7,39; (13) nitrato 0,18 a 1,76 mg.L<sup>-1</sup>; (14) nitrogênio amoniacal 0,024 a 0,307 mg.L<sup>-1</sup>; (15) DQO 5,81 a 23,60 mg.L<sup>-1</sup>; (16) fósforo total < 10,0 µg.L<sup>-1</sup>. Os valores de fotossíntese e a respiração ficaram na faixa entre: de 0,0 a 328,08 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> para a fotossíntese e 0,00 a 301,37 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> para a respiração. A análise multivariadas dos dados identificou 3 grupos inter-relacionados a seguir: (1) fotossíntese, respiração, nitrato, nitrogênio amoniacal, sólidos suspensos, fósforo total, alcalinidade, DQO, temperatura, oxigênio dissolvido, pH; (2) sólidos totais, sólidos dissolvidos totais; (3) turbidez, cor verdadeira, cor aparente, clorofila-a, condutividade. O valor da média produtividade bruta no período de estudo foi de 75,05 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, o que classificou a Represa Samambaia como eutrófica. A variação espacial e temporal da fotossíntese e respiração revelou que o ponto com maiores valores de fotossíntese bruta e respiração foi o da barragem com médias de 95,35 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> e 81,89 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os cálculos dos coeficientes da taxa de fotossíntese mostraram que os maiores coeficientes de fotossíntese, para equações de primeira ordem, foram para o mês de dezembro cujos valores foram: (1) 0,2067 h<sup>-1</sup> para barragem; (2) 0,0608 h<sup>-1</sup> para o meio da represa e (3) 0,0978 h<sup>-1</sup> para zona de tributário. Com relação aos coeficientes de respiração os maiores valores foram: (1) para o mês de setembro na zona de barragem e meio, os valores foram 0,0398 h<sup>-1</sup> e 0,0245 h<sup>-1</sup>, respectivamente; (2) 0,0216 h<sup>-1</sup> para o mês de dezembro na zona de tributário, portanto, o reservatório apresentou-se anóxico no mês de setembro de 2008. Em síntese, a Represa Samambaia apresentou-se como eutrófica, com maiores taxas e coeficientes de fotossíntese e respiração nas zonas de barragem e meio da represa, em que a zona de barragem se apresentou mais suscetível à eutrofização.

**Palavras Chave:** fotossíntese, respiração, reservatório, produtividade, fitoplancton.

### ABSTRACT

This study evaluated and determined the productivity of phytoplankton in euphotic zone in Samambaia Reservoir at Goiânia city, GO. The work involved productivity and physical chemistry sampling and measures, *in loco*, of data related to primary production. It was evaluated 16 physical chemistry parameters where the ranges of variation were: (1) temperature from 24,3°C to 31,8°C; (2) dissolved oxygen from 2,8 to 7,2 mg.L<sup>-1</sup>; (3) turbidity from 5,9 to 54,1 UNT; (4) apparent color 97 to 547 mgPt.L<sup>-1</sup>; (5) true color from 53 to 301 mgPt.L<sup>-1</sup>; (6) conductivity from 42,6 to 66,0 Ohm.cm<sup>-1</sup>; (7) total solids from 0,030 to 3075,000 mg.L<sup>-1</sup>; (8) suspended solids from 0,009 to 0,160 mg.L<sup>-1</sup>; (9) total dissolved solids from 0,010 to 3074,000 mg.L<sup>-1</sup>; (10) chlorophyll-a from 0,0 to 80,1 µg.L<sup>-1</sup>; (11) alkalinity from 34,06 to 64,10 mg.L<sup>-1</sup>; (12) pH from 6,2 to 7,39; (13) nitrate from 0,18 to 1,76 mg.L<sup>-1</sup>; (14) ammonia nitrogen from 0,024 to 0,307 mg.L<sup>-1</sup>; (15) COD 5,81 a 23,60 mg.L<sup>-1</sup>; total phosphorus < 10,0 µg.L<sup>-1</sup>. The values of the photosynthesis and respiration were ranged among: 0,0–328,08 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> for the photosynthesis and 0,00–301,37 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> for the respiration. The multivariate analysis of the data identified 3 inter-related groups as following: (1) photosynthesis, respiration, nitrate, ammonia nitrogen, suspended solids, total phosphorus, alkalinity, COD, temperature, dissolved oxygen, pH, (2) total solids, total dissolved solids, (3) turbidity, true color, apparent color, chlorophyll-a, conductivity. The value of the gross productivity average in the study period was 75,05 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, which classified the Samambaia Reservoir as eutrophic. The spatial and temporal variation of photosynthesis and respiration showed that the place with highest values of gross photosynthesis and respiration was the dam with averages of 95,35 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> and 81,89 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, respectively. The calculations of the coefficients of rate photosynthesis showed that the highest coefficients of photosynthesis, for first order equations, were for the December month whose values were: (1) 0,2067 h<sup>-1</sup> for the dam; (2) 0,0608 h<sup>-1</sup> for the middle reservoir and (3) 0,0978 h<sup>-1</sup> tributary zone. With respect to respiration coefficients the highest values were: (1) for the September month into the dam and middle reservoir, the values were 0,0398 h<sup>-1</sup> and 0,0245 h<sup>-1</sup>, respectively, (2) 0,0216 h<sup>-1</sup> for December month in the tributary zone, therefore, the reservoir showed itself anoxic in the September, 2008. In summary, the Samambaia Reservoir presented itself as eutrophic, with higher rates and coefficients of photosynthesis and respiration in the dam and middle reservoir, where the dam zone presented itself more susceptible to eutrophication.

**Key Words:** photosynthesis, respiration, reservoir, productivity, phytoplankton.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Represa Samambaia no Campus II da Universidade Federal de Goiás.....	02
<b>Figura 1.2</b>	Gráficos das séries históricas de precipitação (médias anuais) para as décadas de 80, 90 e 2000 na Bacia da Represa Samambaia.....	03
<b>Figura 2.1</b>	Zonas de influencia da radiação solar com delimitação das zonas eufótica e afótica.....	12
<b>Figura 2.2</b>	Relação entre fósforo, taxa de produção e respiração.....	16
<b>Figura 2.3</b>	Organograma das formas de fósforo na natureza.....	18
<b>Figura 2.4</b>	Gráfico da relação entre clorofila e produtividade.....	20
<b>Figura 2.5</b>	Gráfico da relação entre clorofila e biomassa.....	21
<b>Figura 2.6</b>	Gráfico da relação entre clorofila e fósforo.....	22
<b>Figura 2.7</b>	Estrutura química da clorofila.....	22
<b>Figura 2.8</b>	Esquema resumido do processo de fotossíntese.....	23
<b>Figura 2.9</b>	Gráfico da fotossíntese bruta (produção primária bruta) e respiração, respectivamente.....	26
<b>Figura 4.1</b>	Amostrador simultâneo multi-níveis e amostradores mergulhados na Represa Samambaia.....	42
<b>Figura 4.2</b>	Esquema de amostrador simultâneo e frasco escuro.....	42
<b>Figura 5.1</b>	Gráfico da regressão linear entre fotossíntese e radiação solar de superfície.....	61
<b>Figura 5.2</b>	Variação do pH com a profundidade nos pontos 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e zona de tributário).....	62
<b>Figura 5.3</b>	Variação da Alcalinidade com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (Barragem, Meio da represa e Tributário).....	63
<b>Figura 5.4</b>	Variação da Condutividade com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).....	64
<b>Figura 5.5</b>	Variação da Cor Aparente com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (Barragem, meio da represa e tributário).....	65
<b>Figura 5.6</b>	Variação da Cor verdadeira com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (Barragem, meio da represa e tributário).....	65
<b>Figura 5.7</b>	Variação da Turbidez com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem,	66

	meio da represa e tributário).....	
<b>Figura 5.8</b>	Varição do Nitrogênio Amoniacal com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).....	68
<b>Figura 5.9</b>	Varição dos teores de Nitrato com a profundidade nos pontos 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e desembocadura respectivamente).....	69
<b>Figura 5.10</b>	Varição da DQO com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).....	70
<b>Figura 5.11</b>	Dendograma da análise multivariadas com 18 variáveis de estudo.....	71
<b>Figura 5.12</b>	Perfil de oxigênio dissolvido para Represa Samambaia para (a) set., (b) out., (c) nov. e (d) dez. de 2008 (barragem, meio da represa e desembocadura).....	75
<b>Figura 5.13</b>	Perfil de temperatura para Represa Samambaia para (a) set., (b) out., (c) nov. e (d) dez. de 2008 (barragem, meio da represa e desembocadura).....	77

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b>	Concentração de fósforo total e estado trófico de lagos.....	19
<b>Tabela 2.2</b>	Concentração de fósforo total e estado trófico de lagos de acordo com EPA.....	19
<b>Tabela 4.1</b>	Pontos de amostragem na Represa Samambaia no Campus II da Universidade Federal de Goiás.....	40
<b>Tabela 5.1a</b>	Valores de fotossíntese e respiração da Represa Samambaia – Goiânia (Go) (continuação).....	52
<b>Tabela 5.1b</b>	Valores de fotossíntese e respiração da Represa Samambaia – Goiânia (Go) (continuação).....	53
<b>Tabela 5.2</b>	Valores de produtividade líquida para Represa Samambaia Goiânia (GO).....	55
<b>Tabela 5.3a</b>	Dados de radiação solar e coeficientes de atenuação para Represa Samambaia, segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998).....	58
<b>Tabela 5.3b</b>	Dados de radiação solar e coeficientes de atenuação para Represa Samambaia, segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998) (continuação).....	59
<b>Tabela 5.3c</b>	Dados de radiação solar e coeficientes de atenuação para Represa Samambaia, segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998) (continuação).....	60
<b>Tabela 5.4</b>	Coeficientes (K) de fotossíntese e respiração da Represa Samambaia para equações de primeira ordem para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2008.....	78

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 3.1</b>	Tempo de renovação ou tempo de residência médios de vários ambientes aquáticos.....	31
<b>Quadro 3.2</b>	Equações das taxas integradas para reações de ordem zero, um e dois.....	39
<b>Quadro 4.1</b>	Metodologias de análise para determinação dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água e da produtividade primária do Reservatório Samambaia.....	41
<b>Quadro 4.2</b>	Períodos de coleta para fotossíntese, respiração e parâmetros físico-químicos da Represa Samambaia.....	50

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ATP	Adenosina Trifosfato
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
C4	Via metabólica de fotossíntese adaptada à baixos teores de CO <sub>2</sub>
<sup>14</sup> C	Isótopo radioativo do carbono 12
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	Glicose
cal	Caloria
COD	Chemical Oxygen Demand
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
DQO	Demanda Química de Oxigênio
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Dihidrogeno fosfato (ácido fosforoso)
H <sub>2</sub> O	Água
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FB	Fotossíntese bruta
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Hidrogeno carbonato (íon bicarbonato)
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Hidrogeno fosfato (ácido hipofosforoso)
I	Radiação solar
I <sub>0</sub>	Radiação solar no limite inferior da zona eufótica
Kcal	Kilocaloria
K	Coeficiente da taxa de fotossíntese/respiração
k <sub>f</sub> /k <sub>r</sub>	Coeficiente de fotossíntese/Coeficiente de respiração
mgC	Massa de carbono em miligramas
N	Nitrogênio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato

$\text{NH}_4^+$	Íon amônio
$\text{NH}_3$	Amônia (gás)
$\text{NH}_3\text{-N}$	Nitrogênio amoniacal
OD ou $\text{O}_2$	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
$\text{PO}_4^{3-}$	Fosfato
PL	Produtividade líquida
P	Fósforo
Pt	Fósforo total
PP	Produtividade Primária
RNA	Ácido Ribonucléico
$R^2$	Coefficiente de correlação linear
R	Respiração
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SST	Sólidos suspensos totais
ST	Sólidos totais
SD	Sólidos dissolvidos
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
$\Delta t$	Variação do tempo
$\Delta[ \ ]$	Variação da concentração com o tempo
dt	Variação infinitesimal do tempo (Derivada do tempo)
$d[ \ ]$	Variação infinitesimal da concentração (Derivada da concentração)

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1	<i>O Reservatório Samambaia: localização, condições ambientais e atividades atropogênicas.....</i>	02
1.2	<i>A importância do monitoramento ambiental no Reservatório Samambaia.....</i>	04
1.3	<i>Objetivos gerais.....</i>	05
1.4	<i>Objetivos específicos.....</i>	05

### CAPÍTULO 2

<b>2</b>	<b>PRODUTIVIDADE E PRODUÇÃO PRIMÁRIA.....</b>	<b>06</b>
2.1	<i>Distinção entre produtividade e produção primária.....</i>	06
2.2	<i>Fatores de influência na produtividade primária.....</i>	09
2.2.1	<i>Radiação solar.....</i>	11
2.2.2	<i>Nutrientes.....</i>	11
2.2.3	<i>Temperatura.....</i>	13
2.3	<i>Relação entre produtividade primária e fatores físico-químicos.....</i>	14
2.3.1	<i>Produtividade, turbidez, sólidos e coeficiente de atenuação.....</i>	14
2.3.2	<i>Produtividade, fósforo, nitrogênio e sílica solúvel.....</i>	15
2.3.3	<i>Produção primária, fósforo e o estado trófico de lagos e reservatórios</i>	18
2.3.4	<i>Produtividade, clorofila e fósforo.....</i>	20
2.3.5	<i>Produtividade, nutrientes e zonas de influencia em reservatórios.....</i>	24
2.3.6	<i>Taxa de fotossíntese, respiração e produção primária (PP).....</i>	25
2.4	<i>Determinação da Produtividade Primária.....</i>	26
2.4.1	<i>Método de determinação do OD.....</i>	26
2.4.2	<i>Cálculo da razão mássica entre carbono e oxigênio na fotossíntese.....</i>	27
2.4.3	<i>Método do carbono 14 (<sup>14</sup>C).....</i>	29

### CAPÍTULO 3

<b>3</b>	<b>ESTRATIFICAÇÃO EM LAGOS E RESERVATÓRIOS E CINÉTICA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....</b>	<b>30</b>
----------	---	-----------

3.1	<i>Estratificação térmica e química em lagos e reservatórios: os perfis clinogrado e ortogrado.....</i>	31
3.2	<i>Classificação de lagos e reservatórios quanto ao tipo de circulação.....</i>	34
3.2.1	<i>Lagos holomíticos.....</i>	34
3.2.2	<i>Lagos meromíticos.....</i>	35
3.3	<i>Dinâmica do oxigênio dissolvido em lagos tropicais.....</i>	35
3.3.1	<i>Temperatura como fator controlador direto da concentração de oxigênio.....</i>	35
3.3.1.1	<i>Regiões Temperadas.....</i>	35
3.3.1.2	<i>Regiões Tropicais.....</i>	36
3.4	<i>Cinética química de reações.....</i>	36
3.4.1	<i>Definição de taxa de reação química.....</i>	37
3.4.2	<i>Definição da equação da taxa de reação química.....</i>	37
3.4.3	<i>Ordem de uma reação química.....</i>	38

## CAPÍTULO 4

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
4.1	<i>Análise da qualidade da água.....</i>	40
4.2	<i>Análise da produtividade primária.....</i>	41
4.2.1	<i>Determinação da produtividade pelo método do oxigênio dissolvido.....</i>	41
4.2.2	<i>Amostragem para determinação da qualidade da água e produtividade primária.....</i>	44
4.2.2.1	<i>Etapas da amostragem para qualidade da água e produtividade.....</i>	46
4.2.3	<i>Análise multivariadas dos dados.....</i>	46
4.3	<i>Estudo cinético da fotossíntese e respiração.....</i>	48
4.3.1	<i>Determinação dos coeficientes para reações de primeira ordem.....</i>	49
4.3.2	<i>Determinação das profundidades de amostragem, radiação solar e zona eufótica para as coleta.....</i>	49
4.3.3	<i>Determinação do perfil de estratificação química e física da Represa Samambaia.....</i>	50

## CAPÍTULO 5

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
5.1	<i>Produtividade primária.....</i>	51
5.1.1	<i>Discussão dos dados de fotossíntese e respiração.....</i>	51

5.1.2	<i>Níveis de profundidade de amostragem, radiação solar e zona eufótica.....</i>	56
5.1.3	<i>Fotossíntese e radiação solar de superfície.....</i>	57
5.2	<i>Avaliação univariadas espacial e temporal com a profundidade.....</i>	61
5.2.1	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH).....</i>	61
5.2.2	<i>Alcalinidade.....</i>	62
5.2.3	<i>Condutividade Elétrica.....</i>	63
5.2.4	<i>Cor aparente e verdadeira.....</i>	64
5.2.5	<i>Turbidez.....</i>	65
5.2.6	<i>Nitrogênio Amoniacal.....</i>	67
5.2.7	<i>Nitrato.....</i>	68
5.2.8	<i>Fósforo Total.....</i>	69
5.2.9	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO).....</i>	69
5.3	<i>Análise multivariadas dos dados físico-químicos, fotossíntese e respiração.....</i>	70
5.3.1	<i>Análise multivariadas do Grupo 1.....</i>	71
5.3.2	<i>Análise multivariadas do Grupo 2.....</i>	73
5.3.3	<i>Análise multivariadas do Grupo 3.....</i>	73
5.4	<i>Perfil de estratificação química da Represa Samambaia.....</i>	74
5.5	<i>Perfil de estratificação térmica na Represa Samambaia.....</i>	76
5.6	<i>Coeficiente da taxa de fotossíntese e respiração segundo reação de primeira ordem...</i>	76
	<b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	80
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	83
	<b>ANEXOS.....</b>	90
	<b>Anexo 1.....</b>	91
	<b>APÊNDICES.....</b>	94
	<b>Apêndice 1.....</b>	95
	<b>Apêndice 2.....</b>	96
	<b>Apêndice 3.....</b>	97
	<b>Apêndice 4.....</b>	98

## **1 INTRODUÇÃO**

Estudos limnológicos<sup>1</sup> são de grande importância para a compreensão do comportamento de um ambiente aquático e, portanto, pesquisas nessa área se fazem necessárias para formação de um banco de dados confiável e consistente para tomadas de decisão. No Brasil, poucos são os trabalhos limnológicos feitos nas Regiões Centro-Oeste e Norte. A maioria das pesquisas concentra-se na Região Sul e Sudeste do país, destas uma grande parte dedica-se ao estudo de reservatórios. Pouco mais de 20 trabalhos com comunidade fitoplanctônica (responsável pela produção primária) foram publicados até 2008 sobre a Região Norte e Centro-Oeste do Brasil. Segundo Parkhill, Gulliver (2002), os limnólogos têm dado pouca atenção ao estudo de lagos e reservatórios em todo o mundo, principalmente em regiões tropicais (VIEIRA, MARQUES, BINI, 2005; BICUDO, BICUDO, 2004; PARKHILL, GULLIVER, 2002; NOGUEIRA, 1999; ESTEVES, 1998; QUAY *et al.*, 1995; BESSA, REIS, 1992; CAMPOS, SAIDAH, 1985)

Em ambientes marinhos e lóticos<sup>2</sup>, os estudos limnológicos estão bem mais avançados e numerosos. Trabalhos sobre águas doces (águas continentais) recebiam uma atenção menor, mas vem ganhando destaque nos últimos tempos, principalmente no Brasil, porém, os estudos limnológicos de águas continentais tropicais se concentram principalmente na região Sul/Sudeste do país (BICUDO; BICUDO, 2004).

Problemas metodológicos podem ser identificados na literatura acerca da determinação da produtividade primária. Isso se deve à negligência de estudos de processos em regiões tropicais, especificamente no Brasil. A falta de estudos e métodos deficientemente descritos para determinação de taxas de fotossíntese e respiração, tornam a acuracidade e adequação de métodos um problema na avaliação de ecossistemas tropicais (MUYLAERT, TACKX, VYVERMAN, 2005; BICUDO; BICUDO, 2004; SWANEY, HOWARTH, BUTLER, 1999; HENRY *et al.*, 1998; SHIOMOTO, HASHIMOTO, MURAKAMI, 1998; WEISSMAN *et al.*, 1998; OLIVEIRA, CALIJURI, 1996; VOLLENWEIDER, 1974; ODUM, 1956; VERDUIN, 1956).

---

<sup>1</sup> Limnologia é o estudo das águas de interiores ou estudo das águas doces.

<sup>2</sup> Lótico é o ambiente aquático relativo às águas correntes, tais como: rios, córregos, riachos etc.

Problemas metodológicos podem ser resolvidos com aumento no banco de dados, metodologias acuradas, estudo em diferentes ecossistemas e escalas temporais, condições ambientais diversas, avaliação de causa e efeito entre produtividade primária e fitoplankton (BICUDO; BICUDO, 2004; SANTOS, 2004; WETZEL, 2003; ESTEVES, 1998; VOLLENWEIDER, 1974).

### 1.1 O Reservatório Samambaia: localização, condições ambientais e atividades antropogênicas

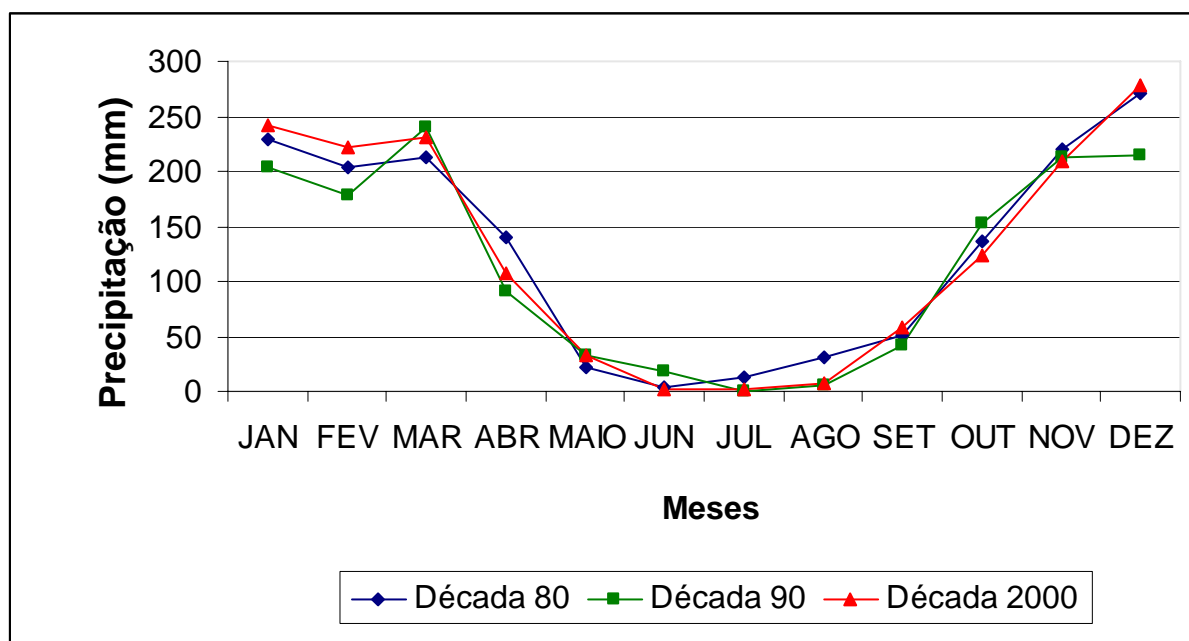
O Reservatório Samambaia, localizado a 16°35'S, 49°16'W no Campus II da UFG, na Escola de Agronomia na cidade de Goiânia (GO), possui área aproximada de 80.000 m<sup>2</sup> e profundidade máxima de 3,80 m. Este reservatório é utilizado para abastecimento de parte do conjunto Itatiaia e de todo o Campus Samambaia da UFG (Campus II). Várias são as atividades antrópicas em torno do reservatório e as de maior notoriedade são: agricultura de pequeno porte, piscicultura e suinocultura. A Figura 1.1 mostra a área de estudo da Represa Samambaia (SOUZA *et al.* 2008; VIEIRA, MARQUES, BINI, 2005; NOGUEIRA, 1999; BESSA, REIS, 1992; CAMPOS, SAIDAH, 1985).



Figura 1.1 – Represa Samambaia no Campus II da Universidade Federal de Goiás.

As condições ambientais no local foram baseadas na verificação das médias de precipitação encontrada nos gráficos da Figura 1.2, fundamentadas em dados de precipitação coletados em Santo Antônio de Goiás, latitude 16° 28' 00"S e longitude 49° 17' 00"W, a 823 m de altitude. Esta estação metereológica está localizada a 12 km da Represa Samambaia e pertence à mesma bacia hidrográfica da represa (bacia do Rio Meia Ponte) (EMBRAPA, 2008).

De acordo com a Figura 1.2, os meses de maio até outubro possuem baixas precipitações chuvosas (médias de precipitação mensal entre 4,49 mm a 49,76 mm) e, portanto, correspondem ao período de seca. Os meses de novembro até abril correspondem ao período de chuva com altas precipitações chuvosas (médias de precipitação mensal entre 115,17 mm a 250,45 mm). Os dados numéricos de precipitação podem ser verificados com detalhes no Anexo 02. (EMBRAPA, 2008).



**Figura 1.2 – Gráficos das séries históricas de precipitação (médias anuais) para as décadas de 80, 90 e 2000 na Bacia da Represa Samambaia (EMBRAPA, 2008)**

O período de seca é caracterizado por nuvens esparsas e intensa irradiação solar, enquanto que o período de chuva é caracterizado por nebulosidades constantes, o que deixa o céu encoberto em grande parte do tempo, principalmente nos meses de dezembro a março

(VIEIRA, MARQUES, BINI, 2005; NOGUEIRA, 1999; BESSA, REIS, 1992; CAMPOS, SAIDAH, 1985).

O reservatório possui em uma de suas margens vegetação densa e na margem oposta há cultivo de hortaliças. A atividade de piscicultura é praticada no sentido barragem-centro do reservatório, próximo à uma pequena ilha existente no meio do reservatório.

De modo geral, a vegetação nas redondezas é tipicamente de cerrado com solo pobre em nutrientes, e toxidez moderada provocada pelos teores naturais de alumínio ou deficiência de cálcio (SOUSA, RITCHEY, 1986).

## **1.2 A importância do monitoramento ambiental no Reservatório Samambaia**

Devido às atividades antropogênicas existentes no entorno do reservatório, torna-se necessário o monitoramento dos níveis das principais características da água de importância ambiental em um reservatório. O estudo da produtividade primária é importante para a classificação, em níveis tróficos<sup>3</sup>, do lago ou reservatório e seu perfil de estratificação (ESTEVES, 1998). Segundo Gökbulak *et al* (2008), os efeitos das atividades antropogênicas podem gerar consequências na qualidade da água e neste sentido avaliaram os efeitos de atividade madeireira sobre a cor, turbidez, temperatura do ar e da água, concentração de material suspenso, pH e condutividade elétrica nos rios da Floresta de Belgrado em Istambul na Turquia, antes e após o tratamento do efluente madeireiro, chegando à conclusão de que houve um decréscimo na turbidez, cor, temperatura (o tratamento da madeira é feito à quente), pH e condutividade elétrica. O tratamento é realizado no efluente gerado no beneficiamento da madeira, que é tratada com produtos químicos que evitam seu apodrecimento (tais como a mistura óxido de cobre, trióxido de cromo e ácido bórico), além da lavagem da madeira para retirada de resíduos de corte. Os resultados mostram que a diminuição da área de cobertura alterou os padrões das variáveis físico-químicas, o que tem consequências diretas sobre a produtividade primária. Em geral as atividades antropogênicas podem causar: (1) exaustão de nutrientes; (2) fotoinibição; (3) fotoxidação; (4) depleção de oxigênio dissolvido; (5) diminuição da biomassa com consequente diminuição da comunidade zooplancônica etc.

---

<sup>3</sup> Trófico: relativo à eutrofia, níveis tróficos. Eutrofia diz respeito à quantidade de matéria orgânica produzida pelos seres quími e fotossintetizantes. Muita matéria orgânica presente no corpo d'água diz se que o mesmo está eutrofizado.

Jiang, Shen (2006) verificaram a potencialização do processo de eutrofização em consequência das atividades antropogênicas no Lago Donghu na China, e concluíram que os teores de nutrientes como o fósforo, nitrogênio, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), clorofila, sólidos, turbidez e cor aumentaram drasticamente com o acréscimo da atividade antropogênica, levando a uma drástica eutrofização do Lago Donghu.

É nítida a importância do estudo de ambientes aquáticos como o do Reservatório Samambaia, cujas atividades antropogênicas podem alterar a qualidade da água e comprometer a captação e o abastecimento de água feitos pela empresa de abastecimento e distribuição de água Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO).

Este trabalho dedica-se, portanto, às determinações das taxas de produção fitoplanctônica (ou produtividade primária) na Represa Samambaia, Estado de Goiás, Região Centro-Oeste do país.

### **1.3 Objetivos Gerais**

Esse trabalho teve como objetivo determinar as taxas de fotossíntese e respiração, com o estudo da Produtividade Primária, pelos seres fitoplanctônicos, e sua relação com os principais parâmetros físico-químicos de qualidade da água. A produtividade foi determinada dentro dos limites da zona eufótica<sup>4</sup>.

### **1.4 Objetivos Específicos**

O estudo de produtividade primária no Reservatório Samambaia teve como objetivos específicos:

- Fornecer subsídios à modelagem computacional da qualidade da água em reservatórios por meio do desenvolvimento de uma metodologia experimental, para quantificação dos coeficientes relativos aos processos de fotossíntese e respiração;
- Quantificar as taxas de fotossíntese e respiração em um ambiente lântico<sup>5</sup> em Goiânia, no Estado de Goiás;

---

<sup>4</sup> Zona eufótica: limite inferior da coluna d'água que corresponde à 1% da radiação solar de superfície.

<sup>5</sup> Lântico: é o ambiente aquático relativo às águas paradas, tais como: lagos naturais, represas, reservatórios etc.

- Avaliar a variação temporal e espacial das taxas fotossíntese e respiração e de alguns parâmetros físico-químicos da água;

- Determinar a existência de correlações multivariadas entre os parâmetros de qualidade da água com a produtividade e relacioná-los utilizando o programa STATISTICA versão 7.0 da StatSoft® para análises multivariadas.

---

## 2. PRODUTIVIDADE E PRODUÇÃO PRIMÁRIA

Um aspecto que se revelou importante na revisão da literatura foi a necessidade de se fazer a distinção entre produção primária e produtividade. Além da definição dos principais parâmetros físico-químicos diretamente relacionados às taxas de produção primária. Levantou-se também, as técnicas metodológicas aplicada à determinação de produtividade e suas implicações nos resultados alcançados.

### 2.1 *Distinção entre produtividade e produção primária*

Os termos produtividade e produção primária vêm sendo usados em limnologia indistintamente por vários autores e muita confusão tem sido feita na utilização dessas duas terminologias; há uma tênue diferença entre elas e segundo Esteves (1998) e Bicudo, Bicudo (2004), produção primária é quantidade de matéria orgânica nova produzida pelos autótrofos, enquanto que produtividade primária é a produção primária por unidade de tempo (em volume/área). A produção primária é expressa pela Equação 2.1 e encontrada em APHA, AWWA, WEF (1998).

A Equação 2.1, segundo APHA, AWWA, WEF (1998), expressa a produção primária em termos de carbono, baseado no quanto de oxigênio é produzido através da fotossíntese.

$$\frac{mgC}{m^3} = \left( \frac{mgO_2}{L} \right) \times \left( \frac{12}{32} \right) \times \left( \frac{1000L}{m^3} \right) \times K \quad (2.1)$$

Em que:

K = é o quociente fotossintético (PQ);

12/32 = fator de conversão de oxigênio para carbono;

32 = massa atômica do oxigênio;

12 = massa atômica do carbono;

mg O<sub>2</sub> = massa de oxigênio fitoplanctônico produzida através da fotossíntese (mg/L);

mg C = massa de carbono inorgânico calculado (mg/L);

L = litro = volume;

O valor de  $K$  na Equação 2.1 varia de 1 a 2 dependendo do suprimento de nitrogênio segundo APHA, AWWA, WEF (1998).

O valor de  $mgO_2$  produzido pela fotossíntese por meio da técnica dos frascos transparentes descrita em APHA, AWWA, WEF (1998) e Thomann, Mueller (1987), é calculado segundo a Equação 2.2, cujo valor encontrado é, portanto, a produção primária.

$$\text{fotossíntese bruta} = mgO_2 \text{ frasco claro} - mgO_2 \text{ inicial} \quad (2.2)$$

Em que,

$mgO_2$  frasco claro = oxigênio dissolvido medido no frasco claro após certo intervalo de tempo (mg/L);

$mgO_2$  inicial = oxigênio dissolvido medido no instante inicial (mg/L).

Quando se quer medir a respiração basta subtrair o valor inicial de  $mgO_2$  pelo valor oxigênio contido no frasco escuro segundo a Equação 2.3.

$$\text{respiração} = mgO_2 \text{ inicial} - mgO_2 \text{ frasco escuro} \quad (2.3)$$

Em que,

$mgO_2$  frasco escuro = oxigênio dissolvido medido no frasco escuro após certo intervalo de tempo (mg/L);

$mgO_2$  inicial = oxigênio dissolvido medido no instante inicial (mg/L).

O oxigênio dissolvido é determinado utilizando-se o método iodométrico ou método da membrana seletiva com eletrodo galvânico. Ver tópico 3.1 sobre metodologia.

Para se determinar a produtividade primária basta dividir o valor encontrado na Equação 2.1 pelo tempo experimental segundo Equação 2.4 ou 2.5.

$$\text{produtividade} = \text{taxa de produção} = \left( \frac{mgC}{m^3} \right) \div \Delta T = \frac{\Delta M}{V \times \Delta T} \quad (2.4)$$

Em que,

$\Delta T$  = tempo decorrido do experimento (h);

$\text{mg C/m}^3 = \text{produção primária.}$

$\Delta M = \text{variação da massa (mg);}$

$V = \text{volume (m}^3\text{);}$

Quando se mede a fotossíntese e a respiração tem-se a produção primária pontual, enquanto a média dos valores feitos ao longo de um dia (meses ou anos) constituem a produtividade primária (também conhecida com taxa de produção). A produtividade pode ser expressa em termos de oxigênio, matéria orgânica, carbono ou energia (BICUDO, BICUDO, 2004; WETZEL, 2003; ESTEVES, 1998).

Cuidado com o uso dos termos produtividade e produção devem ser tomados porque erros de interpretação de resultados podem ser cometidos, visto que os valores numéricos de produtividade e produção são diferentes e têm significados diferentes. Por exemplo, se uma determinada área de um lago tem a produção primária em um mês de 15 g e no outro mês, após nova medição, teve produção de 45 g, então a produção primária média é de 30 g, quando se deseja expressar o resultado em termos de taxa (produtividade), então o correto é dividir o valor de 30 g por 30 (quantidade de dias em um mês) e o resultado final é  $1,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .

Caso se deseje expressar o resultado  $1,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  em termos de volume, basta dividir esse resultado pela extensão da zona eufótica ou pela profundidade experimental. Supondo que a profundidade de coleta foi de 2,0 m, basta dividir o resultado por 2,0 e então o valor da produtividade resultante é  $0,5 \text{ g.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ . Esse resultado pode ser calculado pela Equação 2.4 ou 2.5.

Na revisão da literatura sobre produtividade e produção, muitas vezes os autores referem-se aos resultados de produção como produtividade e vice versa, como é o caso do trabalho de Shiomoto, Hashimoto, Murakami (1997) que trazem no título a palavra produtividade, enquanto que no decorrer do texto referem-se sempre à produção primária. O mesmo uso indiscriminado dos termos produtividade e produção podem ser encontrados em trabalhos como os de Carignan, Planas, Vis (2000), Pedroza, Resende (2000), Henry *et al* (1998), Odum (1956) e Verduin (1956). Paralelamente pode ser usado o termo “taxa de produção primária” quando se deseja referir ao termo produtividade, como usado em Oliveira, Calijuri (1995).

Após revisão bibliográfica, notou-se que a maioria dos trabalhos se referiam à produção e não à produtividade (MUYLAERT, TACKX, VYVERMAN, 2005; SANTOS,

2004; CARIGNAN, PARKHILL, GULLIVER, 2002; PLANAS, VIS, 2000; PEDROSA, REZENDE, 2000; KINGSTON, 1999; SWANEY, HOWARTH, BUTLER, 1999; ARAÚJO, COELHO, 1998; HENRY *et al* 1998; IBELINGS, MABERLY, 1998; SHIOMOTO, HASHIMOTO, MURAKAMI, 1998; WEISSMAN *et al* 1998; OLIVEIRA, CALIJURI, 1996; QUAY *et al* 1995; McBRIDE, 1992; MOREL, LAZZARA, 1987; MALONE, 1982; BERMAN, POLLINGHER, 1974; RYTHER, 1956).

## 2.2 Fatores de influência na produtividade primária

A produtividade é quanto se incorpora de carbono inorgânico, atmosférico ou dissolvido na água, à biomassa fitoplanctônica por meio da fotossíntese menos o que se perde na respiração, excreção, secreção, morte, herbivoria e parasitismo. Na fotossíntese e respiração, três são os fatores de influência na suas taxas: (1) radiação solar; (2) nutrientes; (3) temperatura.

Trabalhos como os de Oliveira, Calijuri (1995); Henry *et al* (1998); Geider *et al* (1998) e Parkhill, Gulliver (2002) mostram uma relação estreita entre radiação solar, nutrientes e produtividade. À medida em que se aumentam os teores de nutrientes e radiação solar, há uma tendência de crescimento nas taxas de produção, desde que não haja fotoinibição, foto-oxidação ou limitação da radiação solar. Dentre esses nutrientes os de maior relevância para a produtividade são o fósforo e o nitrogênio, por estarem ambos ligados aos processos enzimáticos de síntese de biomassa.

Segundo Rueda, Flennor, Vicente (2007) os fatores temperatura, nutrientes e luz são de fundamental importância para a produtividade. Os autores afirmam ainda a importância dos fatores físicos na produtividade tais como os padrões de mistura de reservatórios quando da entrada da massa d'água pelo tributário, que pode alterar a posição da massa d'água tanto verticalmente quanto horizontalmente, modificando por completo a disponibilidade de nutrientes, distribuição da temperatura e intensidade luminosa que chega ao fundo do reservatório.

É importante salientar que na síntese de carbono orgânico pelo fitoplancton, há o consumo de carbono inorgânico; enquanto que na respiração há a produção de carbono inorgânico em detrimento do carbono orgânico. As taxas em que ocorrem a síntese (fotossíntese) e depleção (respiração) de oxigênio na água pelo fitoplancton são bastante

diferentes, em que as taxas de fotossíntese são quase sempre maiores que as da respiração. Isso significa que o fitoplankton produz oxigênio mais do que consome (BICUDO, BICUDO, 2004; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; THOMANN, MUELLER, 1987).

Baldwin, Whittington, Oliver (2003) verificaram a relação entre as espécies de alga *Ceratium hirundinella* e *Botryococcus braunii* com os teores de fósforo e nitrogênio e segundo os autores, a *C. hirundinella* é limitada pelos teores de fósforo, enquanto que a *B. braunii* é limitada pelos teores de nitrogênio, o que pode significar aumento na produtividade quando houver o aumento da concentração dos teores de fósforo e não do nitrogênio sugerindo florescimento de algas fósforo limitadas; havendo aumento na taxa de produção quando do aumento dos teores de nitrogênio e não dos de fósforo sugere o florescimento de algas nitrogênio limitadas no caso dessas espécies de algas e de outros tipos de algas. O que determina a maior necessidade de um ou outro nutriente nesses casos são as espécies dominantes, temperatura, estratificação e radiação solar. Em alguns casos, fatores como pressão parcial do oxigênio, teores de dióxido de carbono, concentração de pigmentos fotossintéticos, detritos, matéria orgânica dissolvida também podem influenciar nas taxas de produção. Alguns trabalhos realizados nesse sentido já demonstraram influências desses outros fatores sobre as taxas de fotossíntese e respiração (STREIT *et al*, 2005; BALDWIN, WHITTINGTON, OLIVER, 2003; KINGSTON, 1999; GEIDER *et al*, 1998; SHIOMOTO, HASHIMOTO, MURAKAMI, 1998; KISHINO, BOOTH, OKAMI, 1984; MALONE, 1982; BERMAN, POLLINGHER, 1974; GESSNER, PANNIER, 1958).

Vários trabalhos como os de Pierini, Thomaz (2004) e Jost *et al* (2008) mostram a dependência não só dos teores de oxigênio e luminosidade como também dos teores de dióxido de carbono para a fotossíntese. Os estudos de Pierini, Thomaz (2004) e Jost *et al* (2008) mostram que em situação de baixa radiação solar (zona de limitação pela luz) e baixas concentrações de CO<sub>2</sub>, o metabolismo de fotossíntese do fitoplankton se modifica e os processos enzimáticos se adaptam aos baixos teores de CO<sub>2</sub> e à baixa luminosidade num processo enzimático conhecido como metabolismo C4. Vários outros trabalhos confirmam as adaptações fitoplantônicas em condições adversas como as encontradas nos trabalhos dos seguintes autores: Wetzel (2003); Kingston (1999); Ibelings, Maberly (1998); Weissman *et al* (1998); Kishino, Booth, Okami (1984); Malone (1982); Vollenweider (1974).

Os efeitos que a temperatura e a radiação solar exercem sobre a produtividade para regiões tropicais (equatoriais) e para regiões de clima temperado são diferentes e

resultam em variações físico-químicas específicas para cada tipo de clima. Isso ocorre porque as condições de luz, de temperatura e a pouca variação do fotoperíodo são favoráveis durante todo o ano para as regiões tropicais e, conseqüentemente, as variações diárias de produtividade são mais importantes que as variações sazonais. Essa singularidade pode ser observada no trabalho de Ganf, Horne (1975) que verificaram que as variações diárias de produção no lago tropical George, na Uganda, são mais significativas que as variações anuais em regiões tropicais, os valores de produção diurna ficaram em torno de  $12,0 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (ou  $12,0 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot 12 \text{ h}^{-1}$ ).

### 2.2.1 Radiação solar

Segundo Esteves (1998) e Wetzel (2003), a radiação solar pode atuar na produtividade primária de duas formas diferentes:

- a) agindo sobre a taxa de fotossíntese aumentando sua velocidade e intensidade;
- b) aumentando a zona eufótica da coluna d'água, visto que é na zona eufótica onde ocorrem as maiores taxas de fotossíntese e respiração.

Influências da radiação solar sobre a produção primária podem ser verificadas nos trabalhos de Pinnila (2006); Kingston (1999); Henry *et al* (1998); Geider, Macintyre, Kana (1998), Bellings, Maberly (1998); McBride (1992); Morel, Lazzara (1987); Kishino, Booth, Okami (1984); Malone (1982); Ryther (1956).

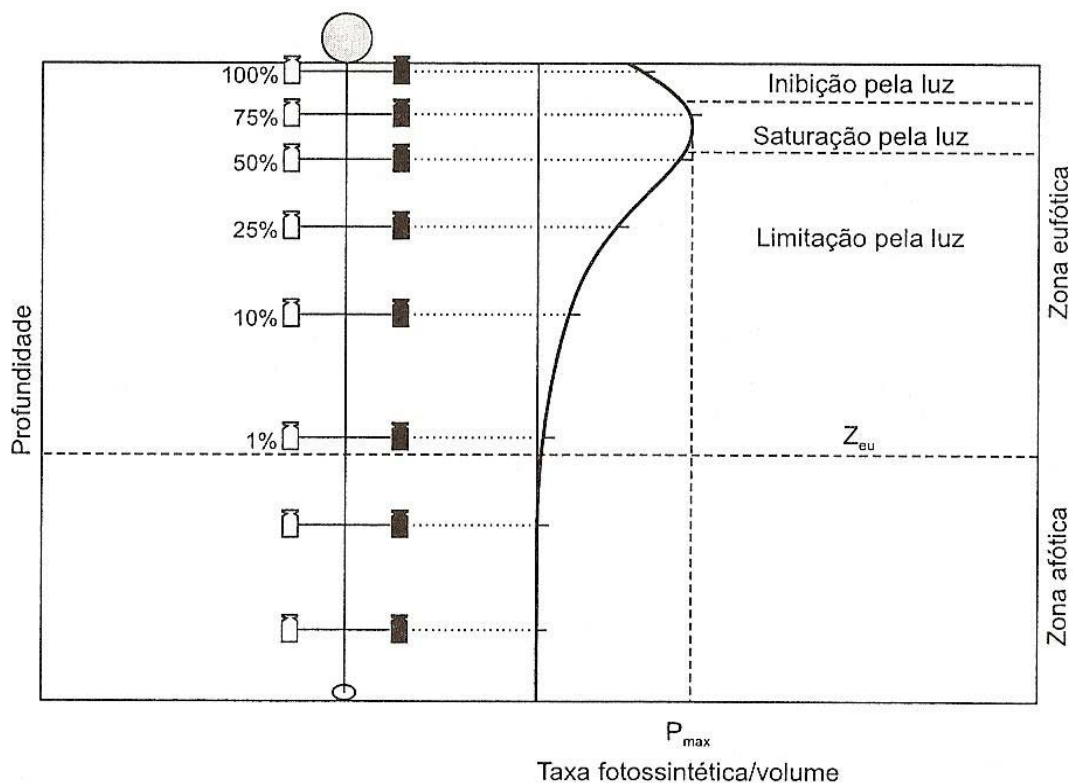
Segundo Esteves (1998) e Bicudo, Bicudo (2004), há três zonas de influência na coluna d'água considerando a intensidade de radiação:

- **Radiação entre 100 a 65% da radiação solar de superfície:** zona onde ocorre o que se chama de zona de inibição, que em consequência do alto índice de radiação ocorre fotoinibição, foto-oxidação, foto-respiração e contração dos cloroplastos;
- **Radiação entre 65 a 50% da radiação solar de superfície:** zona de saturação da produtividade, o ponto ótimo de fotossíntese ocorre nessa faixa da coluna d'água;

- **Radiação abaixo de 50% da radiação solar de superfície:** zona de limitação pela radiação. Nessa faixa da coluna d'água a fotossíntese é limitada pela escassez de luz e as taxas de fotossíntese são menores (ver Figura 2.1 com esquema da zonas de influência).

### 2.2.2 Nutrientes

A concentração de nutrientes no corpo d'água para a produtividade é de fundamental importância. Tanto no processo de fotossíntese quanto no de respiração há uma participação direta e ativa nos mecanismos enzimáticos de síntese de biomassa e consumo de energia pelo fitoplâncton. A fotossíntese é justamente a síntese de biomassa cuja constituição é rica em fosfato (DNA e RNA) e nitrogênio (aminoácidos). Durante o processo de fotossíntese é consumida energia que é fornecida por compostos fosfatados. Na síntese também é produzida o ATP (adenosina trifosfato) que serve como fonte de energia na respiração fitoplanctônica. Daí a importância dos compostos fosfatados (ortofosfatos solúveis), nitrogenados (nitrato e amônia) e sílica (sílica solúvel é importante na constituição de diatomáceas) na produtividade primária (ELLIOTT, MAY, 2008; RUEDA, FLEENOR, VICENTE, 2007; BICUDO, BICUDO, 2004; PERKINS, UNDERWOOD, 2000; SOLOMONS, FRYLE, 2000a; GEIDER, MACINTYRE, KANA, 1998; MOREL, LAZZARA, 1987; MALONE, 1982).



**Figura 2.1 – Zonas de influencia da radiação solar com delimitação das zonas eufótica e afótica (Modificado de Bicudo, Bicudo, 2004).**

O empobrecimento dos teores desses nutrientes pode gerar limitações por exaustão de nutrientes no processo fotossintético. A eutrofização de um ambiente lântico pode levar à exaustão de nutrientes disponíveis para o processo de produção e consequente diminuição das taxas de produção (ELLIOTT, MAY, 2008; RUEDA, FLEENOR, VICENTE, 2007; BICUDO, BICUDO, 2004; PERKINS, UNDERWOOD, 2000; GEIDER, MACINTYRE, KANA, 1998; MALONE, 1982).

### **2.2.3 Temperatura**

A temperatura pode atuar na produtividade de duas formas diferentes: (1) Diretamente sobre a fisiologia do organismo; (2) Alterando o regime de estratificação da coluna d'água com alteração na distribuição dos nutrientes na região da zona eufótica.

Em regiões de clima tropical, a temperatura exerce pouca influência sobre a produtividade anual em virtude de uma temperatura média constante ao longo do ano. A temperatura é mais influente na produção diária do que na produção anual em lagos e reservatórios tropicais (ELLIOTT, MAY, 2008; GEIDER, MACINTYRE, KANA, 1998; ESTEVES, 1998).

Em Souza *et al.* (2008), Wetzel (2003) e Esteves (1998) observam-se que a formação do perfil ortogrado<sup>6</sup> e clinogrado<sup>7</sup> ocorrem em períodos distintos nas regiões tropicais e temperadas. Os dados apontam para a formação do perfil de temperatura estratificado no verão para países de clima temperado com desestratificação no inverno, enquanto que para países equatoriais a estratificação térmica ocorre normalmente no período

---

<sup>6</sup> Perfil ortogrado: ocorre quando a concentração de oxigênio dissolvido aumenta ao longo da coluna d'água e a temperatura diminui, perfil típico de lagos oligotróficos (pobre em nutrientes).

<sup>7</sup> Perfil clinogrado: ocorre quando a concentração de oxigênio dissolvido diminui ao longo da coluna d'água junto com a temperatura que também diminui, perfil típico de lagos eutróficos (rico em nutrientes).

diurno durante todo o ano, com desestratificações noturnas levando à homotermia durante a madrugada devido à pequena diferença de temperatura entre o metalímnio<sup>8</sup> e epilímnio<sup>9</sup>.

Elliott, May (2008) verificaram pequeno efeito da temperatura no Lago Leven sobre a produtividade, sendo que os nutrientes tiveram um papel mais importante na produção primária, em especial o fósforo e o nitrogênio, do que a temperatura. Foi observado um aumento de biomassa de 9,0 mg.m<sup>-3</sup> de clorofila-a para cada 25% de aumento na quantidade de fósforo solúvel para a espécie *Annabaena sp.* O mesmo comportamento não foi observado quando os teores de nitrogênio eram aumentados, o que mostra uma relação de limitação pelos teores de fósforo para a espécie *Annabaena sp.* Os autores verificaram ainda que a influência dos teores de fósforo era mais significativa quando existia limitação dos teores de nitrogênio.

## 2.3 Relação entre produtividade primária e fatores físico-químicos

### 2.3.1 Produtividade, turbidez, sólidos e coeficiente de atenuação

A inter-relação entre turbidez e teor de sólidos exerce influência direta sobre o coeficiente de atenuação da luz<sup>10</sup> (ver Equação 2.2) e, conseqüentemente, sobre a produtividade. A turbidez diminui a intensidade e direção com que a luz chega a profundidades maiores na coluna d'água aumentando assim, o coeficiente de atenuação e diminuindo a taxa de produção. A Equação 2.1, expressa matematicamente a relação entre turbidez e coeficiente de atenuação (PARKHILL, GULLIVER, 2002).

$$k = 2,619 + 0,129 \times T_{NTU} \quad (2.1)$$

Em que:

k = coeficiente de atenuação da luz;

T<sub>NTU</sub> = turbidez (em unidades nefelométricas de turbidez).

$$I = I_0 \times e^{-kz} \quad (2.2)$$

<sup>8</sup> Metalímnio: zona da coluna d'água entre a superfície e o fundo (meio da coluna d'água). Essa zona, assim como o epilímnio e o hipolímnio, é definida de acordo com o perfil de temperatura.

<sup>9</sup> Epilímnio: zona da coluna d'água que vai da superfície até o metalímnio.

<sup>10</sup> O coeficiente de atenuação da luz é definido utilizando-se a equação de intensidade de radiação solar que chega a determinada profundidade.

Em que:

$I$  = intensidade da luz que chega à determinada profundidade  $z$ ;

$I_0$  = intensidade da luz na superfície da coluna d'água;

$k$  = coeficiente de atenuação da luz;

$z$  = profundidade na coluna d'água.

Entretanto Parkhill, Gulliver (2002) concluem em estudo feito no Rio Mississippi, EUA, que não há diminuição significativa da produtividade com o aumento da turbidez, apesar da Equação 2.1 mostrar que o coeficiente de atenuação aumenta à medida em que se aumenta a turbidez no corpo d'água. A conclusão mais importante desse estudo é que apesar de não haver relação direta entre produtividade e aumento de turbidez, a consequência do aumento desta última pode acarretar diminuições nas taxas de fotossíntese se os valores de turbidez excederem o suficiente para não permitir a passagem da luz pela coluna d'água. Os autores encontraram aumento nas taxas de produção com o aumento da turbidez, provavelmente devido (1) ao aumento de substrato que serve de suporte para certos tipos de algas (2) ou aumento dos teores de nutrientes associados à turbidez tais como sólidos suspensos (que incluem os sólidos orgânicos ricos em nutrientes).

Segundo Esteves (1998), Wetzel (2003) e Ibelings, Maberly (1998), o súbito aumento de biomassa na superfície devido ao aumento de turbidez pode causar um efeito de sombra nas camadas mais internas da coluna d'água (principalmente em lagos eutróficos) e diminuir a eficiência fotossintética na região do metalímnio e no hipolímnio em virtude do aumento do coeficiente de atenuação, o que acarreta diminuição da produtividade em camadas imediatamente abaixo da superfície contrariando a afirmação de Parkhill, Gulliver (2002).

Estudos como o de Parkhill, Gulliver (2002), Esteves (1998), Wetzel (2003) e Ibelings, Maberly (1998), mostram a complexidade das interações dos fatores ambientais, que nem sempre seguem padrões lógicos e, portanto, evidenciam a necessidade de trabalhos limnológicos para melhor compreensão dos ambientes de águas continentais.

### **2.3.2 Produtividade, fósforo, nitrogênio e sílica solúvel**

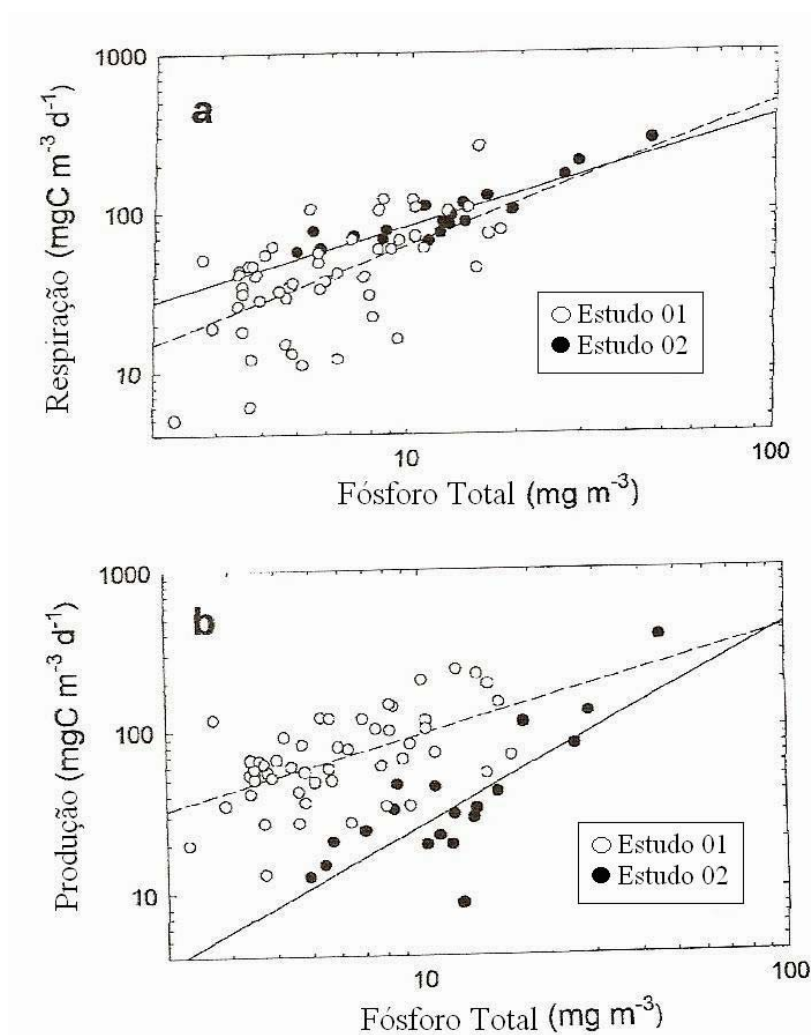
No processo de fotossíntese e respiração o fósforo e o nitrogênio estão envolvidos na síntese ou degradação de biomassa fitoplanctônica. Trabalhos como os de Carignan,

Planas, Vis (2000) e Ganf, Horne (1975) mostram uma dependência em maior grau entre fósforo (mesmo que em pequenas quantidades) e produtividade do que entre produtividade e nitrogênio. Porém, estudo feito por Baldwin, Whittington, Oliver (2003) demonstrou que é variável a dependência de fósforo ou nitrogênio, e que a dependência maior entre um ou outro nutriente vai depender da espécie de fitoplâncton estudada.

Cerco (2000), em um estudo envolvendo produtividade, nutrientes e variáveis físicas (morfologia, profundidade, vazão e transparência) evidencia a existência de relação entre esses parâmetros e crescimento algal.

Espécies do gênero das diatomáceas se encontram bastante relacionadas com os níveis de sílica solúvel do meio, como pode ser constatado no estudo de Morel, Lazzara (1987). Os autores encontraram correlação positiva entre sílica solúvel, diatomáceas e quantidade de radiação solar. Cerco (2000) também previu em seu modelo relação entre crescimento algal das diatomáceas e quantidade e sílica. À medida que as quantidades de sílica aumentavam, o crescimento algal também aumentou, o que leva à conclusão de que em níveis mais elevados de turbidez o ambiente se torne favorável ao desenvolvimento de diatomáceas desde que não haja fotoinibição.

A Figura 2.2 evidencia a relação crescente entre fósforo, fotossíntese e respiração. A Figura 2.2 mostra dois estudos feitos por Carignan, Plana, Vis (2000) em que o Estudo 01 foi feito em período de alta pluviosidade e o Estudo 02 foi feito em período de baixa pluviosidade.



**Figura 2.2 – Relação entre fósforo, taxa de produção e respiração (Modificado de Carignan, Planas, Vis, 2000).**

O modelo matemático de cinética de crescimento algal utilizado por Cerco (2000) indica relações crescentes e positivas entre: luz, nutrientes e temperatura e que se destacaram como principais nutrientes os compostos de fósforo e nitrogênio. O modelo usado por Cerco foi o CE-Qual-ICM. Parte dos dados foram tirados de outro modelo chamado HydroQual. O autor concluiu ainda que, desde que não haja limitação pela quantidade luminosa e exaustão de nutrientes, esses três principais parâmetros são intrinsecamente inter-relacionados com a produtividade. Cerco (2000) conclui que sob fortes condições de limitação por nutrientes o modelo obteve resultados para produtividade menores do que os valores observados em campo. Pode-se concluir que, estudos sobre a relação entre produtividade e nutrientes devem ser feitos para melhorar a precisão dos modelos matemáticos de qualidade de águas.

Adaptações do fitoplâncton e variações no nível d'água também podem influenciar o crescimento algal e na sua posição em relação à coluna d'água. Segundo Pompêo, Henry, Moschini (2001), o nível d'água influenciou no crescimento da espécie *Echinochloa polystachya* em que o pico de crescimento ocorreu entre dezembro/1993 e maio/1994. Pode-se concluir a partir dos estudos de Pompêo, Henry, Moschini (2001) que o nível d'água maior pode influenciar de duas formas distintas: (1) aumentando a camada suporte para algumas espécies como a *Echinochloa polystachya*; (2) aumentando a concentração de nutrientes como fósforo, nitrogênio e matéria orgânica pelo arraste de nutrientes da bacia de drenagem.

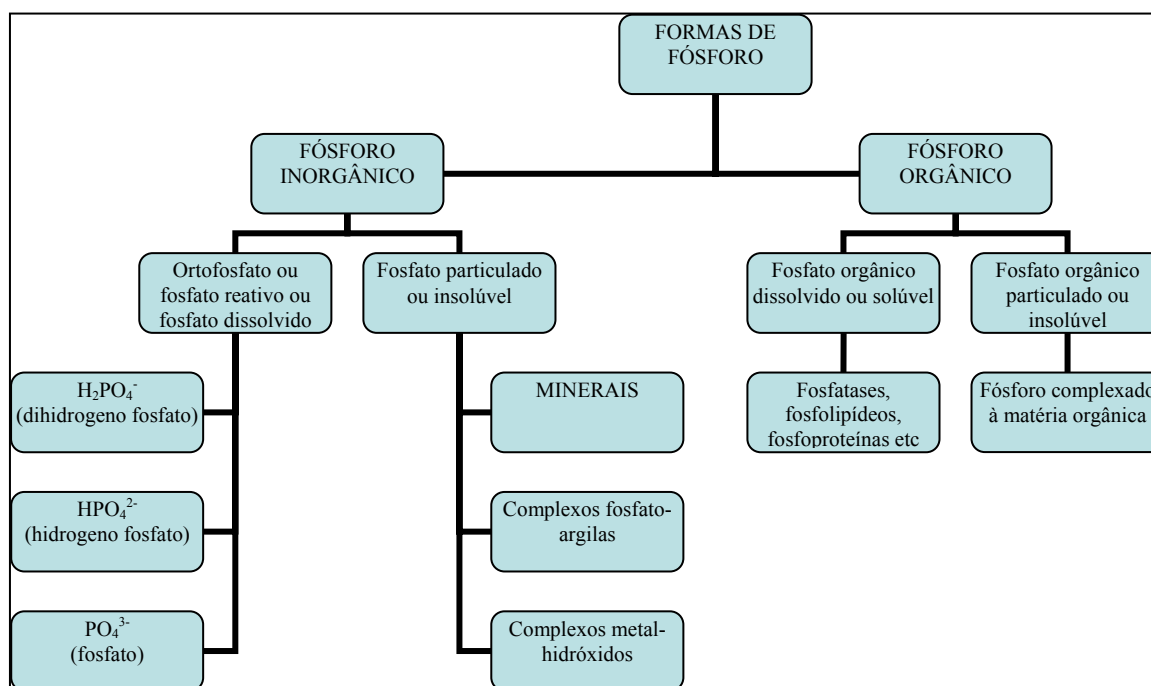
Dos Santos, Calijuri (1998) concluíram que padrões de mistura encontrados no Reservatório de Barra Bonita (SP) podem também influenciar o crescimento e variação de espécies em reservatórios. Dos Santos, Calijuri (1998) estudaram, em experimentos conduzidos em laboratório com a água do Reservatório de Barra Bonita, o microcosmo e crescimento da comunidade fitoplanctônica no inverno de 1993 e verão de 1994 e concluíram que houve predominância da espécie *Microcystis aeruginosa* no verão. O confinamento das amostras levou a alterações nos padrões de mistura (estratificação) que conduziram a uma baixa diversidade fitoplanctônica. Conclui-se que a produtividade é dependente dos padrões de estratificação e mistura em reservatórios.

Os padrões de mistura e estratificação alteram as concentrações de nutrientes nos vários níveis da coluna d'água. Normalmente, em reservatórios profundos de regiões tropicais há pouca estratificação no inverno com tendência à acentuada estratificação no verão, que conduz a concentração de nutrientes, tais como fósforo e nitrogênio, na região do hipolímnio (localizada entre a zona de inibição pela luz e a zona de limitação pela luz). Conclui-se com isso que a região com maior produtividade primária seja exatamente a zona do hipolímnio no período de maior estratificação térmica (verão) desde que o ambiente seja oligotrófico e não haja exaustão de nutrientes até o nível de não detecção (ESTEVES, 1998; WETZEL, 2003; HENRY *et al*, 1998; DOS SANTOS, CALIJURI, 1998).

As concentrações de fósforo em um ambiente aquático são naturalmente muito baixas, mas o suficiente para a manutenção do desenvolvimento fitoplanctônico. A ação antropogênica pode alterar de forma drástica essas concentrações e provocar um crescimento desordenado na biomassa de alga e, conseqüentemente, a eutrofização do lago ou reservatório

(WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; JIANG; SHEN, 2006; PERKINS; UNDERWOOD, 2000; ARAÚJO; COELHO, 1998).

**Em um ambiente aquático o fósforo pode ser encontrado em várias formas, que se agrupam em dois grandes grupos a saber: (1) Fósforo inorgânico; (2) Fósforo orgânico. A Figura 2.3 resume as formas de fósforo na natureza.**



**Figura 2.3 – Organograma das formas de fósforo na natureza (Adaptado de Esteves, 1998).**

Dessas várias formas de fósforo, a única imediatamente disponível para o fitoplâncton é o fosfato reativo. Estima-se que cerca de 80% do fósforo disponível no meio aquático esteja na forma orgânica, ou seja, somente cerca de 20% do fósforo no meio aquático é reativo e, portanto, imediatamente disponível para o aproveitamento pelo fitoplâncton. Isso significa que mesmo teores muito baixos de fósforo solúvel podem resultar em altos índices de produtividade primária em reservatórios e lagos (ESTEVES, 1998; WETZEL, 2001; PERKINS; UNDERWOOD, 2000).

### 2.3.3 Produção primária, fósforo e o estado trófico de lagos e reservatórios

O fósforo se encontra intimamente ligado com a produção primária e a incorporação de biomassa ao ecossistema aquático. De modo geral, quanto maior a

concentração de fósforo solúvel no meio aquático, maior será o aumento de biomassa fitoplanctônica e, portanto, maior a possibilidade de eutrofização do corpo d'água. Porém, mesmo em baixas concentrações (valores  $<10 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) os teores de fósforo podem propiciar altos valores de produção primária em regiões tropicais em virtude do alto índice de radiação solar e temperatura (JIANG; SHEN, 2006; MUYLAERT; TACKX; VYVERMAN, 2005; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; SHIOMOTO; HASHIMOTO; MURAKAMI, 1998).

Devido à estreita relação entre fósforo e estado trófico de um corpo d'água pode-se relacionar, segundo Esteves (1998), as concentrações de fósforo e o estado trófico de um lago, os valores podem ser observados na Tabela 2.1. Porém, ainda segundo Esteves (1998), os limites de concentração de fosfato para cada estado trófico varia de autor para autor. A Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente, por exemplo, utiliza valores diferentes dos encontrados na Tabela 2.1. A Tabela 2.2 mostra os valores limites para fósforo total e estado trófico, tirados de Esteves (1998), praticados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

**Tabela 2.1 – Concentração de fósforo total e estado trófico de lagos (ESTEVES, 1998)**

ESTADO TRÓFICO	Pt ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )
Ultra Oligotrófico	$< 5$
Oligomesotrófico	5 – 10
Meso-eutrófico	10 – 30
Eu-politrófico	30 – 100
Politrófico	$> 100$

**Tabela 2.2 – Concentração de fósforo total e estado trófico de lagos de acordo com EPA (ESTEVES, 1998).**

ESTADO TRÓFICO	Pt ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )
<b>Oligotrófico</b>	<b><math>&lt;10</math></b>
<b>Mesotrófico</b>	<b>10-20</b>
<b>Eutrófico</b>	<b><math>&gt;20</math></b>

### 2.3.4 Produtividade, clorofila e fósforo

São vários os tipos de clorofila sendo os principais a clorofila-a e a clorofila-b (ver Figura 2.7 para verificar a diferença entre esses dois tipos de clorofila). Bactérias fotossintetizantes são desprovidas de clorofila de modo que somente os vegetais e o fitoplâncton são clorofilados (STREIT *et al.*, 2005). Como a clorofila é o pigmento responsável pela síntese de matéria orgânica a partir de CO<sub>2</sub> (atmosférico ou dissolvido na água) é evidente sua relação com a produtividade primária, isso significa que o aumento da biomassa de fitoplâncton pode ser associado à quantidade de clorofila do meio e esta à produtividade primária (Figura 2.4 e Figura 2.5). A literatura sobre determinação da clorofila se encontra bem definida em AWWA, APHA, WEF (1998) e Lorenzen (1967).

A clorofila funciona comoceptor de elétrons e é ativada pela luz solar (daí o nome fotossíntese, *foto* = fótons, luz; *síntese* = produção) e uma vez ativada está pronta para iniciar o processo de fotossíntese reduzindo o CO<sub>2</sub> a oxigênio molecular (O<sub>2</sub>). O processo de fotossíntese é, portanto, responsável pela incorporação do dióxido de carbono na forma de carbono orgânico na biomassa dos seres autótrofos (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; SHRIVER, ATKINS, 1999; STREIT *et al.*, 2005).

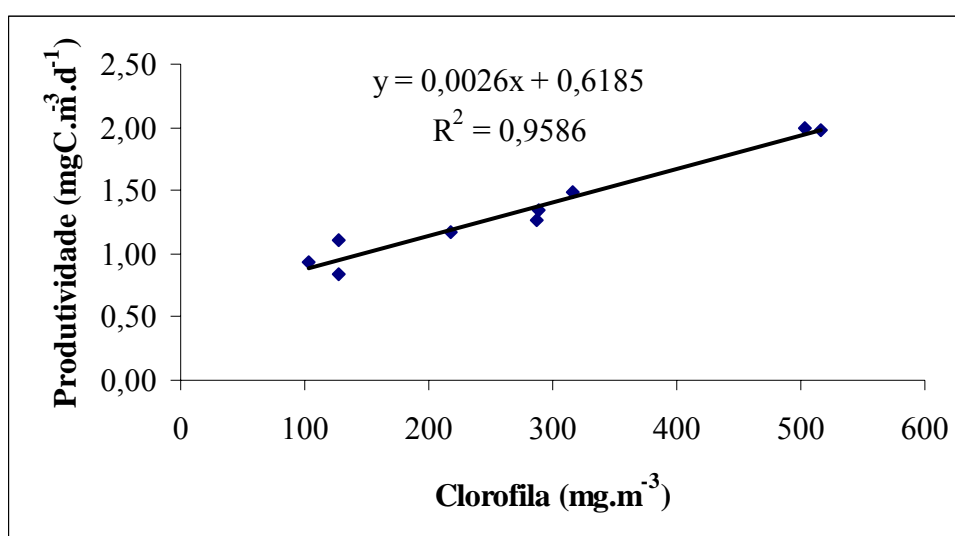


Figura 2.4 – Gráfico da relação entre clorofila e produtividade (Adaptado de BERMAN; POLLINGER, 1974).

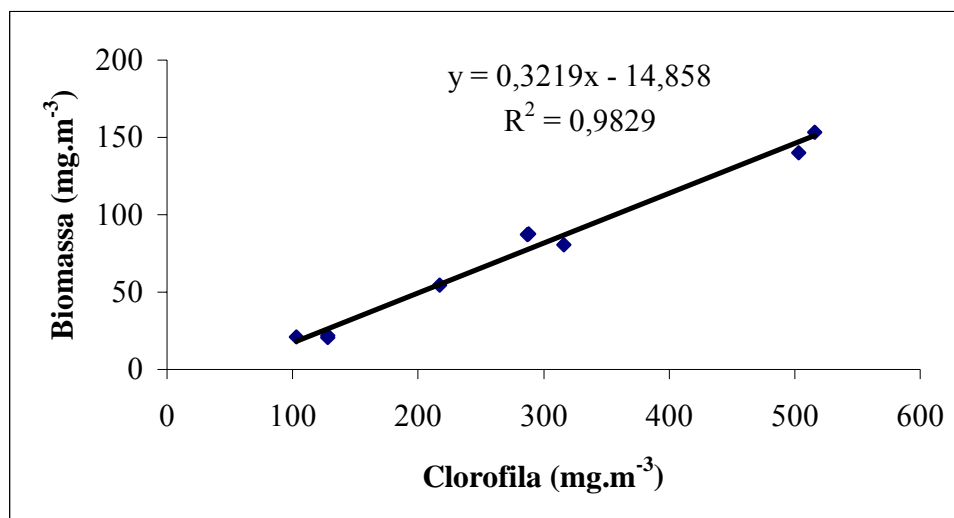


Figura 2.5 – Gráfico da relação entre clorofila e biomassa (Adaptado de BERMAN; POLLINGER, 1974)

Relação linear e positiva entre produtividade, fitoplankton e clorofila foi encontrada em vários trabalhos dos quais se podem destacar os de Perkins, Underwood (2000); Henry *et. al.* (1998); Cestari, Krug, Novo (1996); Berman, Pollinger (1974); Lorenzen (1967). As Figuras 2.4 e 2.5 mostram gráficos de dados tirados dos trabalhos de Berman; Pollinger (1974) que evidenciam a relação crescente, linear e positiva entre produtividade e clorofila e entre clorofila e biomassa fitoplanctônica.

A Figura 2.6 mostra relação entre fósforo e clorofila de dados tirados do trabalho de Henry *et al.* (1998), podendo-se concluir que há também uma relação positiva e crescente entre os teores de fósforo e clorofila. A relação é evidente quando se verifica os mecanismos pelos quais age a fotossíntese, que utiliza a clorofila como catalisadora na síntese de biomassa fitoplanctônica a partir de compostos fosforados e nitrogenados. As Figuras 2.7 e 2.8 mostram a estrutura química da clorofila e o processo de fotossíntese de forma resumida mostrando a importância do fósforo na fotossíntese.

O trabalho de Cestari, Krug, Novo (1996) pode ainda ser interpretado com mais profundidade sob o seguinte ponto de vista: baseado em imagens de satélite, pode-se determinar quantitativamente a clorofila. Como a clorofila pode ser diretamente relacionada com a biomassa fitoplanctônica, conclui-se que as imagens de satélite podem ser usadas para medir a produtividade anual do fitoplankton baseado no aumento da biomassa fitoplanctônica.

Segundo Esteves (1998), Wetzel (2003) e Streit *et al* (2005), a biomassa fitoplanctônica corresponde em geral a cerca de 1 a 2% da quantidade de clorofila-a.

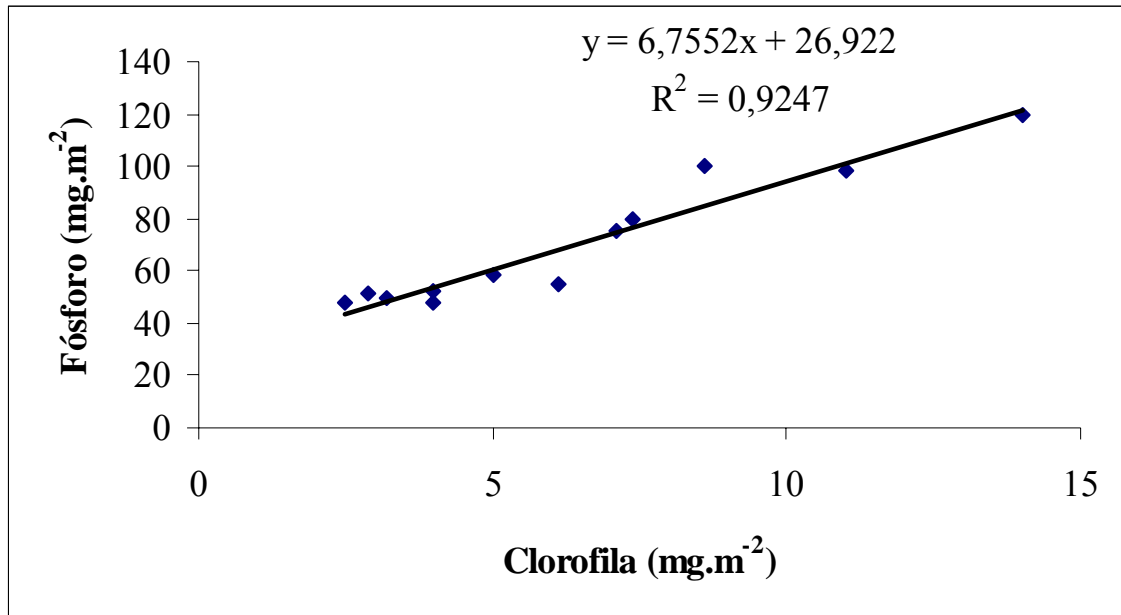


Figura 2.6 – Gráfico da relação entre clorofila e fósforo (Adaptado de HENRY *et al.*, 1998).

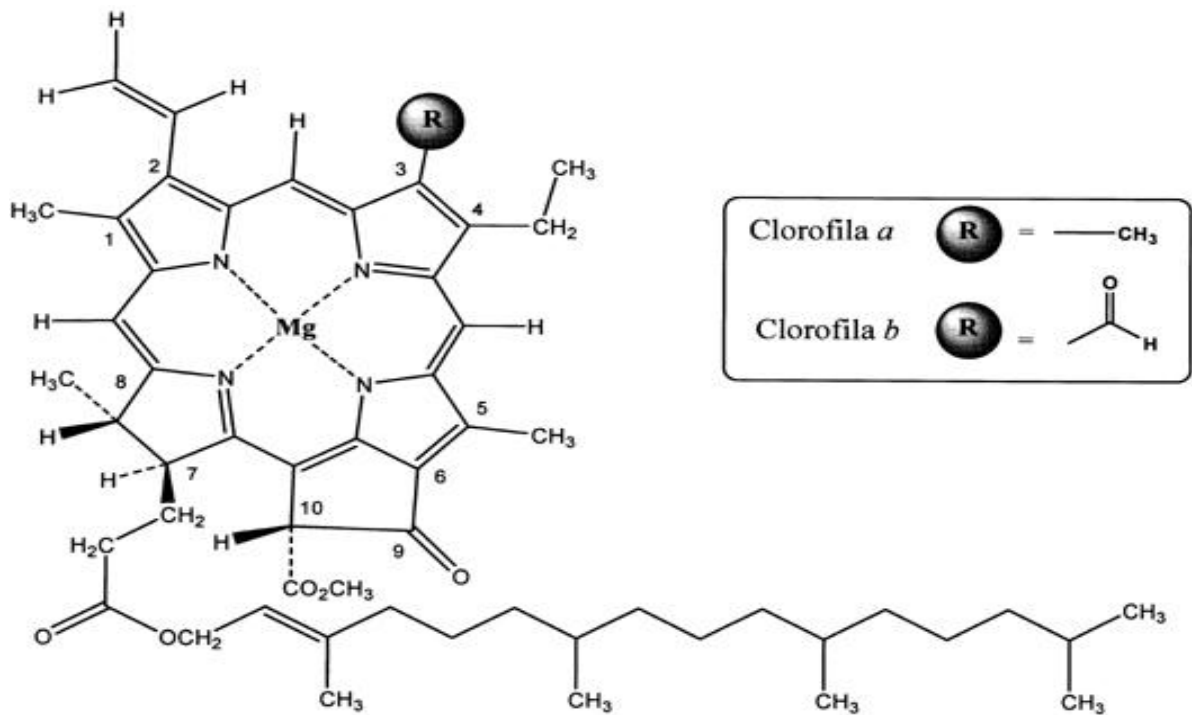


Figura 2.7 – Estrutura química da clorofila (STREIT *et al.*, 2005)

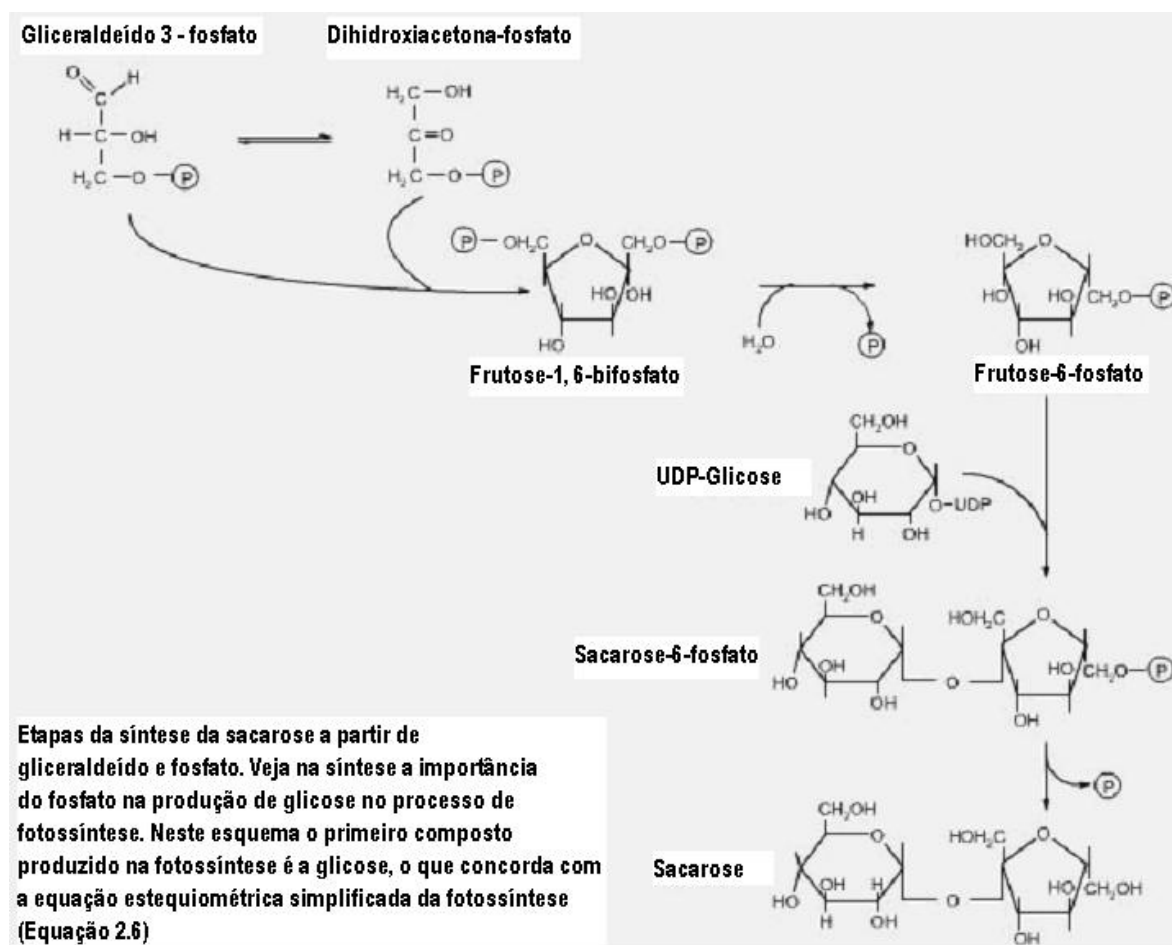


Figura 2.8 – Etapa da fotossíntese de síntese de carboidratos fosfatados, mostrando relação entre fotossíntese e fósforo (STREIT *et al.*, 2005).

Os valores de clorofila-a normalmente encontrados em ambientes lênticos variam de 1,6 a 130  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Esses valores podem aumentar ou diminuir dependendo da biomassa do sistema ou do estado trófico do corpo d'água (ARAÚJO; COELHO, 1998; HENRY *et al.*, 1998; BERMAN; POLLINGHER, 1974).

Obviamente o processo de fotossíntese não ocorre isolado da respiração. Os dois processos ocorrem simultaneamente, porém, a taxa de fotossíntese é normalmente maior que a respiração, desde que não haja fotoinibição, fotoxidação, fotolimitação ou exaustão de nutrientes.

No processo de respiração, compostos orgânicos sintetizados na fase fotossintética (compostos fosfatados e nitrogenados, respectivamente ATP e aminoácidos) são consumidos, e liberados (de forma extra celular): (1) fósforo inorgânico; (2) ADP; (3) gás carbônico e (4) água pelos seres autótrofos. Daí a importância de se mensurar os valores de respiração para

determinação da produtividade líquida pelo método dos frascos claros e escuros. Nesse método, dos resultados de fotossíntese bruta são descontados os valores da respiração (incluem-se nesses valores a respiração fitoplanctônica, bacteriana e do zooplâncton) para que se tenha a produtividade líquida (WETZEL, 2001; SOLOMONS, FRYHLE, 2000; AWWA; APHA; WEF; 1998; ESTEVES, 1998).

### **2.3.5 Produtividade, nutrientes e zonas de influência em reservatórios**

Rueda, Fleenor, Vicente (2007) estudaram a relação entre parâmetros físicos e zona eufótica em reservatórios profundos e de pequena extensão. Os autores concluem que a influencia dos fatores físicos são determinantes no caminho dos nutrientes na zona eufótica em reservatórios, com isso eles concluem haver três zonas de influencia em reservatórios e que estas são decisivas nos padrões de crescimento algal na zona eufótica, as zonas identificadas por esses autores são: (1) zona de tributário com grande aporte de nutrientes e grande turbulência; (2) zona de transição caracterizada por turbulência mediana e médio aporte de nutrientes; (3) zona de barragem caracterizado por forte influencia da barragem que provoca sedimentação, diminuição da vazão e conseqüente assoreamento e efeito concentrador de nutrientes. Wetzel (2001) também identifica as mesmas três zonas de influencia em reservatórios.

Os padrões de mistura nos reservatórios influenciam a distribuição horizontal e vertical de nutrientes ao longo dos reservatórios. Em reservatórios profundos e de pequena extensão há uma tendência de estratificação na primavera e inverno em países de clima tropical com desestratificação no verão e outono. A desestratificação ocorre em virtude das mudanças nos padrões de mistura das massas d'água provocado pelas chuvas de verão, a maior vazão e turbulência na zona de tributário provoca uma maior mistura entre o epilimnio e metalimnio proporcionando uma maior distribuição de nutrientes entre as camadas limnéticas. No inverno e primavera a escasses de chuva, baixa nebulosidade e intensa irradiação solar proporciona menor mistura das camadas d'água nos reservatórios, e formação de camadas bem definidas de distribuição de nutrientes e então há a estratificação do reservatório (RUEDA, FLEENOR, VICENTE, 2007; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

Rueda, Fleenor, Vicente (2007), Wetzel (2001) e Esteves (1998) concluem que as zonas periféricas e de barragem de um reservatório possuem altas taxas de produção em virtude da diminuição de turbulência e vazão, assoreamento com efeito concentrador de nutrientes e proximidade com a bacia de drenagem (no caso das zonas periféricas). Segundo esses autores não é incomum encontrar-se grande concentração de macrófitas e algas próximo de barragens e zonas periféricas.

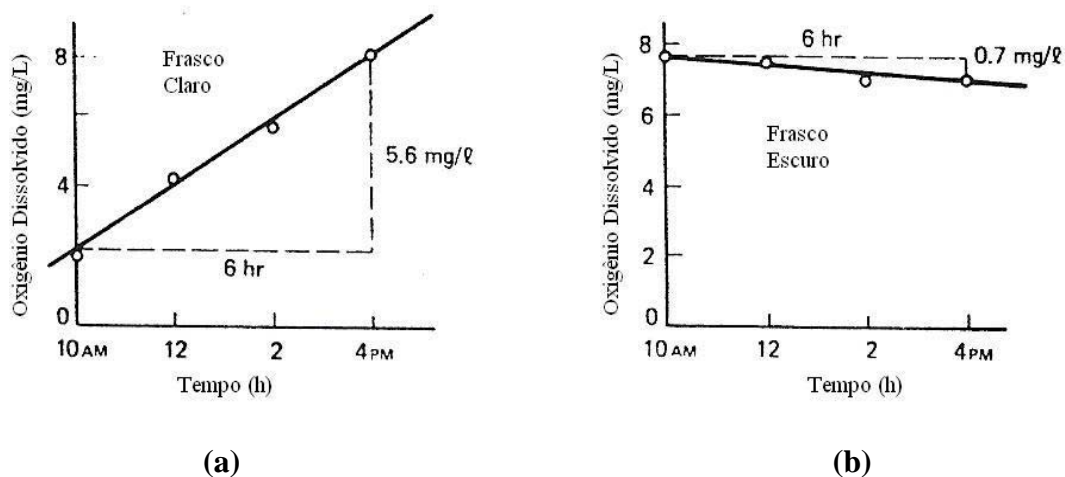
### 2.3.6 Taxa de fotossíntese, respiração e produção primária (PP)

A produtividade primária se encontra diretamente relacionada com a fotossíntese e respiração, e conseqüentemente com os valores de clorofila, fósforo e nitrogênio do meio ambiente. Em um ambiente aquático lântico os principais responsáveis pela produtividade primária são o fitoplâncton, macrófitas e bactérias quimossintetizantes. As bactérias quimiossintetizantes não necessitam da luz e dióxido de carbono para sintetizar matéria orgânica a partir da inorgânica, cujo principal produto da síntese é a matéria orgânica (fosfatada e proteínas) e energia a partir de compostos inorgânicos (tais como: enxofre, nitrogênio etc).

O método dos frascos claros e escuros se baseia na produção de oxigênio para quantificar a produção primária, a produtividade desses seres não é, portanto, mensurado. O controle da produtividade pelo fitoplâncton fica, portanto, a cargo de análise visual e produção de oxigênio por volume de amostra. Eventualmente na amostragem no método dos frascos claros e escuros macrófitas podem ser coletadas junto com fitoplâncton, mas uma análise visual rigorosa elimina quase por completo essa possibilidade e então, mede-se somente o oxigênio produzido pelos seres fitoplanctônicos. Na análise da respiração pelo método dos frascos claros e escuros não é possível separar respiração fitoplanctônica, bacteriana, de macrófitas e do zooplâncton (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; STREIT *et al.*, 2005; ARAÚJO, COELHO, 1998; IBELINGS, MABERLY, 1998; PIERINI, THOMAZ, 2004; FIORE *et al.*, 2005; WEISSMAN *et al.*, 1998; THOMANN, MÜELLER, 1987).

É objeto de estudo deste trabalho a produtividade pelo fitoplâncton, visto que a taxa positiva de fotossíntese frente à taxa de respiração torna esse gênero clorofilado de grande importância para o planeta (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; STREIT *et al.*, 2005;

ARAÚJO, COELHO, 1998; IBELINGS, MABERLY, 1998; PIERINI, THOMAZ, 2004; FIORE et al., 2005; WEISSMAN *et al.*, 1998; THOMANN, MÜELLER, 1987). A Figura 2.9 apresenta um gráfico de valores mostrando a taxa positiva da fotossíntese em relação às taxas de respiração (THOMANN, MUELLER, 1987).



**Figura 2.9 – Gráfico da (a) fotossíntese bruta ou produção primária bruta e (b) respiração (Modificado de THOMANN, MUELLER, 1987).**

As taxas de fotossíntese variam de acordo com o ambiente, teor de nutrientes, luminosidade, temperatura. Normalmente seus valores podem variar de  $0,425 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$  a  $717 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ . A faixa dos valores de respiração vão depender exclusivamente do teor de nutrientes e temperatura (WETZEL, 2001; HENRY *et al.*, 1998; ESTEVES, 1998; BERMAN; POLLINGHER, 1974).

## 2.4 Determinação da Produtividade Primária

Existem basicamente dois métodos para medida da PP: (1) Método do oxigênio dissolvido; (2) Método do  $^{14}\text{C}$  (carbono 14). Os métodos e suas variantes serão descritos a seguir.

### 2.4.1 Método de determinação do OD

Dentre os métodos existentes para estimativa das taxas de fotossíntese e respiração, destaca-se o método da determinação de oxigênio dissolvido (OD) em água por meio da imersão de frascos claros e escuros. Ambos os frascos, claros e escuros, são mergulhados lado a lado, no mesmo local de coleta e mesmo nível de profundidade. A água contida em ambos os frascos é submetida a um período que varia de 4 a 6 horas de incubação *in loco*. O frasco claro desenvolverá processo fotossintético (produção de OD) e o frasco escuro desenvolverá processo respiratório (consumo de OD). O OD é medido no início e no final do período de incubação. A água contida nos frascos poderá ser utilizada para determinar diretamente o carbono assimilado pela técnica do  $^{14}\text{C}$ . O resultado é expresso em  $\text{mgO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$  (BICUDO, BICUDO, 2004; WETZEL, 2003; APHA, AWWA, WEF, 1998; ESTEVES, 1998; VOLLENWEIDER, 1974)

A produtividade pode ser expressa em termos de oxigênio dissolvido, matéria orgânica, carbono ou energia. O oxigênio dissolvido determinado através do método dos frascos claros e escuros pode ser convertido para carbono ( $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ) em função da estequiometria da reação de fotossíntese (BICUDO, BICUDO, 2004; WETZEL, 2003; APHA, AWWA, WEF, 1998; ESTEVES, 1998; VOLLENWEIDER, 1974).

De acordo com Bicudo, Bicudo (2004) e Thomann, Mueller (1987), o método do oxigênio dissolvido pode ter variantes das quais destacam-se:

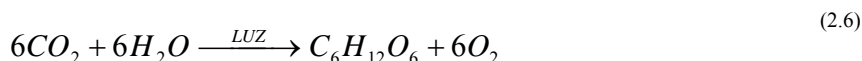
- **método *in situ***: a coleta, incubação e medida de oxigênio são feitas no local e na profundidade de coleta em frascos de vidro tipo DBO;
- **método da incubação em laboratório**: a amostra é coletada em profundidades desejadas e depois é incubada em laboratório com luminosidade e temperatura similares às encontradas no local de coleta;
- **método da medida *in situ* simultânea**: a medida é feita simultaneamente nas profundidades desejadas por meio de um eletrodo de membrana seletiva ao longo de 24 horas.

Ainda de acordo com Bicudo, Bicudo (2004) e Thomann, Mueller (1987), o método preferido pelos limnologistas é o método *in situ* com ensaio em frascos de vidro. Dessa forma elimina-se: (1) o efeito de variações de nutrientes ao longo do tempo de medida, (2) a amostra é sempre homogênea em virtude do confinamento da amostra em frascos de vidro hermeticamente fechados. A única desvantagem do método é a limitação do tempo de incubação devido à possibilidade de exaustão de nutrientes. Para contornar esse problema o

tempo de incubação não deve ser superior a 6 horas (BICUDO, BICUDO, 2004; THOMANN, MUELLER, 1987).

#### 2.4.2 Cálculo da razão mássica entre carbono e oxigênio na fotossíntese

O oxigênio dissolvido determinado através do método dos frascos claros e escuros pode ser convertido para carbono ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ) em função da estequiometria da reação de fotossíntese (Equação 2.6). A reação estequiométrica, expressada pela Equação 2.6, considera que todo o carbono inorgânico é incorporado na biomassa na forma de glicose (a glicose é o primeiro composto sintetizado na fotossíntese, a partir dela são sintetizados outros carboidratos de importância vital) (SOLOMONS, FRYHLE, 2000; VOLLENWEIDER, 1974).



De acordo com a Equação 2.6, para cada 6 mol de  $\text{CO}_2$  são produzidos 1 mol de glicose e 6 mol de  $\text{O}_2$ . Isso significa que 6 átomos de carbono são incorporados na molécula de glicose ao mesmo tempo em que são liberados 12 átomos de oxigênio na forma de oxigênio molecular, o que dá uma estequiometria de 1:2.

O oxigênio dissolvido determinado nos frascos claros e escuros pode ser convertido para carbono orgânico incorporado (em termos mássicos) e, portanto, são necessários 3 etapas de cálculos a seguir:

1) Cálculo da massa atômica total de oxigênio envolvida na reação de fotossíntese:

$$\begin{aligned} \text{massa de oxigênio} &= \frac{12 \times 16}{6,0221415 \times 10^{23}} = 3,18823 \times 10^{-22} \\ \text{massa de oxigênio} &= 3,18823 \times 10^{-22} \text{ g de O} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Em que:

12 = número de átomos oxigênios produzidos na fotossíntese;

16 = massa atômica relativa do oxigênio (relativa ao carbono 12 [ $^{12}\text{C}$ ]);

$6,0221415 \times 10^{23}$  = número de Avogadro (ou constante de Avogadro), 1 mol = constante de Avogadro;

2) Cálculo da massa total de carbono orgânico (glicose) envolvida na reação de fotossíntese:

$$\text{massa de carbono} = \frac{6 \times 12,01}{6,0221415 \times 10^{23}} \quad (2.8)$$

$$\text{massa de carbono} = 1,1965 \times 10^{-22} \text{ g de C}$$

Em que:

6 = número de átomos de carbono incorporados na glicose na fotossíntese;

12,01 = massa atômica relativa do carbono;

$6,00221415 \times 10^{23}$  = número de Avogadro (ou constante de Avogadro);

3) Cálculo da razão mássica:

$$\text{Razão} = \frac{\text{massa de oxigênio}}{\text{massa de carbono}} = \frac{3,1882346 \times 10^{-22} \text{ g}}{1,196584 \times 10^{-22} \text{ g}} = 2,679 \cong 2,68 \quad (2.9)$$

$$\text{Razão} = 2,68$$

A razão de 2,68 significa que para cada 1,0 grama de átomo de carbono incorporado à glicose são produzidos 2,68 gramas de átomos de oxigênio.

Com essa razão mássica pode-se obter, portanto, o quanto de massa de carbono é produzida a partir da determinação do oxigênio dissolvido nos frascos claros e escuros. A Equação 2.10 expressa matematicamente a conversão de oxigênio dissolvido em carbono.

$$\text{massa de carbono} = \frac{\text{massa de oxigênio}}{\text{razão mássica}} = \frac{\text{massa de oxigênio}}{2,68} \quad (2.10)$$

### 2.4.3 Método do carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ )

Este método baseia-se na instabilidade do carbono 14 (radioativo) que é incorporado na biomassa fitoplanctônica no processo de fotossíntese, e posteriormente quantificado pelo método da fluorescência. Em virtude de sua radioatividade, o carbono 14 é facilmente identificado e contabilizado pela quantidade de  $^{14}\text{C}$  incorporado à biomassa em experimento conduzido em laboratório de forma controlada. A grande desvantagem desse método é o seu alto custo e exigência de mão-de-obra altamente especializada, laboratório

adequado, além de cuidados especiais no descarte de material radioativo, pois a meia vida do  $^{14}\text{C}$  é de aproximadamente 5.700 anos (APHA, AWWA, WEF, 1998; VOLLENWEIDER, 1974).

### **3. ESTRATIFICAÇÃO EM LAGOS E RESERVATÓRIOS E CINÉTICA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO**

O maior tempo de residência<sup>11</sup>, a menor vazão e os padrões de mistura em ambientes lênticos fazem com que lagos e reservatórios tenham um comportamento singular em relação aos ambientes lóticos. Segundo Wetzel (2001) e Esteves (1998) os ambientes aquáticos continentais são classificados em lênticos ou lóticos segundo o tempo de residência. O Quadro 3.1 classifica as águas de acordo com o tempo de residência. Devido ao maior tempo de residência dos lagos e reservatórios há o aparecimento de perfis de estratificação química e física que serão abordados nos itens subsequentes. O tempo de residência é calculado segundo a Equação 3.1.

$$T = \frac{V}{Q} \quad (3.1)$$

Em que:

T = tempo de residência (h);

V= volume do lago, reservatório, rio etc (m<sup>3</sup>);

Q = vazão (m<sup>3</sup>/h)

A estratificação química pode ocorrer em lagos e reservatórios independente da estratificação térmica, porém na maioria dos casos a estratificação térmica leva a estratificação química, principalmente em regiões temperadas. Para regiões tropicais, frequentemente observa-se estratificação química na homotermia ou vice versa. Nos trabalhos de Henry *et. al.* (1998) foi verificada estratificação térmica sem que houvesse estratificação química para zona de tributário, neste caso houve estratificação térmica de 3,8°C sem que houvesse estratificação do oxigênio dissolvido (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; HENRY *et al.*, 1998).

---

<sup>11</sup> Tempo de residência ou tempo de renovação é o tempo necessário para que determinado volume de água complete o ciclo hídrico em um corpo d'água qualquer. É calculado com base na vazão e volume do corpo d'água.

**Quadro 3.1 – Tempo de renovação ou tempo de residência médios de vários ambientes aquáticos (Modificado de WETZEL, 2001).**

Ambiente aquático	Tempo de residência	Unidade
Oceanos	3100	ano
Gelo polar, glaciais	16000	ano
Água subterrânea (lençóis freáticos)	300	ano
Lagos de água doce	1-100	ano
Lagos salinos	10-1000	ano
Solos e subsolos úmidos	280	dia
Rios	12-20	dia
Vapor de água atmosférica	9	dia

### **3.1 Estratificação térmica e química em lagos e reservatórios: os perfis clinogrado e ortogrado**

A estratificação é a distribuição heterogênea de nutrientes e temperatura ao longo da coluna d'água em lagos e reservatórios. A estratificação pode ser dividida em tipos distintos: (1) estratificação química e (2) estratificação térmica. A estratificação térmica depende da irradiação solar que chega na superfície da água e tanto estratificação térmica quanto química são dependentes de fatores físicos tais como: (1) irradiação solar, (2) turbulência, (3) cobertura vegetal, (4) atividades antropogênicas (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; HENRY *et. al.*, 1998).

A estratificação química mais importante para o corpo d'água é a do oxigênio dissolvido, e neste caso, pode levar a formação de dois perfis distintos, juntamente com a temperatura, conhecidos como: **perfil clinogrado e ortogrado** (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; HENRY *et. al.*, 1998).

O perfil clinogrado ocorre quando o oxigênio dissolvido diminui ao longo da coluna d'água juntamente com a temperatura, neste caso o hipolímnio frequentemente é anaeróbio. Este fenômeno é muito comum em reservatórios profundos, porém, ocorre em reservatórios rasos também como pode ser visto no trabalho de Souza *et al.* (2008). É um perfil comum no verão em países temperados devido ao aumento da temperatura na superfície

da água e a baixa temperatura no fundo do lago, provocando diferenças nas densidades da água da superfície e fundo (SOUZA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; HENRY *et al.*, 1998).

Em países de clima tropical é mais comum estratificações e desestratificações diárias. Neste caso, a estratificação ocorre durante o dia com o aumento da temperatura na superfície, e chega ao máximo por volta das 16-17 horas. Durante a noite ocorre uma inversão térmica pela perda de calor para a atmosfera. Deste modo a densidade da água entre epilímnio e hipolímnio se igualam e a circulação nivela as temperaturas das camadas ocorrendo, portanto, a desestratificação da coluna d'água principalmente devido à pequena diferença de temperatura entre epilímnio e hipolímnio (normalmente para regiões tropicais na primavera, verão e outono a diferença não é superior a 4°C) (SOUZA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; HENRY *et al.*, 1998).

Neste caso, epilímnio e metalímnio tendem a terem teores mais baixos de nutrientes que o hipolímnio porque as taxas de produção, e conseqüentemente os nutrientes necessários à fotossíntese são consumidos e se tornam escassos. Como a temperatura das camadas superiores é mais alta, a densidade da água é menor que a das camadas inferiores dificultando assim, a circulação entre o hipolímnio e o meta e epilímnio, acentuando ainda mais a estratificação e a reposição de nutrientes pelo hipolímnio. Esse padrão de mistura também pode ser encontrado em reservatórios rasos como é o caso do trabalho de Souza *et al.* (2008), onde podem ser encontradas estratificação térmica e química de, respectivamente, 3,8°C e 5,4 mg.L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub> (SOUZA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998; HENRY *et al.*, 1998).

O hipolímnio se torna anaeróbico no perfil clinogrado, devido às altas taxas de oxidação e ação microbiana presentes na camada bentônica, que consomem oxigênio juntamente com a diminuição da densidade da água do epilímnio que dificulta a reposição de oxigênio nas camadas inferiores (SOUZA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

O perfil ortogrado ocorre quando o oxigênio dissolvido aumenta ao longo da coluna d'água enquanto que a temperatura diminui. Em lagos e reservatórios oligotróficos, o perfil ortogrado é comum, enquanto que em reservatórios e lagos eutróficos o perfil clinogrado é mais comum (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998, HENRY *et al.*, 1998).

Em lagos e reservatórios de regiões tropicais é comum a identificação dos perfis clinogrado e ortogrado no mesmo dia. Isso ocorre porque a temperatura durante o dia e a noite

não variam muito ao longo do ano e então as variações sazonais nesse caso tem menor influência do que as variações diárias. Neste caso, o fotoperíodo em regiões tropicais é alto e a temperatura na superfície da água é mais alta (em torno de 3-4°C) que no fundo do reservatório durante o dia. Durante a noite a superfície da água perde calor para a atmosfera e a densidade da água aumenta promovendo uma situação de homotermia temporária pela mistura das massas d'água do epilímnio e hipolímnio provocada pela diferença das densidades das colunas d'água, voltando a estratificar durante o dia (SOUSA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998, HENRY *et. al.*, 1998).

Essa desestratificação noturna perdura até por volta das 10 horas da manhã do dia seguinte até que haja nova estratificação. Isso ocorre durante todo o ano em países tropicais. Porém, em reservatórios rasos a estratificação pode ser permanente durante todo o ano como foi verificado no trabalho de Souza *et al.* (2008), que verificaram que a estratificação na Represa Samambaia perdura durante todo o ano mesmo durante a noite, com ligeira desestratificação pela mistura das massas d'água durante o verão, em função do período de chuva que promove a homotermia pela mistura da coluna d'água pelas chuvas, principalmente, na zona de tributário (SOUSA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998, HENRY *et. al.*, 1998).

Porém, em países de clima temperado a estratificação é comum no verão devido ao grande fotoperíodo, com ventos fracos e pouca nebulosidade nessa estação; com desestratificação na primavera e outono, onde as temperaturas são mais amenas e o fotoperíodo é menor; voltando a estratificar novamente no inverno (a estratificação no inverno é chamada, neste caso, de estratificação inversa) (SOUSA *et al.*, 2008; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998, HENRY *et. al.*, 1998).

Em reservatórios os perfis de estratificação podem variar em relação aos de lagos naturais (ou artificiais) devido às fortes influências do tributário que forma o reservatório. O principal fator que influencia no perfil de estratificação de reservatórios é o regime de mistura das águas que chegam do tributário, que devido à vazão elevada em relação a lagos naturais aumenta a turbulência e homogeneização da coluna d'água forçando à uma desestratificação na zona de tributário. Esse fator físico altera significativamente o comportamento esperado de reservatórios o que os torna corpos híbridos rios/lagos e que pode alterar a classificação de reservatórios em relação aos lagos naturais. Souza *et al.* (2008) identificaram perfis diferentes para mesma época do ano na Represa Samambaia. Os autores encontraram os perfis

clinogrado e ortogrado ao mesmo tempo na primavera (outubro de 2008), na mesma área de estudo. Isso indica a existência dos dois perfis em um mesmo dia para a represa Samambaia que é oligotrófica, contrariando assim a previsão de um perfil ortogrado comum em lagos oligotróficos (SOUSA *et al.*, 2008; RUEDA, FLEENOR, VICENTE, 2007; WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

### 3.2 Classificação de lagos e reservatórios quanto ao tipo de circulação

Com relação aos padrões de circulação das massas d'água em um lago ou reservatório várias são as denominações que vão variar de acordo com número e a forma de circulação. Os fatores determinantes na classificação são: (1) temperatura ambiente e da água; (2) morfometria do lago ou reservatório; (3) ventos; (4) cobertura vegetal das regiões litorâneas (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

Levando-se em conta esses fatores, os lagos ou reservatórios podem ser classificados, de acordo com Esteves (1998), como:

#### 3.2.1 Lagos holomíticos

Possuem circulação em toda extensão da coluna d'água. Se subdivide nos seguintes sub-tipos:

**a) dimíticos:** lagos com duas circulações por ano, são comuns em regiões de clima temperado

**b) monomíticos:** lagos com uma circulação por ano. Se dividem em monomíticos quentes e frios.

**b.1) monomíticos quentes:** lagos com circulação somente no inverno.

**b.2) monomíticos frios:** lagos com circulação somente no verão. Localizados em regiões subpolares.

**c) oligomíticos:** lagos com poucas circulações durante o ano. São lagos profundos, localizados nos trópicos úmidos. Se encontram estratificados durante todo o ano mesmo com queda da temperatura durante a noite que não chega a quebrar a estratificação. Algumas vezes no inverno, em períodos prolongados de queda da temperatura atmosférica a

temperatura da água pode cair, provocando um resfriamento do epilímnio que promove uma mistura das massas d'água resultando em homotermia e quebra da termoclina.

**d) polimíticos:** lagos normalmente rasos com grande extensão. Neste tipo de lago, as circulações são diárias e freqüentes. A baixa profundidade e o resfriamento da camada superficial facilita a homotermia noturna.

### 3.2.2 Lagos meromíticos

Lagos ou reservatórios em que a circulação não alcança toda a coluna d'água. Dois são os tipos de lagos meromíticos:

**a) meromixia geomorfológica:** ocorre em lagos profundos e protegidos do vento. A ausência de ventos não permite a circulação das camadas inferiores e então a circulação fica concentrada somente na parte superior.

**b) meromixia química:** neste tipo de lago a camada mais profunda é mais densa devido à concentração de sais maior que na camada superior. Um exemplo deste tipo de lago é o Mar Negro.

## 3.3 Dinâmica do oxigênio dissolvido em lagos tropicais

No que diz respeito à concentração de oxigênio dissolvido em lagos tropicais três são os fatores que influenciam em sua dinâmica: (1) temperatura; (2) concentração da matéria orgânica e (3) extensão do período de estratificação térmica. Desses três fatores o de maior importância para regiões tropicais é a temperatura. Em seguida serão discutidos a influência de cada um desses fatores (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

### 3.3.1 Temperatura como fator controlador direto da concentração de oxigênio

#### 3.3.1.1 Regiões Temperadas

Em regiões temperadas com estações do ano bem definidas a temperatura influencia de forma bem definida. No verão, em lagos com alta produção primária observa-se déficit de oxigênio na região do hipolímnio. Isso ocorre devido às taxas elevadas de matéria orgânica e o lago é classificado como eutrófico com perfil clinogrado (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

Para lagos profundos com produção primária baixa, há pouca interferência da oxidação da matéria orgânica acumulada no hipolímnio, resultando em distribuição de oxigênio dissolvido em toda a coluna d'água sem anoxia do hipolímnio. Mesmo com temperaturas mais elevadas, o oxigênio acumulado ao longo da circulação da primavera é suficiente para manter as concentrações durante o verão, sem déficit para o hipolímnio. Neste caso, o lago é classificado como oligotrófico com perfil de oxigênio dissolvido ortogrado. Durante o verão esses lagos podem apresentar maiores concentrações de oxigênio dissolvido no hipolímnio, em virtude do aumento desta camada, aumentando, assim, a solubilidade desse gás (WETZEL, 2001; ESTEVES, 1998).

### 3.3.1.2 Regiões Tropicais

Para lagos tropicais, a elevada temperatura do hipolímnio, fornece condições favoráveis para elevar as taxas de respiração e, portanto, a decomposição da matéria orgânica. Tornando o hipolímnio de lagos tropicais quase sempre anóxicos com perfil clinogrado com relação aos teores de oxigênio dissolvido (ESTEVES, 1998; WETZEL, 2001).

Henry *et al.* (1998) verificou perfil predominantemente clinogrado para a Represa Jurumirim com relação aos teores de oxigênio dissolvido, o que a classificou como eutrófica, porém, com relação à produtividade primária a Represa Jurumirim deve ser classificada como oligotrófica, com média de produtividade primária de  $238,0 \text{ mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ . A Represa Jurumirim não apresentou, na maior parte do ano, hipolímnio anóxico. A anoxia foi observada somente nos meses de janeiro e fevereiro, provavelmente devido ao maior aporte de nutrientes da bacia de drenagem com a estação chuvosa. A ausência de anoxia para o hipolímnio é creditada nesse caso à morfometria do reservatório, que sujeito à ação dos ventos, sofre homogeneização da coluna d'água pela ação mecânica dos ventos, que aumenta a espessura do epilímnio facilitando a troca gasosa com o hipolímnio (ESTEVES, 1998; HENRY *et al.*, 1998).

### 3.4 Cinética química de reações

Trabalhos sobre produtividade primária sempre envolvem em algum momento cálculos baseados em cinética química de reação. A fotossíntese e a respiração envolvem a produção/consumo de oxigênio molecular e dióxido de carbono, portanto, é necessário que se conheça o comportamento cinético dessas reações para que se possa inferir qualquer hipótese a respeito dos processos de fotossíntese e respiração.

#### 3.4.1 Definição de taxa de reação química

Entre os autores especialistas em produtividade existe uma confusão grande em torno do que seja taxa de reação química. Portanto, é necessário conceituá-la sob a visão da físico-química. Taxa de reação química é, segundo Miller (1985), **a mudança de quantidade com o tempo.**

No caso da fotossíntese e respiração, objeto de estudo deste trabalho, é a mudança de concentração do oxigênio dissolvido ao longo do tempo de estudo. Levando-se em conta a reação química mostrada na Equação 3.2, a Equação 3.3 expressa matematicamente o que é taxa de reação (BICUDO, BICUDO, 2004; MILLER, 1985).

A produtividade, medida através dos valores de fotossíntese bruta e respiração, é a **taxa de reação química** de produção de oxigênio dissolvido, enquanto a respiração total é o consumo de oxigênio ao longo do tempo amostral.



$$Taxa = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt} \quad (3.3)$$

### 3.4.2 Definição da equação da taxa de reação química

A Equação 3.1 mostra a reação entre reagentes para formação de produtos finais. Neste caso é mais adequado que a taxa de reação química seja definida em termos de **equação da taxa de reação**.

A diferença básica entre a **equação da taxa de reação** com a **taxa de reação** é que no caso da primeira tem-se o acréscimo de um novo elemento à equação que é o **coeficiente da taxa**, que pode ser representado por  $k$ . A unidade de  $k$  depende da ordem da reação química. Por exemplo, para uma reação de primeira ordem, a unidade de  $k$  é  $t^{-1}$ , se a reação for de segunda ordem, a unidade de  $k$  é  $\left(\frac{v}{[ ]} \cdot t\right)$ , em que: “t” expressa tempo; “v” expressa volume e “[ ]” expressa concentração (ATKINS, 2003; MILLER, 1985; MOORE, 1976).

A grande importância do valor de  $k$  é que, para uma dada temperatura (temperatura constante), o seu valor se mantém imutável ao longo do tempo, enquanto que a taxa de reação diminui com a concentração do reagente. No caso específico da fotossíntese e respiração, a determinação do  $k$  é importante na comparação entre ecossistemas diferentes, e a mudança da resposta deste frente a mudanças climáticas, visto que o coeficiente só se mantém imutável ao longo do tempo, se a temperatura não mudar bruscamente. No caso do aquecimento global, por exemplo, uma mudança brusca na temperatura, muda completamente os valores do coeficiente e, conseqüentemente, os valores de fotossíntese e respiração, alterando os valores normalmente encontrados em um dado ecossistema. O fato de o coeficiente ser constante facilita a interpretação de dados quando se quer avaliar o comportamento de uma mesma região de estudo ao longo do período sazonal (ATKINS, 2003; MILLER, 1985; MOORE, 1976).

### 3.4.3 Ordem de uma reação química

A determinação do valor de  $k$  depende exclusivamente da determinação da ordem de reação. A ordem de reação é o expoente das concentrações encontrados na equação da taxa de reação. Na Equação 3.4, a ordem de reação é a soma dos seus expoentes (ATKINS, 2003; MILLER, 1985; MOORE, 1976).

$$\begin{aligned} \text{Taxa} &= k [X]^n [Y]^m \\ \text{Ordem de reação} &= n + m \end{aligned} \quad (3.4)$$

Desta forma, se a soma desses expoentes for igual a 1, diz-se que a reação é de primeira ordem. Se a soma dos expoentes for igual a 2, a reação é de segunda ordem e assim por diante. Podem existir ordens fracionárias, tal como ordem meio ( $\frac{1}{2}$ ) (ATKINS, 2003; MILLER, 1985; MOORE, 1976).

A ordem de reação expressa exclusivamente a **natureza das colisões** que ocorrem durante a reação química e só pode ser determinada experimentalmente. Neste caso, é importante observar que, a energia de ativação deve ser superada para que a reação química ocorra, caso contrário a reação não ocorre mesmo que haja colisão entre as espécies químicas (ATKINS, 2003; MILLER, 1985; MOORE, 1976).

Para o presente trabalho a ordem de reação foi determinada experimentalmente para a fotossíntese e estendida para a respiração. Encontrada a ordem de reação, para cada ponto de coleta e profundidade, partiu-se para a determinação dos coeficientes das taxas com base nas concentrações inicial e final de oxigênio, e no tempo de exposição ao sol no local de coleta. Para efeitos de cálculos da ordem de reação, o volume e a temperatura foram considerados constantes (ATKINS, 2003; MILLER, 1985; MOORE, 1976). As equações para cálculo dos valores dos coeficientes,  $k$ , encontram-se no Quadro 3.2. O cálculo de  $k$  depende da determinação da ordem de reação, para escolha de qual equação deve ser usada para determinar o  $k$ .

**Quadro 3.2 – Equações das taxas integradas para reações de ordem zero, um e dois.**

Ordem da reação	Equação da taxa	Equação da taxa integrada	Linearização da equação
Zero	$-\frac{d[A]}{dt} = k$	$[A]_i - [A]_f = kt$	$[A]$ vs $t$
Primeira ordem	$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$	$\log \frac{[A]_i}{[A]_f} = \frac{kt}{2.30}$	$\log[A]$ vs $t$
Segunda Ordem	$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$	$\frac{1}{[A]_f} - \frac{1}{[A]_i} = kt$	$\frac{1}{[A]}$ vs $t$

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi dividido em quatro etapas distintas:

- 1) caracterização físico-química, física e biológica do Reservatório Samambaia;
- 2) determinação das taxas de fotossíntese, respiração e produtividade primária líquida;
- 3) classificação da trofia do reservatório segundo a produtividade primária;
- 4) análise multivariadas dos parâmetros físico-químicos e biológicos do Reservatório Samambaia.

Tanto a caracterização físico-química da água quanto às taxas de fotossíntese e respiração foram quantificadas em três pontos distintos do Reservatório Samambaia. Esses pontos foram escolhidos de acordo com as zonas de influência comum em reservatórios. Esses pontos e suas respectivas coordenadas se encontram na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Pontos de amostragem na Represa Samambaia no Campus II da Universidade Federal de Goiás.**

Ponto de amostragem	Descrição	Coordenadas UTM dos pontos (Zona 22)	
		X	Y
Ponto 1 (P1)	Zona de barragem	683478,48	8164555,13
Ponto 2 (P2)	Meio da represa	683531,38	8164622,46
Ponto 3 (P3)	Zona de tributário	683616,34	8164679,54

### 4.1 Análise da qualidade da água

O Quadro 4.1 sintetiza as metodologias utilizadas nas análises dos parâmetros físico-químicos para caracterização da água do Reservatório Samambaia. As metodologias de análise de água são prescritas em APHA (1998).

A análise de nitrogênio amoniacal foi feita segundo método da nesslerização direta e não consta em APHA (1998) e, portanto, foi descrita no Anexo 1.

**Quadro 4.1 – Metodologias de análise para determinação dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água e da produtividade primária do Reservatório Samambaia.**

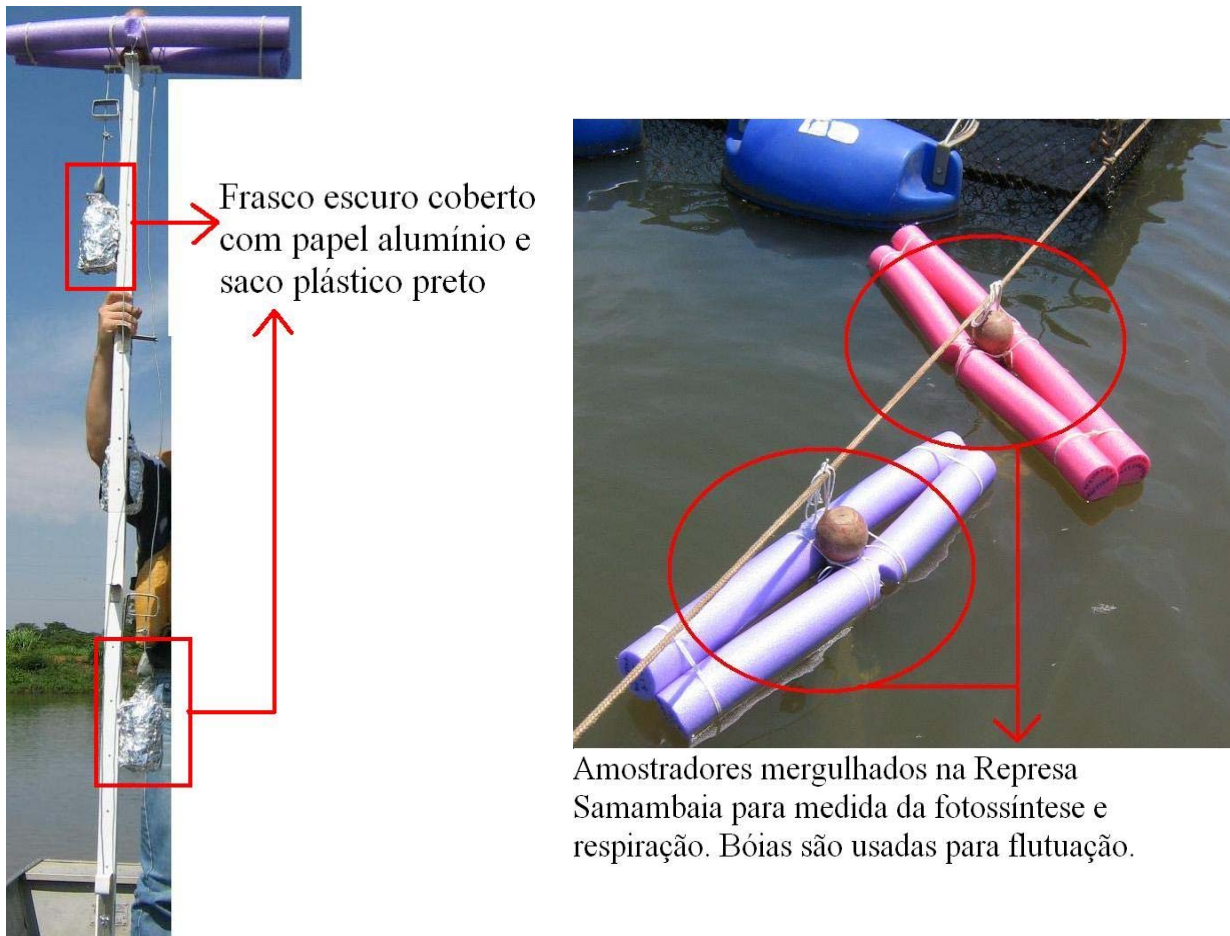
<b>Parâmetro físico-químico</b>	<b>Metodologia segundo APHA (1998)*</b>
Oxigênio dissolvido (OD)	4500-O C – Método da azida modificada 4500-O G – Método da membrana seletiva com eletrodo galvânico
Demanda química de oxigênio (DQO)	5220 C – Método titrimétrico de refluxo fechado
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B – Método espectrofotométrico UV
Nitrogênio Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	SILVA, OLIVEIRA (2001) – Método da nesslerização direta*
Fósforo total e ortofosfato	4500-P E – Método do ácido ascórbico com digestão sulfo-nítrica
Alcalinidade	2320 B – Método titrimétrico
pH	4500-H <sup>+</sup> B – Método eletrométrico
Condutividade	2510 B – Método condutimétrico
Turbidez	2130 B – Método nefelométrico
Cor	2120 B – Método da comparação visual
Série de sólidos	Sólidos totais: 2540 B Sólidos suspensos: 2540 D Sólidos dissolvidos: 2540 C
Clorofila-a	10200H – Método espectrofotométrico
Produtividade primária	10200J-2 – Método do oxigênio dissolvido (frascos claros e escuros)
Transparência	PREISENDORFER, 1986; TYLER, 1968; ISHII, 1987 – Método de Secchi (disco de secchi)*

\* As metodologias não constantes em APHA (1998) são encontradas nas referências bibliográficas citadas.

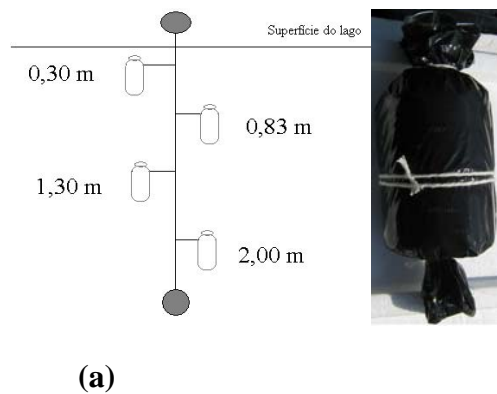
## 4.2 Análise da produtividade primária

### 4.2.1 Determinação da produtividade pelo método do oxigênio dissolvido

O método utilizado neste trabalho foi o método do oxigênio dissolvido com incubação *in situ*. Este é um método indireto de medição, cuja determinação da produtividade primária é feita com base na produção e consumo de oxigênio dissolvido na água, onde utilizou-se a técnica dos frascos claros e escuros. A técnica consistiu na inserção de um suporte amostrador de água simultâneo (haste construída em alumínio), contendo 4 frascos de OD, de aproximadamente 300 mL cada. As profundidades amostradas pelo suporte foram feitas nos níveis de 0,30; 0,83; 1,30 e 2,00 m de profundidade a partir da superfície livre da água, *in situ* no Reservatório Samambaia, como ilustram as Figura 4.1 e Figura 4.2.



(a) (b)  
**Figura 4.1 – Amostrador simultâneo multi-níveis (a) e amostradores mergulhados na Represa Samambaia (b).**



**Figura 4.2 – Esquema de amostrador simultâneo (a) e frasco escuro (b).**

Foram usadas duas hastes por ponto analisado, em que uma haste continha quatro frascos claros para medida da fotossíntese e a outra continha quatro frascos escuros para medida da respiração total, totalizando oito frascos por ponto. Os níveis foram escolhidos de acordo com o coeficiente de atenuação da radiação solar calculado na Tabela 5.3a e 5.3b no capítulo 5, os níveis contemplaram as três zonas de influência na coluna d'água que são: (1) zona de inibição; (2) zona de saturação e (3) zona de limitação.

Os frascos claros são de vidro tipo OD de 300,0 mL e os frascos escuros são os frascos claros cobertos com saco de plástico preto e papel alumínio (Figuras 4.1 e 4.2)

O valor de OD inicial foi medido pelo método da azida modificada (também conhecido por “método de Winkler”), em que a haste é mergulhada com os frascos claros e escuros. As amostras foram coletadas, retiradas da haste, e em seguida, foram determinados os valores de OD iniciais em laboratório, pelo método da azida modificada. Depois de coletadas as amostras para OD inicial, as hastes foram novamente mergulhadas com novos frascos de coleta (tanto para fotossíntese quanto para respiração), para em seguida serem deixados em repouso no próprio local de coleta com as amostras, onde os suportes flutuavam com auxílio de bóias, durante o período de estudo (que não excedeu a 5 horas), fixo em um mesmo ponto da represa.

Segundo Bicudo e Bicudo (2004), a exposição não deve ultrapassar o tempo máximo de 6 horas para evitar a fadiga pela exaustão de nutrientes. No presente trabalho, após avaliação cinética de fotossíntese e respiração determinou-se o melhor tempo de exposição para análise da produtividade, chegando-se à conclusão que o melhor tempo de exposição ficou entre 3 e 4 horas de exposição, acima disso a exaustão de nutrientes comprometia o experimento.

Foram feitas quatro coletas para fotossíntese e respiração. As coletas foram divididas de modo que contemplassem os períodos de chuva e seca.

No presente trabalho optou-se pela técnica indireta de medição pelos seguintes motivos:

1) A técnica do oxigênio dissolvido é bastante simples e pode ser usada em qualquer laboratório que tenha implementado, no mínimo, a técnica iodométrica (método da azida modificada ou método de Winkler) de determinação de oxigênio dissolvido na água (VOLLENWEIDER, 1969);

2) Equipamentos, vidraria e reagentes são bastante acessíveis, têm custos relativamente baixos e são de fácil manuseio, o que não exige uma equipe demasiadamente especializada onerando menores custos de análise;

3) A infra-estrutura do laboratório, por questões de segurança, não permitiu que se trabalhasse com composto de Carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ), que é um composto radioativo que exige equipe e infra-estrutura adequadas;

4) Ambas as técnicas são precisas e possuem alto grau de confiabilidade, além disso, são muitos os trabalhos que utilizaram essa técnica, o que permite comparações bastante razoáveis;

5) Segundo Vollenweider (1974), na técnica do oxigênio dissolvido a diferença entre os valores inicial e final de  $\text{O}_2$  não pode ser menor que  $0,2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ . Caso esse valor não ocorra, a confiabilidade do método não é mais adequada (VOLLENWEIDER, 1974).

A metodologia de análise da produtividade primária foi feita segundo APHA (1998) pelo Método da Produtividade do Oxigênio Dissolvido (Metodologia 10200J-2). O método baseia-se na quantidade de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) lançado no meio aquático pela fotossíntese, descontados os valores da respiração da comunidade zooplanctônica e fitoplanctônica (APHA,1998; BICUDO, BICUDO, 2004).

O Método 10200J-2 consiste em monitorar o oxigênio que é produzido pelos organismos fitoplanctônicos em ambiente aquático por meio de confinamento da amostra *in situ*, com leituras do oxigênio dissolvido em intervalos de tempo definidos.

Para execução do método foram necessários:

3 Um coletor multi-níveis,

4 Frascos de DBO de 300 mL,

5 Um oxímetro com membrana seletiva de acordo com APHA (1998),

6 Reagentes para o método de Winkler (ou método da azida modificada),

7 Plástico preto ou fita isolante preta,

- Folha de alumínio.

#### 4.2.2 Amostragem para determinação da qualidade da água e produtividade primária

Uma equipe de quatro pessoas, previamente treinadas, foram necessárias para realização dos trabalhos de coleta e análises de água. No equipamento, chamado **Coletor Simultâneo Multi-níveis de Água** (Figuras 4.1 e 4.2), confeccionado em alumínio, foram montados os frascos de DBO de modo que a coleta fosse feita de forma simultânea em quatro níveis de profundidade diferentes na coluna d'água. As profundidades foram, respectivamente, 0,30 m; 0,83 m; 1,30 m; 2,00 m.

A coleta de amostra para avaliação da qualidade da água e a análise da produtividade primária foram feitas dentro dos limites da zona eufótica<sup>12</sup> e contemplaram 3 zonas da coluna d'água, segundo a intensidade de radiação solar (As Figuras 2.1 e 4.2 dos capítulos 2 e 4, respectivamente, mostram esquema dos níveis de profundidade amostrados) (BICUDO, BICUDO, 2004; ESTEVES, 1998):

- Zona 1: zona de inibição pela luz;
- Zona 2: zona de saturação pela luz;
- Zona 3: zona de limitação pela luz.

O Coletor Simultâneo Multi-níveis de Água, chamado apenas de Coletor Simultâneo (por motivos de simplicidade), substituiu a chamada Garrafa de Van Dorn. O coletor simultâneo apresentou várias vantagens com relação à Garrafa de Van Dorn, dentre elas se destacam:

- a coleta era feita de forma simultânea em 4 níveis da coluna d'água, o que não acontece com a Garrafa de Van Dorn,
- a amostra fica menos tempo em contato com o oxigênio atmosférico, que na metodologia (10200J-2) é um interferente bastante deletério,
- a coleta da amostra nos frascos de DBO é feita na ausência do oxigênio atmosférico, o que não acontece com a Garrafa de Van Dorn que necessita ser trazida à superfície para enchimento dos frascos,
- no coletor simultâneo, a coleta, a leitura dos valores OD, e o repouso das amostras, são feitos ao mesmo tempo e no próprio nível de coleta (*in situ*),

---

<sup>12</sup> **zona eufótica** corresponde à faixa da coluna d'água que vai da superfície até 1% do valor da radiação solar de superfície

- o coletor simultâneo, além de ter proporcionado a medida simultânea de quatro níveis de profundidade do OD para a produtividade primária, ainda permite a coleta de amostras para leitura de parâmetros físico-químicos exatamente nos níveis de profundidades desejados, sem alteração desses níveis entre uma coleta e outra.

#### **4.2.2.1 Etapas da amostragem para qualidade da água e produtividade**

As coletas foram feitas da seguinte forma: no coletor simultâneo foram montados os frascos de DBO nos níveis de profundidade já citados. Após montagem o equipamento foi afundado com os frascos fechados. Uma vez afundados dentro da coluna d'água, os frascos DBO foram abertos por meio de um sistema de alavanca e então foram preenchidos com a água do nível em que se encontravam. Depois de preenchidos os frascos, o equipamento como um todo foi trazido à superfície. A amostra contida no frasco foi fixada para posterior análise em laboratório pelo método de Winkler. O OD da amostra (fixado em campo) foi determinado por titrimetria. Um novo procedimento de afundamento e coleta foi feito, onde os frascos foram fechados e deixados *in loco* por 3 horas. Após tempo de incubação, os frascos foram trazidos à superfície, e o OD contido na amostra dos frascos foi fixado e posteriormente determinado pelo mesmo método do OD inicial.

A diferença entre o valor inicial de OD e o valor final de OD é a produção primária bruta, e a sua divisão pelo tempo amostral é o valor da produtividade primária bruta (ou fotossíntese bruta), em que descontados o valor de respiração obtiveram-se os valores de produtividade primária líquida.

As taxas de respiração foram obtidas por meio do mesmo procedimento descrito para produção primária (fotossíntese). A diferença é que os frascos foram cobertos com plástico preto e folha de alumínio para evitar contato com luz solar (Figura 3.2), simulando assim o período noturno. Dessa forma as leituras de OD foram dispensadas no período noturno como feito em Odum (1956).

#### **4.2.3 Análise multivariadas dos dados**

Os dados obtidos de qualidade da água e de produtividade foram tratados estatisticamente com o uso do programa **Statistica versão 7.0 da Statsoft**.

O método estatístico utilizado pelo programa foi o **método de ligação por Cluster ou análise de agrupamento** que é uma técnica de classificação hierárquica. Este método baseia-se no princípio de **distâncias Euclianas**, e para a amalgamação dos dados obtidos foi utilizado o **método de Ward**. O corte para formação dos grupos não foi utilizado nenhuma metodologia específica, pois segundo Bicudo, Bicudo (2004) o corte deve ser feito de modo que se tenha o menor número de grupos possíveis, e que os grupos tenham sentido físico e químico para uma análise ambiental coerente com o que ocorre na prática. No caso deste trabalho, o corte foi feito de modo que os grupos amalgmados condissessem com os dados encontrados na literatura e que ao mesmo tempo formassem o menor número de grupos possíveis (BICUDO, BICUDO, 2004; MANLY, 2008).

Os dados das análises físico-químicas foram organizados em uma planilha de dados e em seguida copiados para o programa Statistica V. 7.0. Os dados foram compilados com as unidades de origem, que uma vez inseridos no programa foram padronizados para que uma variável não dominasse o resultado do coeficiente de parença utilizado. O programa realizou a padronização dos dados usando a Equação 4.1.

O programa calculou o coeficiente de parença entre as unidades amostrais utilizando a Equação 4.2. Como há dezenas de coeficientes com diferentes propriedades, o programa Statistica oferece algumas opções para determinação do coeficiente de parença; como o método escolhido trabalha com a técnica das distâncias euclidianas, assim a Equação 4.2 trabalhou baseado nas distâncias euclidianas entre as unidades amostrais.

Após a padronização todos os dados foram selecionados e rodados pelo programa utilizado-se o método de Cluster pelas distâncias euclidianas. Os dados foram amalgmados pelo método de Ward para formação dos grupos com maior inter-relação (BICUDO, BICUDO, 2004).

$$z_i = \frac{y_i - y}{s_i} \quad (4.1)$$

Em que:  $z_i$  = valor padronizado;

$y_i$  = valor do parâmetro medido em campo;

$y$  = média da  $i$ -ésima variável;

$s_i$  = desvio padrão da  $i$ -ésima variável.

$$d_{ij} = \sqrt{\{(y_{i1} - y_{j1})^2 + (y_{i2} - y_{j2})^2\}} \quad (4.2)$$

Em que:

$d_{ij}$  = distância entre as unidades amostrais  $i$  e  $j$  (coeficiente de parenceça)

$y_{i1}$  e  $y_{j1}$  = unidades amostrais;

$y_{i2}$  e  $y_{j2}$  = unidades amostrais.

Para  $p$  variáveis, a distância euclidiana pode ser reescrita, a partir da Equação 4.2, de acordo com a Equação 4.3 (BICUDO, BICUDO, 2004).

$$d_{ij} = \sqrt{\left\{ \sum_{k=1}^p (y_{ik} - y_{jk})^2 \right\}} \quad (4.3)$$

Em que:

$d_{ij}$  = distância euclidiana ou coeficiente de parenceça.

### 4.3 Estudo cinético da fotossíntese e respiração

Após revisão da literatura, nenhum trabalho ou estudo foi encontrado no sentido de determinação da ordem de reação da fotossíntese e respiração. Porém, foi verificado em todos os trabalhos que os coeficientes das taxas de fotossíntese e respiração foram calculados levando-se em consideração reações de primeira ordem.

Os modelos matemáticos de qualidade das águas frequentemente assumem todas as reações bioquímicas como de primeira ordem para elaboração dos modelos, porém Cunha, Ferreira (2006) e Cunha *et al.* (2003) chamam a atenção para a incerteza gerada quando se assume que todas essas reações são de primeira ordem. Em relação a essa incerteza Cunha *et al.* (2003) afirmam que:

“Em sua maior parte, estes processos são modelados usando reações de primeira ordem, com coeficientes calculados de forma experimental em laboratórios ou através de experimentos de campo, adquirindo valores dentro de uma faixa específica. Com isso, são grandes as incertezas sobre estes processos de transformações. A calibração do modelo passa obrigatoriamente pela correta definição destes coeficientes.” (CUNHA *et al.*, 2003)

Diante do exposto foi importante se determinar os coeficientes de fotossíntese e respiração para que este trabalho servisse como parâmetro para modelagem matemática de qualidade da água. E neste sentido, os coeficientes foram calculados tendo-se como base equações de primeira ordem. Porém, é importante salientar que são necessárias, em trabalhos futuros, pesquisas que envolvam a determinação da ordem de reação para elaboração de modelos mais acurados.

### **4.3.1 Determinação dos coeficientes para reações de primeira ordem**

Para a determinação dos coeficientes de fotossíntese e respiração, foi necessário somente assumir que a reação de fotossíntese e respiração, em todas as profundidades de amostragem, foi de primeira ordem. Neste caso, a revisão da literatura foi o critério para a escolha da ordem 1 para o cálculo dos coeficientes.

A Equação 4.4 apresenta uma reação de primeira ordem e a partir dela o coeficiente,  $K$ , foi determinado com base nas taxas de fotossíntese e respiração medidas.

$$\frac{d[A]}{dt} = k[A] \quad (4.4)$$

Em que:

$d[A]/dt$  = taxa de fotossíntese ou respiração determinados em campo;

$[A]$  = concentração de oxigênio dissolvido inicial;

$k$  = coeficiente da taxa de fotossíntese ou respiração.

### **4.3.2 Determinação das profundidades de amostragem, radiação solar e zona eufótica para as coletas**

Em cada ponto de amostragem, foram coletadas amostras de água em quatro diferentes níveis de profundidade na região limnética. A escolha dos níveis ficou condicionada aos limites da zona eufótica, a coleta foi feita contemplando toda a extensão da zona eufótica desde o epilímnio, passando pelo metalímnio até o hipolímnio. As camadas limnéticas foram calculadas com base nos dados de radiação solar de superfície referentes aos dias das coletas.

Para efeitos de comparação os cálculos dos coeficientes de atenuação foram feitos segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998). Para este trabalho as inferências foram feitas de acordo com os resultados dos cálculos da Equação 4.5 de Parkhill, Gulliver (2002), a equação dos autores leva em consideração a turbidez do local de coleta e, portanto, adaptou-se adequadamente para a realidade das coletas. Os coeficientes de Esteves (1998) levam em consideração média de cálculos de outros autores e não tem fatores de correção para adequação à realidade do ambiente da Represa Samambaia.

$$k = 2,619 + 0,129 \times T_{NTU} \quad (4.5)$$

Em que:  $k$  = coeficiente de atenuação da radiação solar de superfície;

$T_{NTU}$  = turbidez (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

### 4.3.3 Determinação do perfil de estratificação química e física da Represa Samambaia

As coletas de fotossíntese e respiração foram feitas nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2008; enquanto que as coletas de caracterização físico-química foram feitas nos meses de outubro/2007, novembro/2007, março/2008 e maio/2008. O Quadro 4.2 Resume os períodos de coleta da fotossíntese, respiração e parâmetros físico-químicos.

**Quadro 4.2 – Períodos de coleta para fotossíntese, respiração e parâmetros físico-químicos da Represa Samambaia.**

Coleta de dados	2007	2008
Fotossíntese	-	set/out/nov/dez
Respiração	-	set/out/nov/dez
Caracterização físico-química	out/nov	mar/maio

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Produtividade primária**

As Tabelas 5.1a, 5.1b, e 5.2 mostram os resultados dos valores de fotossíntese e respiração, as datas das coletas, a média dos valores, o desvio padrão, a variância, o intervalo de confiança e o valor máximo de todos os valores medidos. O intervalo de confiança foi feito para todo o período amostral, que foi de setembro de 2008 a dezembro de 2008, que foram calculados para um nível de confiança de 95%.

#### **5.1.1 Discussão dos dados de fotossíntese e respiração**

A Tabela 5.1 mostra, que de acordo com as médias de fotossíntese e respiração, a zona mais produtiva foi a zona de barragem, com média de fotossíntese líquida de 96,35 ( $\pm 43,9$ )  $\text{mg.O}_2\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  contra os 78,55 ( $\pm 32,4$ ) e 50,25 ( $\pm 47,5$ )  $\text{mg.O}_2\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  do meio da represa e zona de tributário, respectivamente. O maior desvio padrão foi também na zona de barragem, com valor de 89,58 ficando o meio da represa com o menor desvio padrão de 66,11. A maior variância de valores foi também na zona de barragem com valor de 8.024,46 e a menor variância foi, novamente, na zona do meio da represa. A zona de tributário ficou nestes dois últimos casos (desvio e variância) com valores intermediários entre barragem e meio da represa.

Para os valores de respiração, a maior média de respiração foi na zona de barragem com média de 81,89 ( $\pm 29,6$ )  $\text{mg.O}_2\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  (considerando o intervalo de confiança), o meio da represa e zona de tributário ficaram com médias de respiração de 72,06 ( $\pm 40,3$ ) e 64,01 ( $\pm 26,8$ )  $\text{mg.O}_2\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ , respectivamente. O maior desvio padrão e variância para respiração foram no meio da represa, cujos valores foram 82,17 e 6752,19; respectivamente.

**Tabela 5.1.a – Valores de fotossíntese e respiração da Represa Samambaia –Goiânia (Go)**

DATA	NÍVEL (m)	Barragem		Meio da represa		Zona de tributário	
		Fotossíntese* (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Respiração (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Fotossíntese (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Respiração (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Fotossíntese (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Respiração (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )
Set/2008	0,30	0,0 (± 43,9)	120,0 (± 29,6)	0,0 (± 32,4)	38,5 (± 40,3)	-	-
	0,83	80,1	80,1	40,0	38,5	-	-
	1,30	40,0	80,1	80,1	77,0	-	-
	2,00	0,0	120,0	120,0	77,0	-	-
	<b>Média mensal</b>	<b>30,0 (± 43,9)</b>	<b>100,1 (± 29,6)</b>	<b>60,0 (± 32,4)</b>	<b>57,8 (± 40,3)</b>	-	-
Out/2008	0,30	147,8 (± 43,9)	67,4 (± 29,6)	143,8 (± 32,4)	0,0 (± 40,3)	47,6 (± 47,5)	18,8 (± 26,8)
	0,83	160,9	172,0	105,0	0,0	58,82	0,0
	1,30	65,2	26,1	73,1	93,6	0,0	89,4
	2,00	30,4	65,2	0,0	301,0	155,0	14,1
	<b>Média mensal</b>	<b>101,1 (± 43,9)</b>	<b>82,7 (± 29,6)</b>	<b>80,5 (± 32,4)</b>	<b>98,7 (± 40,3)</b>	<b>65,4 (± 47,5)</b>	<b>30,6 (± 26,8)</b>
Nov/2008	0,30	113,3 (± 43,9)	83,3 (± 29,6)	44,16 (± 32,4)	15,8 (± 40,3)	46,15 (± 47,5)	117,0 (± 26,8)
	0,83	13,33	123,0	233,4	180,0	203,1	67,7
	1,30	63,3	33,3	123,0	0,0	0,0	15,4
	2,00	0,0	223,0	44,2	148,0	-**	-**
	<b>Média mensal</b>	<b>47,5</b>	<b>115,7 (± 29,6)</b>	<b>111,2 (± 32,4)</b>	<b>86,0 (± 40,3)</b>	<b>83,1 (± 47,5)</b>	<b>66,7 (± 26,8)</b>

\*Dados relativos à fotossíntese bruta ou produtividade bruta.

\*\* Neste ponto do reservatório a profundidade máxima para o mês de novembro é de 1,40m, em virtude disso a fotossíntese e respiração foram feitas até 1,30m de profundidade.

**Tabela 5.1.b – Valores de fotossíntese e respiração da Represa Samambaia –Goiânia (Go) (Continuação)**

DATA	NÍVEL (m)	Barragem		Meio da represa		Zona de tributário	
		Fotossíntese* (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Respiração (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Fotossíntese (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Respiração (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Fotossíntese (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Respiração (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )
Dez/2008	0,30	328,1 (± 43,9)	0,0 (± 29,6)	120,0 (± 32,4)	13,30 (± 40,3)	17,96 (± 47,5)	174,00 (± 26,8)
	0,83	167,2	28,4	130,0	0,00	275,4	83,80
	1,30	155,0	0,0	0,0	107,00	0,00	59,90
	2,00	177,0	88,3	0,0	63,30	-**	-**
<b>Média mensal</b>		<b>206,8 (± 43,9)</b>	<b>29,2 (± 29,6)</b>	<b>62,5 (± 32,4)</b>	<b>45,9 (± 40,3)</b>	<b>97,8 (± 47,5)</b>	<b>105,9 (± 26,8)</b>
<b>Média global (set/08 a dez/08)</b>		<b>96,35 (± 43,9)</b>	<b>81,89 (± 29,6)</b>	<b>78,55 (± 32,4)</b>	<b>72,06 (± 40,3)</b>	<b>50,25 (± 47,5)</b>	<b>64,01 (± 26,8)</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>89,58</b>	<b>60,50</b>	<b>66,11</b>	<b>82,17</b>	<b>85,20</b>	<b>53,12</b>
<b>Intervalo de confiança para 95%</b>		<b>43,9</b>	<b>29,6</b>	<b>32,4</b>	<b>40,3</b>	<b>47,5</b>	<b>26,8</b>
<b>Variância</b>		<b>8024,46</b>	<b>3660,75</b>	<b>4370,40</b>	<b>6752,19</b>	<b>7259,58</b>	<b>2822,17</b>
<b>Valor máximo</b>		<b>328,10</b>	<b>223,00</b>	<b>233,40</b>	<b>301,00</b>	<b>275,40</b>	<b>174,00</b>

\*Dados relativos à fotossíntese bruta ou produtividade bruta.

\*\* Neste ponto do reservatório a profundidade máxima para o mês de novembro é de 1,40m, em virtude disso a fotossíntese e respiração foram feitas até 1,30m de profundidade.

Numa avaliação geral, a zona mais adequada para piscicultura é o meio da represa, pois apesar das maiores taxas, desvio e variância de respiração, o meio da represa ficou com os menores desvios e variância para a fotossíntese líquida, o que significa menor variação dos teores de oxigênio durante o ano, deixando o cardume menos vulneráveis às alterações bruscas da ecologia local.

Outra justificativa para a piscicultura no meio da represa é a de que as maiores produtividades brutas (fotossíntese bruta na Tabela 5.1a e 5.1b) foram na zona de barragem e zona de tributário, o que demonstra maior potencial à eutrofização para as zonas de barragem e tributário, que seria deletério à criação de peixes nestas duas zonas (os valores utilizados para inferência de hipóteses foram sempre as médias). Os valores de produtividade líquida se encontram na Tabela 5.2 (produtividade líquida é a fotossíntese líquida menos respiração, vide Equação 5.1).

$$PL = FB - R \quad (5.1)$$

Em que: PL = produtividade líquida;

FB = fotossíntese bruta;

R = respiração.

De acordo com as Tabelas 5.1a, 5.1b e 5.2 os maiores valores de produtividade para zona de Barragem e Tributário se explicam por dois fatores, a saber: (1) efeito concentrador de nutrientes comum em zona de barragem e (2) contribuição de nutrientes da bacia de drenagem do tributário na zona de desembocadura pelo Córrego Samambaia. A contribuição de nutrientes se torna mais intensa em função da ocupação da bacia de drenagem por cultura de hortaliças, criação de animais e degradação da mata ciliar.

Os valores negativos na Tabela 5.2 ocorreram em virtude de os valores da respiração serem maiores que os valores da fotossíntese naqueles períodos amostrais. Os valores negativos podem ser verificados com a aplicação da Equação 5.1.

A produtividade líquida no meio da represa é mais baixa em virtude da piscicultura que contribui para uma maior média na taxa de respiração do local. Assim, ao se aplicar a Equação 5.1 para determinação da produtividade líquida, os valores de respiração são altos o suficiente para compensar as taxas de fotossíntese bruta e, portanto, resultando em menores valores de produtividade líquida, o que pode dar uma falsa impressão de que o meio da represa tem menor potencial de eutrofização que o restante do reservatório quando se leva em conta a interpretação dos dados de produtividade líquida. A pequena ilha localizada próxima das medições de fotossíntese e respiração no meio da represa, também pode ter

contribuído para as maiores taxas de respiração encontradas, neste caso contribuindo com carreamento de nutrientes.

**Tabela 5.2 – Valores de produtividade líquida para Represa Samambaia Goiânia (GO)**

DATA	NÍVEL (m)	Produtividade líquida por zona de estudo (mg.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )*		
		Barragem	Meio da represa	Tributário
Set/2008	0,30	-120,0 (±65,6)	-38,5 (± 33,4)	-**
	0,83	0,0	1,5	-
	1,30	-40,1***	3,1	-
	2,00	-120,0	43,0	-
<b>Média mensal</b>		<b>0,0 (± 65,6)</b>	<b>15,9 (± 33,4)</b>	<b>-</b>
Out/2008	0,30	80,4 (± 65,6)	143,8 (± 33,4)	28,8 (± 57,9)
	0,83	-11,1	105,0	58,8
	1,30	39,1	-20,5	-89,4
	2,00	-34,8	-301,0	140,9
<b>Média mensal</b>		<b>59,8 (± 65,6)</b>	<b>124,4 (± 33,4)</b>	<b>76,2 (± 57,9)</b>
Nov/2008	0,30	30,0 (± 65,6)	28,4 (± 33,4)	-70,9 (± 57,9)
	0,83	-109,7	53,4	135,4
	1,30	30,0	123,0	-15,4
	2,00	-223,0	-103,8	-
<b>Média mensal</b>		<b>30,0 (± 65,6)</b>	<b>68,3 (± 33,4)</b>	<b>135,4 (± 57,9)</b>
Dez/2008	0,30	328,1 (± 65,6)	106,7 (± 33,4)	-156,0 (± 57,9)
	0,83	138,8	130,0	191,6
	1,30	155,0	-107,0	-59,9
	2,00	88,7	-63,3	-
<b>Média mensal</b>		<b>177,7 (± 65,6)</b>	<b>118,4 (± 33,4)</b>	<b>191,6 (± 57,9)</b>
<b>Média global (set/08 a dez/08)</b>		<b>98,9 (± 65,6)</b>	<b>73,8 (± 33,4)</b>	<b>111,1 (± 57,9)</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>100,4</b>	<b>53,9</b>	<b>66,1</b>
<b>Intervalo de confiança para 95%</b>		<b>65,6</b>	<b>33,4</b>	<b>57,9</b>
<b>Variância</b>		<b>10071,2</b>	<b>2910,0</b>	<b>4366,3</b>
<b>Valor máximo</b>		<b>328,1</b>	<b>143,8</b>	<b>191,6</b>

\* Os valores negativos de produtividade líquida são devidos à taxa de respiração maior do que a taxa de fotossíntese bruta, nestes casos, portanto, a respiração foi maior que a fotossíntese, os valores podem ser vistos na tabela 5.1. Neste caso os valores negativos foram descartados para cálculo da média, desvio padrão, variância e valor máximo.

\*\* No mês de setembro não foi feita medida de fotossíntese e respiração na zona de tributário por impossibilidades técnicas.

\*\*\* Para fins de cálculos os valores negativos foram desconsiderados. Os valores negativos significam que a respiração foi maior que a fotossíntese.

A crítica à produtividade líquida é a de que seus valores podem dar falsas inferências a respeito do comportamento do reservatório *versus* atividades antrópicas locais tal como a piscicultura. Objetivando eliminar esse efeito indesejável da produtividade líquida, para deduzir algumas hipóteses sobre a Represa Samambaia, foram levados em conta os valores de fotossíntese bruta e respiração. Neste caso, portanto, a zona com maior potencial de eutrofização é a zona de Barragem com os maiores valores de fotossíntese bruta bem como sua média, e também com o maior valor de produtividade líquida que foi de 328,1 mg.O<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>.

Pode-se inferir, portanto, que a melhor zona para piscicultura é o meio da represa ou zona de tributário com menores valores de fotossíntese bruta. Levando-se em conta ainda os valores de produtividade líquida, pode-se concluir ainda que a zona de tributário é menos adequada que o meio da represa, pois observou-se valor elevado da média de produtividade líquida (111,1 mg.O<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>). O melhor local, portanto, para criação de peixes em regime de confinamento é, portanto, o meio da represa, local aonde a piscicultura vem sendo feita pela Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás em regime de pesquisa.

### 5.1.2 Níveis de profundidade de amostragem, radiação solar e zona eufótica

Na Equação 5.1 o  $k$  é utilizado para calcular a intensidade da radiação solar em cada nível de profundidade mostrado na Tabela 5.3a, 5.3b e 5.3c. Em todas as datas o valor de 1% da radiação solar de superfície (correspondente à zona eufótica) foi maior que o último nível de coleta (profundidade de 2 metros). Portanto, todos os últimos níveis ficaram abaixo da zona eufótica o que contempla toda a sua extensão mais um nível na zona afótica. De acordo com a Tabela 5.3, todos os últimos níveis dos pontos 1, 2 e 3 foi observada produção fotossintética (com exceção do mês de setembro na barragem, outubro no meio da represa, novembro na barragem e dezembro no meio da represa onde a fotossíntese bruta foi igual a zero).

$$k = 2,619 + 0,129 \times T_{NTU} \quad (5.1)$$

Em que:  $k$  = coeficiente de atenuação da radiação solar de superfície;

$T_{NTU}$  = turbidez (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

Poucas são as espécies capazes de promover fotossíntese em zona afótica e, portanto, segundo Esteves (1998) e Nogueira (1999) é possível que haja uma predominância de diatomáceas no último nível de coleta (2,00 m) em toda Represa Samambaia. É importante que trabalhos futuros relacionando diatomáceas e produtividade sejam realizados na represa para controle de toxicidade comum dessa espécie fitoplanctônica, para que a piscicultura não seja prejudicada. Sugere-se, portanto, que a piscicultura não seja feita na zona próxima dos dois metros de profundidade, o ideal é que seja feita de 1,30m para cima em direção à superfície.

De acordo com a Tabela 5.3, o maior valor de radiação solar total foi o do mês de outubro de 2008, 6897 kcal/m<sup>2</sup>/dia. Apesar da maior radiação solar total, o mês de outubro não obteve a maior produtividade em função da exaustão de nutrientes que ocorreu com escassez de chuvas nessa época e, portanto, o mês de dezembro ficou com a maior produtividade que foi de 328,1mg.O<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> com maior radiação solar total de 3182 kcal/m<sup>2</sup>/dia.

Outro fator que explica a menor produtividade do mês de outubro foi o excesso de luminosidade que provoca fotoinibição. O mês de outubro foi caracterizado pela baixa nebulosidade e alta incidência solar que provocou fotoinibição, que pode resultar em fotooxidação da clorofila dificultando-se, assim, a produtividade. Prova da fotooxidação da clorofila foram os teores encontrados para o mês de outubro que ficaram entre 0,0 e 25,0 mg.m<sup>-3</sup> contra 0,0 e 80,1 mg.m<sup>-3</sup> de clorofila-a do mês de dezembro (os teores de clorofila-a ficaram até 3,2 vezes maiores para mês de dezembro em relação ao mês de outubro).

### 5.1.3 Fotossíntese e radiação solar de superfície

A Figura 5.1 mostra a relação entre fotossíntese e radiação solar de superfície. O valor de R<sup>2</sup> é a correlação entre os dois parâmetros e mostra o grau de dependência entre os dois. Há de acordo com a Figura 5.1 uma tendência da fotossíntese diminuir com o aumento da radiação solar o que indica fotoinibição da fotossíntese para a Represa Samambaia.

Outro indício de fotoinibição se encontra na Tabela 5.1a e 5.1b, em que a maior média e valor máximo de fotossíntese foi no mês de dezembro com valores respectivamente 206,8 mg.O<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> e 328,1 mg.O<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, data em que o tempo se encontrava nublado e chuvoso, com pouca intensidade de radiação (163,2 cal/cm<sup>2</sup>/dia).

**Tabela 5.3.a – Dados de radiação solar e coeficientes de atenuação para Represa Samambaia, segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998)**

Data	Profundidade (m)	Radiação total (cal/m <sup>2</sup> /dia)	Coefficiente de atenuação (PARKHILL, GULLIVER, 2002)	I* (PARKHILL, GULLIVER, 2002) (cal/cm <sup>2</sup> /dia)	Coefficiente de atenuação (ESTEVES, 1998)	I (ESTEVES, 1998) (cal/cm <sup>2</sup> /dia)	1% de I <sub>0</sub> **
25/10/2007	0,30	3192000	3,53	110,71	1,39	210,50	3,192
	0,83			17,05		100,88	
	1,30			3,25		52,55	
	2,00			0,27		19,89	
22/11/2007	0,30	5887000	3,51	205,39	1,51	374,12	5,887
	0,83			31,96		167,95	
	1,30			6,14		82,56	
	2,00			0,53		28,67	
28/3/2008	0,30	2592000	9,21	16,3517	5,05	56,98	2,592
	0,83			0,1240		3,92	
	1,30			0,0016		0,37	
	2,00			0,0000		0,01	
10/5/2008	0,30	4235000	5,04	93,31	2,31	211,93	4,235
	0,83			6,45		62,38	
	1,30			0,60		21,08	
	2,00			0,02		4,19	
08/9/2008	0,30	5793000	3,53	200,90	1,37	383,96	5,793
	0,83			30,94		185,66	
	1,30			5,89		97,47	
	2,00			0,50		37,33	
16/10/2008	0,30	6897000	3,55	237,92	1,39	454,83	6,897
	0,83			36,29		217,98	
	1,30			6,85		113,54	
	2,00			0,57		42,98	

\* I = radiação em uma dada profundidade;

\*\* 1% de I<sub>0</sub> = limite inferior da zona eufótica.

**Tabela 5.3.b – Dados de radiação solar e coeficientes de atenuação para Represa Samambaia, segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998) (Continuação)**

Data	Profundidade (m)	Radiação total (cal/m <sup>2</sup> /dia)	Coeficiente de atenuação (PARKHILL, GULLIVER, 2002)	I* (PARKHILL, GULLIVER, 2002) (cal/cm <sup>2</sup> /dia)	Coeficiente de atenuação (ESTEVES, 1998)	I (ESTEVES, 1998) (cal/cm <sup>2</sup> /dia)	1% de I <sub>0</sub> **
17/10/2008	0,30	6117000	3,55	211,01	1,17	430,32	6,117
	0,83			32,19		231,17	
	1,30			6,07		133,23	
	2,00			0,51		58,64	
20/10/2008	0,30	4883000	3,55	168,44	1,70	293,22	4,883
	0,83			25,69		119,10	
	1,30			4,85		53,57	
	2,00			0,40		16,30	
6/11/2008	0,30	5839000	3,75	189,70	1,36	388,28	5,839
	0,83			26,03		188,85	
	1,30			4,47		99,66	
	2,00			0,32		38,46	

\* I = radiação em uma dada profundidade;

\*\* 1% de I<sub>0</sub> = limite inferior da zona eufótica.

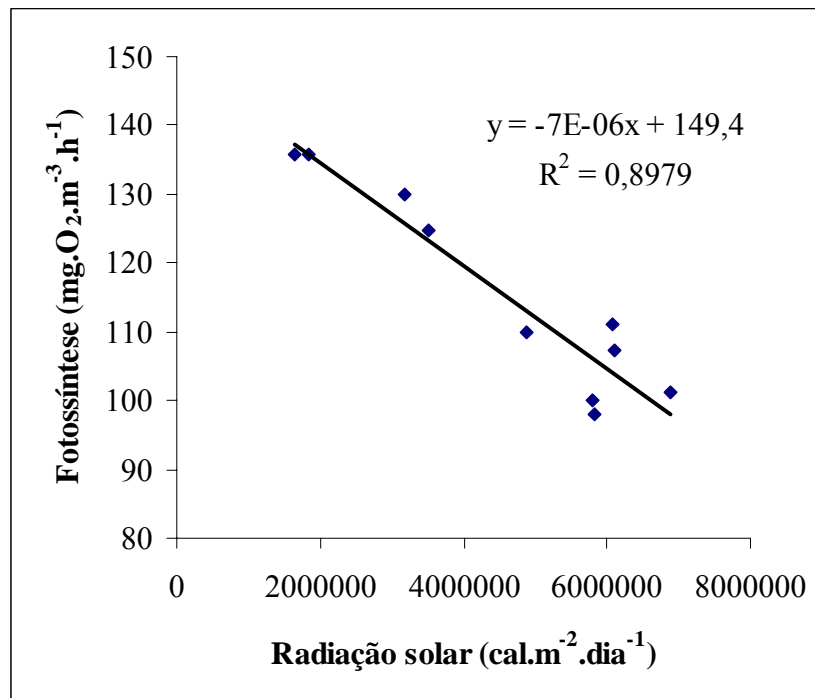
**Tabela 5.3.c – Dados de radiação solar e coeficientes de atenuação para Represa Samambaia, segundo Parkhill, Gulliver (2002) e Esteves (1998) (Continuação)**

Data	Profundidade (m)	Radiação total (cal/m <sup>2</sup> /dia)	Coeficiente de atenuação (PARKHILL, GULLIVER, 2002)	I* (PARKHILL, GULLIVER, 2002) (cal/cm <sup>2</sup> /dia)	Coeficiente de atenuação (ESTEVES, 1998)	I (ESTEVES, 1998) (cal/cm <sup>2</sup> /dia)	1% de I <sub>0</sub> **
7/11/2008	0,30	6068000	3,75	197,14	1,45	393,14	6,068
	0,83			27,05		182,61	
	1,30			4,65		92,51	
	2,00			0,34		33,60	
10/11/2008	0,30	3522000	3,75	114,43	1,66	214,14	3,522
	0,83			15,70		88,91	
	1,30			2,70		40,78	
	2,00			0,20		12,77	
3/12/2008	0,30	3182000	4,61	79,89	1,66	193,47	3,182
	0,83			6,95		80,33	
	1,30			0,80		36,84	
	2,00			0,03		11,54	
4/12/2008	0,30	1835000	4,61	46,07	2,72	81,14	1,835
	0,83			4,01		19,19	
	1,30			0,46		5,35	
	2,00			0,02		0,80	
5/12/2008	0,30	1632000	4,61	40,98	2,52	76,66	1,632
	0,83			3,57		20,18	
	1,30			0,41		6,18	
	2,00			0,02		1,06	

\* I = radiação em uma dada profundidade;

\*\* 1% de I<sub>0</sub> = limite inferior da zona eufótica.

A alta taxa de fotossíntese em dia nublado e a presença de fotoinibição são fortes indícios da predominância de cianofíceas que são adaptadas para realizarem a fotossíntese com baixa intensidade luminosa. Nogueira (1999) identificou alta concentração de cianofíceas em seu trabalho sobre estrutura da comunidade fitoplanctonica da Represa Samambaia.



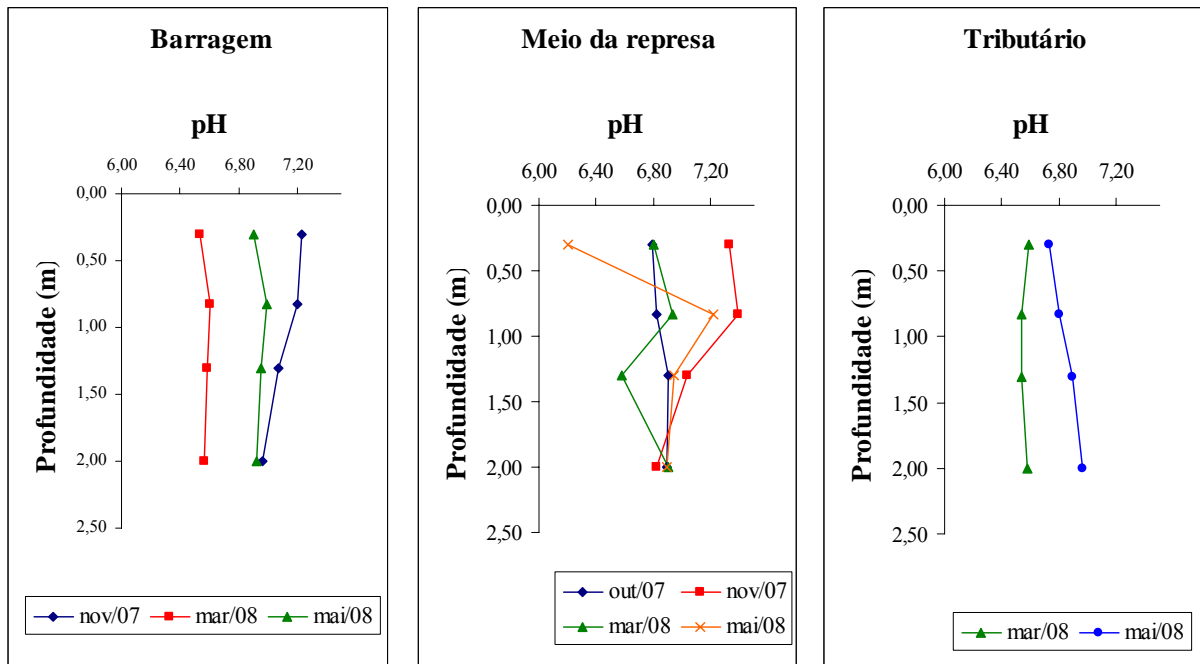
**Figura 5.1 – Gráfico da regressão linear entre fotossíntese e radiação solar de superfície.**

## **5.2 Avaliação univariada espacial e temporal com a profundidade**

### **5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

De acordo com a Figura 5.2, o pH na barragem apresentou na zona de inibição valores menores de pH, possivelmente em virtude da maior concentração de CO<sub>2</sub>, consequência da menor atividade fotossintética na zona de inibição. Na zona de saturação o pH sobe com o consumo de CO<sub>2</sub> pela atividade fotossintética. Na zona de tributário o pH apresentou tendência à homogeneidade dos valores ao longo da coluna d'água, isso ocorreu em virtude da maior turbulência, o que provocou a mistura da massa d'água entre a superfície e o fundo. A zona do meio da represa apresentou comportamento anômalo, possivelmente em

função da piscicultura e da ração dada aos peixes. A ração e as fezes dos peixes são ricas em ácidos húmicos e compostos alcalinizantes (carbonatos), o que deixa o comportamento pH desconexo para sua interpretação.

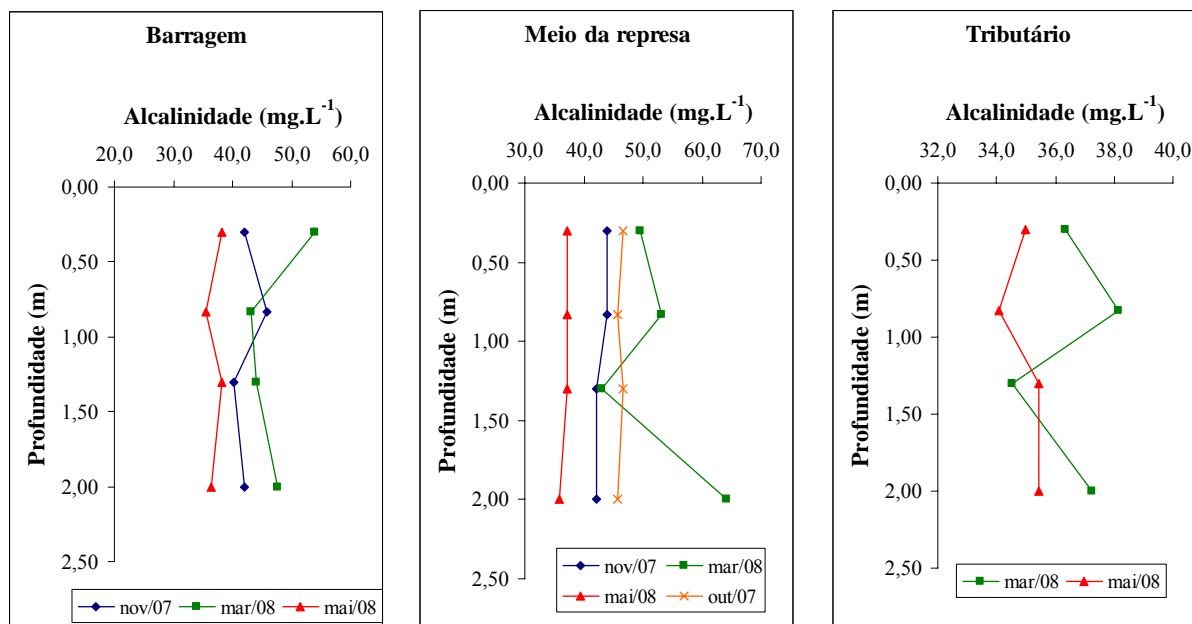


**Figura 5.2 – Variação do pH com a profundidade nos pontos 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e zona de tributário).**

### 5.2.2 Alcalinidade

De acordo com a Figura 5.3, na zona de inibição para o mês de novembro, o primeiro nível mostrou menor alcalinidade que o segundo, isso mostra que na zona de saturação os teores de  $\text{CO}_2$  diminuem com a fotossíntese, aumentando assim a alcalinidade do meio. Nas camadas mais profundas, há menos luminosidade e maior teor de sólidos, o que dificulta a fotossíntese e facilita a respiração aumentando, assim, os teores de  $\text{CO}_2$  com consequente diminuição da alcalinidade.

O aumento dos níveis de  $\text{CO}_2$  aumenta a acidez do meio, pela formação de ácido carbônico, diminuindo assim a alcalinidade do meio. A alcalinidade é maior na superfície em 5 coletas de um total de 8, o que demonstra a influência do  $\text{CO}_2$  na alcalinidade do meio. Portanto, na zona de inibição a fotossíntese é menos pronunciada e os teores de  $\text{CO}_2$  tendem a aumentar diminuindo assim a alcalinidade na zona próximo à superfície.



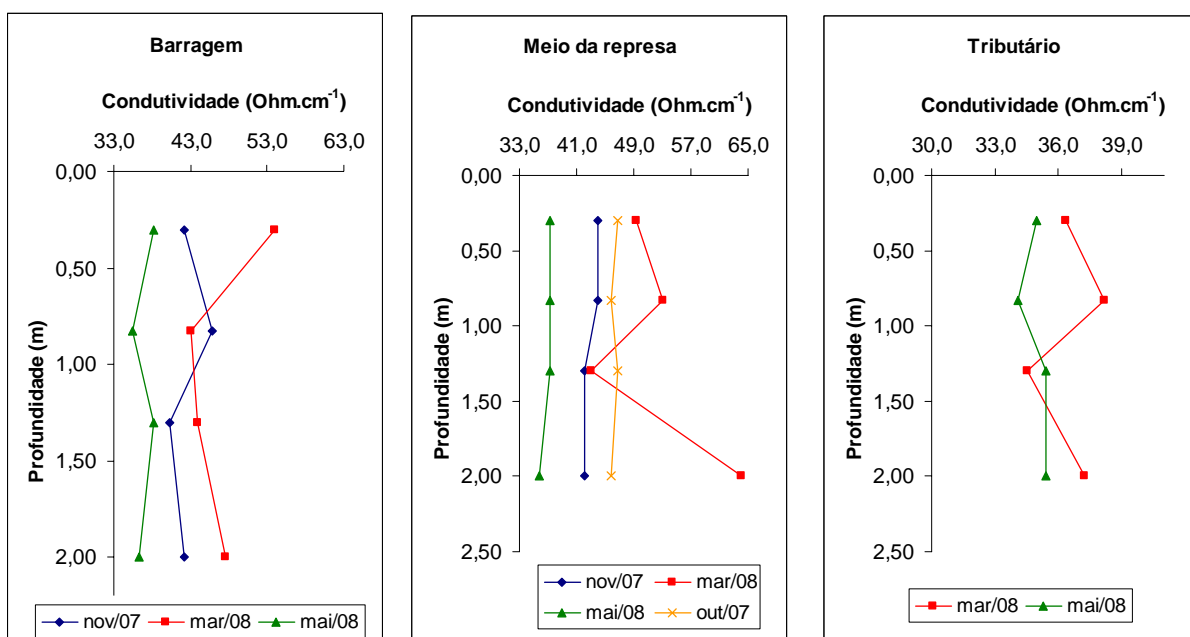
**Figura 5.3 – Variação da Alcalinidade com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (Barragem, Meio da represa e Tributário)**

### 5.2.3 Condutividade Elétrica

Num balanço geral, de acordo com a Figura 5.4, o período chuvoso mostrou maior condutividade na superfície em virtude do carreamento de material alóctone para a represa que acaba funcionando como um concentrador de íons na região próxima à superfície. A explicação para a maior concentração de íons na superfície está na estratificação permanente da represa, o que não permite a troca eficiente de concentrações iônica, proveniente de material alóctone, ao longo da coluna d'água.

Em três dos oito gráficos, a condutividade tende a aumentar ao longo da coluna d'água por efeito da camada bentônica rica em material particulado, sais e ácidos dissolvidos.

A condutividade também serve como indicador de disponibilidade de nutrientes minerais e orgânicos e possíveis fontes poluidoras. Em relação à fonte poluidora, elevados valores de condutividade indicarão maior grau de decomposição e valores reduzidos indicarão acentuada produção primária.

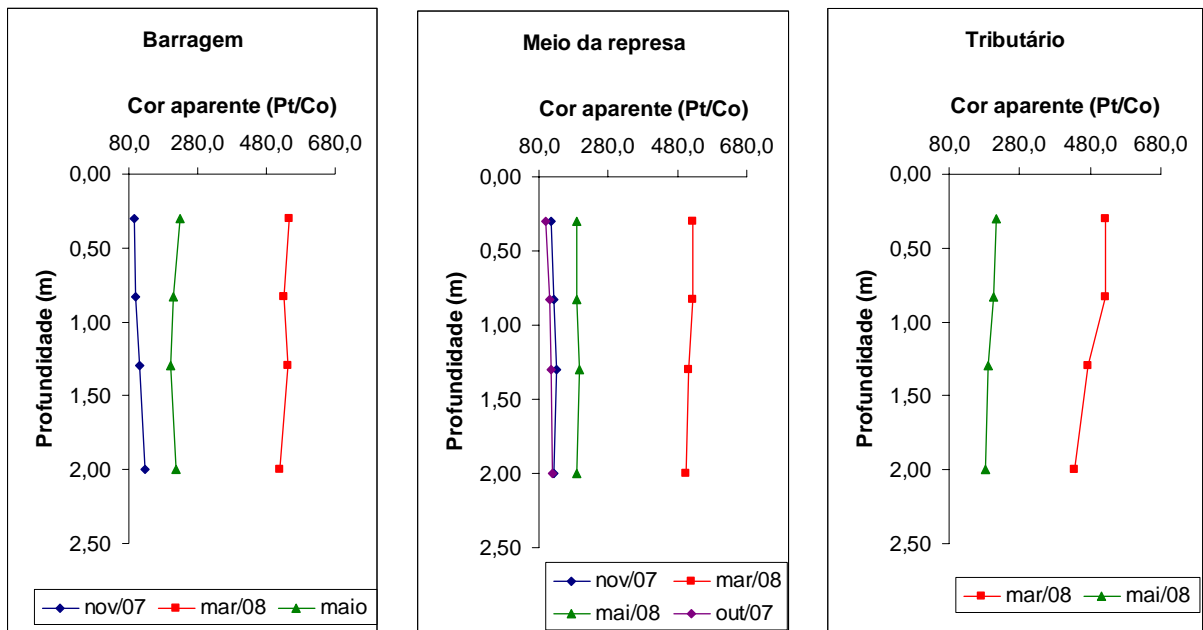


**Figura 5.4 – Variação da Condutividade com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).**

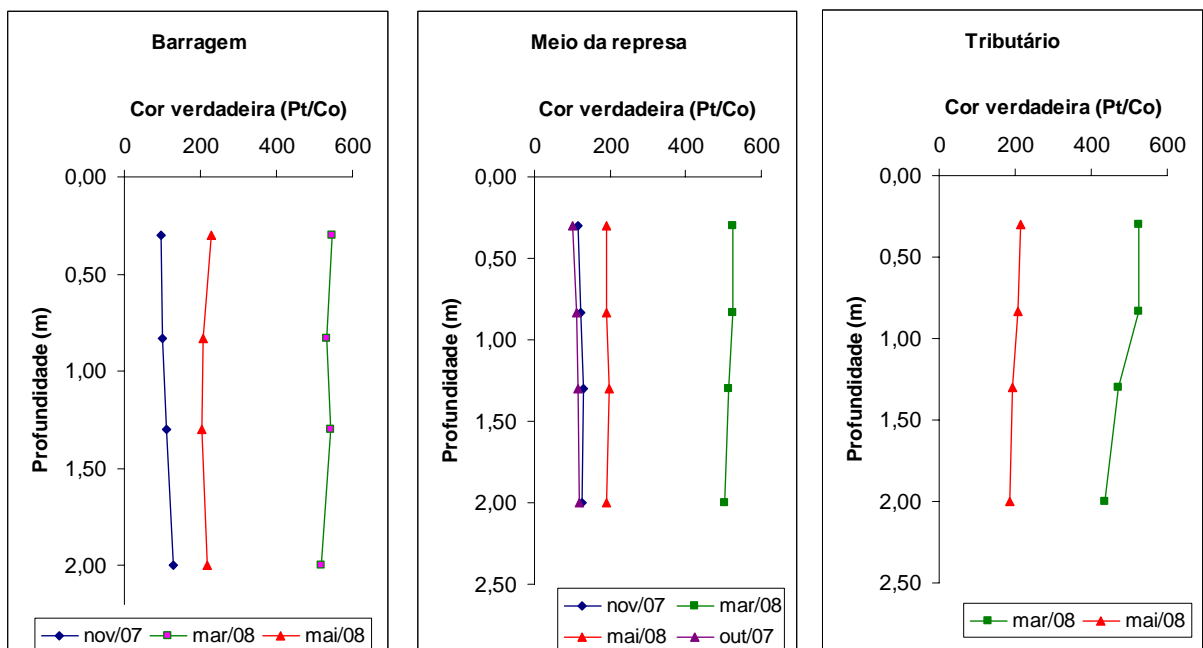
#### 5.2.4 Cor Aparente e Verdadeira

De acordo com as Figuras 5.11 e 5.12, a cor aparente e verdadeira tendem a um padrão de homogenia ao longo da coluna d'água, possivelmente seguindo os padrões de homotermia observados nos primeiros períodos da manhã (horário das coletas para análises físico-químicas). A avaliação horizontal-sazonal mostrou uma tendência de aumento da cor com o período chuvoso em virtude do maior carreamento de sólidos e matéria húmica da bacia de drenagem. Observou-se tendência da diminuição da cor no sentido rio-barragem. A diminuição da cor era esperada em virtude da menor vazão observada próximo à barragem que provoca conseqüente sedimentação de material particulado rico em ferro (principalmente material argiloso) que funciona como sequestrante de material húmico (que confere cor à água). Neste caso, o próprio ferro funciona como um grupo cromóforo<sup>13</sup>, que quando sedimentado provoca diminuição da cor na água.

<sup>13</sup> Grupo ou elemento cromóforo é aquele que confere cor quando em solução aquosa ou em solução sólida.



**Figura 5.5 – Variação da Cor Aparente com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (Barragem, meio da represa e tributário)**



**Figura 5.6 – Variação da Cor verdadeira com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (Barragem, meio da represa e tributário)**

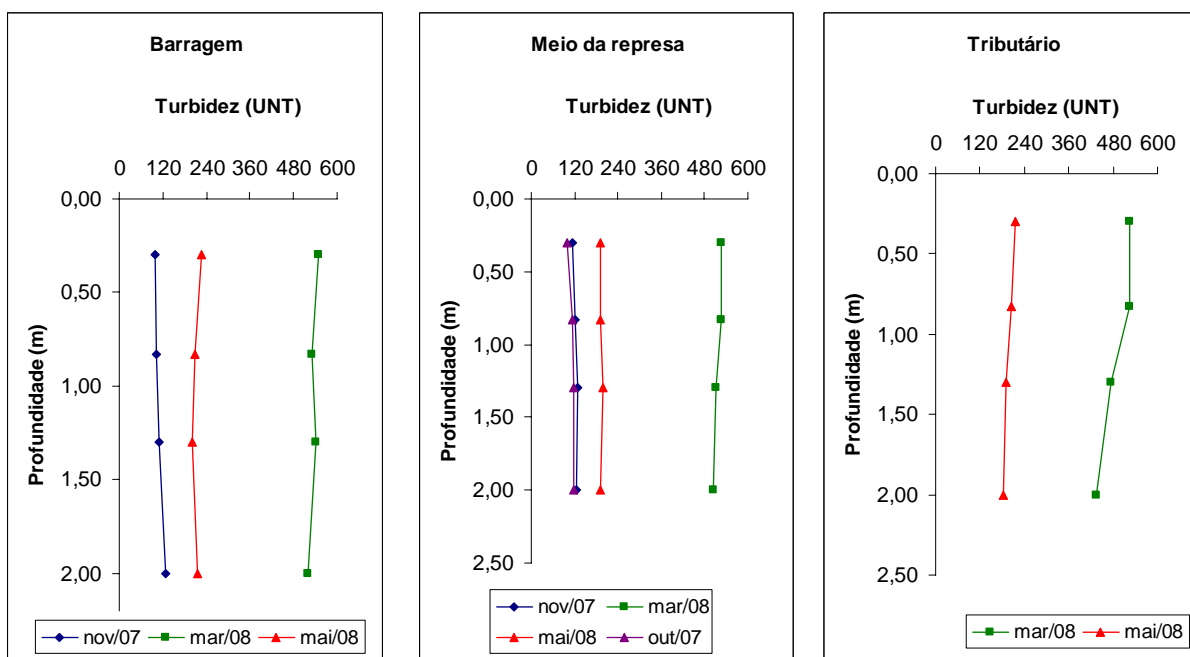
### 5.2.5 Turbidez

No período chuvoso há uma tendência de diminuição da turbidez à medida que se aproxima do fundo. Nesse caso, o acréscimo de turbidez na superfície se deve ao

arraste de sedimentos da bacia de drenagem pelas chuvas, deixando a superfície ligeiramente mais turva que o fundo, ver Figura 5.13.

No período de estiagem a turbidez tende a aumentar ao longo da coluna d'água nas zonas de barragem e meio da represa enquanto que na desembocadura tende a diminuir na coluna vertical. Nesse caso, nas zonas de barragem e meio da represa o efeito de sedimentação e menor influxo do tributário promove diminuição de turbidez na superfície e aumento no fundo promovido pelo arraste de sedimento da camada bentônica. Na zona de tributário a contribuição do influxo do rio promove maior turbidez na superfície do que no fundo. Nesse ponto o comportamento da represa é mais próximo do rio o que faz os valores destoarem do restante do reservatório.

A variação horizontal-sazonal foi quase inexistente sendo que as zonas de barragem, meio da represa e tributário tiveram valores similares variando de 55,0 UNT a 40,0 UNT, no período chuvoso, e de 8,0 a 20 UNT, no período de estiagem. O maior valor de turbidez para o período chuvoso era esperado em virtude do arraste de material alóctone. Neste caso, é conveniente observar que a bacia de drenagem se encontrava bastante desmatada o que aumenta o arraste de sólidos para a represa (ver Figura 5.13).



**Figura 5.7 – Variação da Turbidez com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).**

A unidade de medida utilizada para a turbidez foi a unidade nefelométrica de turbidez (UNT).

### 5.2.6 Nitrogênio Amoniacal

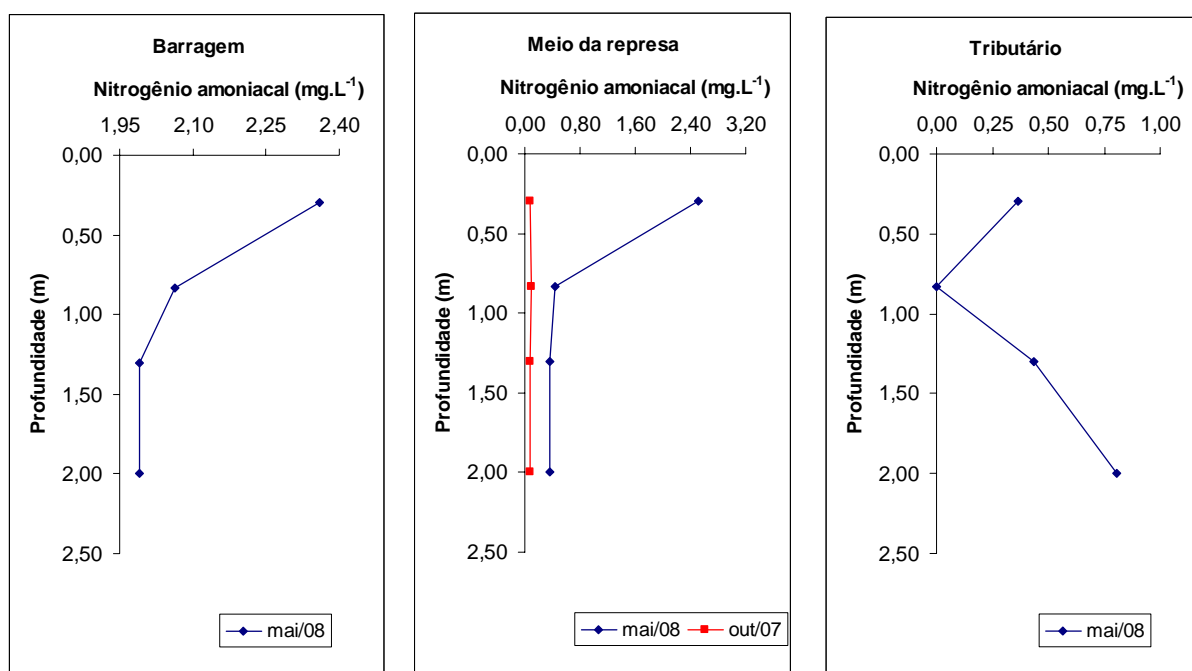
De acordo com a Figura 5.14, o nitrogênio amoniacal apresentou tendência a menores concentrações próximas do fundo, para barragem e meio da represa (com concentrações muito maiores na superfície, no mês de maio). Os valores de  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ , para a zona de tributário, foram bem menores que os da barragem e meio da represa.

Três são os fatos que podem explicar essa tendência: (1) camada bentônica velha, com pouca contribuição da bacia de drenagem deixando o nitrogênio no seu maior estado de oxidação (nitrato); (2) tendência de maiores concentrações na superfície que pode significar ponto de carga poluidora próxima ou contribuição da bacia de drenagem; (3) a ração dada aos peixes na piscicultura é rica em compostos amoniacais (aminoácidos), e em virtude desta prática próxima da barragem e meio da represa, os valores do nitrogênio amoniacal mostraram-se maiores que na zona de tributário.

Uma avaliação sazonal mostrou pequena tendência de estratificação no período de estiagem (mês de outubro). O mês de maio apresentou valores mais elevados em virtude das chuvas advindas do mês de março (período chuvoso), que aumenta o carreamento de nutrientes da bacia de drenagem.

Os valores de  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  na zona de barragem ficaram entre  $1,990 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2,360 \text{ mg.L}^{-1}$ , os valores da zona do meio ficaram entre  $0,075 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2,508 \text{ mg.L}^{-1}$  e desembocadura os valores ficaram entre  $0,000 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,807 \text{ mg.L}^{-1}$ . Estas faixas de valores mostram que barragem e meio da represa observaram valores maiores que tributário.

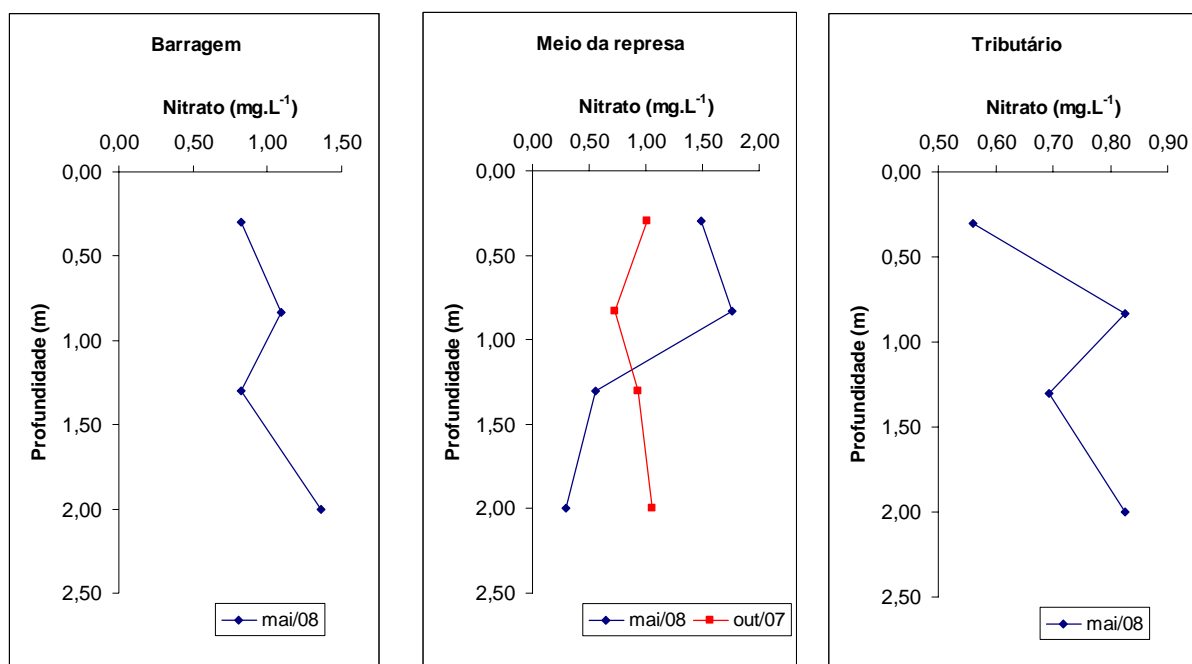
Estes valores corroboram para a maior formação do íon amônio,  $\text{NH}_4^+$ , que provoca intensificação da eutrofização, os maiores valores de nitrogênio amoniacal também provocam aumento da toxicidade para os peixes e humanos, portanto, deve-se tomar cuidado com a piscicultura e captação de água para consumo humano na zona próxima à barragem.



**Figura 5.8 – Variação do Nitrogênio Amoniaco com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).**

### 5.2.7 Nitrato

De acordo com a Figura 5.15, ao contrário do nitrogênio amoniacal, o nitrato, como última forma oxidada da série de nitrogênio, tende a aumentar na coluna vertical com exceção do meio da represa. A camada bentônica já velha e sem o efeito de revolvimento do fundo oxida até a última forma de nitrogênio (nitrato) aumentando assim suas concentrações à medida que se aproxima do fundo. No caso do meio da represa, a contribuição de sedimento e matéria orgânica nitrogenada de uma pequena ilha próxima, pode ter contribuído para o aumento do nitrato na superfície da coluna d'água. Somou-se a isso a piscicultura que é praticada na região do meio da represa. Variações sazonais de nitrato não foram observadas, sendo que os valores ao longo do período de amostragem não mudaram significativamente se mantendo, portanto, aproximadamente constantes. Esse resultado era esperado em virtude da estabilidade comum em reservatórios, em que se esperam variações sazonais pouco significativas.



**Figura 5.9 – Variação dos teores de Nitrato com a profundidade nos pontos 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e desembocadura respectivamente)**

### 5.2.8 Fósforo Total

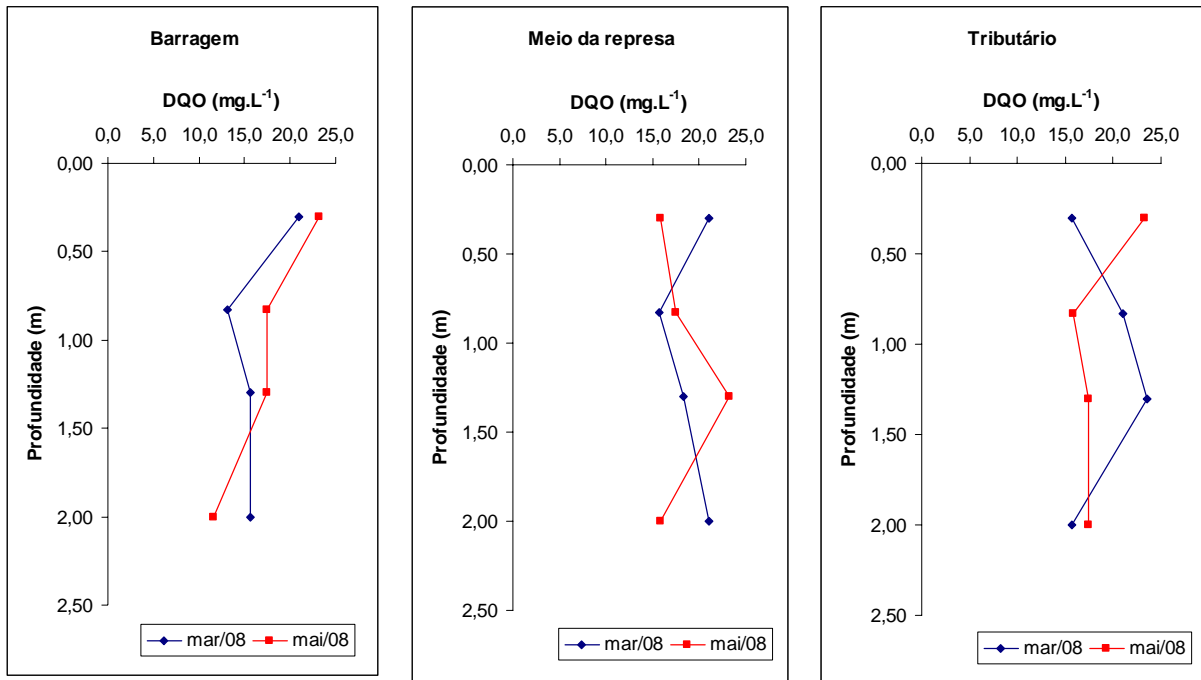
O método utilizado para análise do fósforo total foi o da redução com ácido ascórbico e segundo Esteves (1998) este método não é sensível para valores de fósforo abaixo de 10 µg/L. Portanto, para todas as coletas os valores ficaram abaixo de 10 µg/L, em virtude de nenhuma leitura ter sido feita pelo método, porém as absorvâncias foram anotadas para avaliação multivariadas. No caso da análise multivariadas com a padronização dos valores de absorvância estes puderam ser utilizados sem interferências das leituras abaixo de 10 µg/L.

Em virtude dos valores abaixo de 10 µg/L para fósforo total, a Represa Samambaia pôde ser classificada como Ultra-oligotrófica.

### 5.2.9 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

De acordo com a Figura 5.16, não foi observada nenhuma tendência sazonal ou espacial para a Demanda Química de Oxigênio. De maneira geral a DQO se manteve constante ao longo do período de amostragem com ligeira tendência a um aumento dos

valores em meses chuvosos, que ocorre em virtude da carga exógena proveniente da lixiviação de matéria orgânica pela chuva da bacia de drenagem. Os valores de DQO ficaram entre 11,60 mg/L e 23,60 mg/L.



**Figura 5.10 – Variação da DQO com a profundidade no Ponto 1, 2 e 3 (barragem, meio da represa e tributário).**

### 5.3 Análise multivariadas dos dados físico-químicos, fotossíntese e respiração

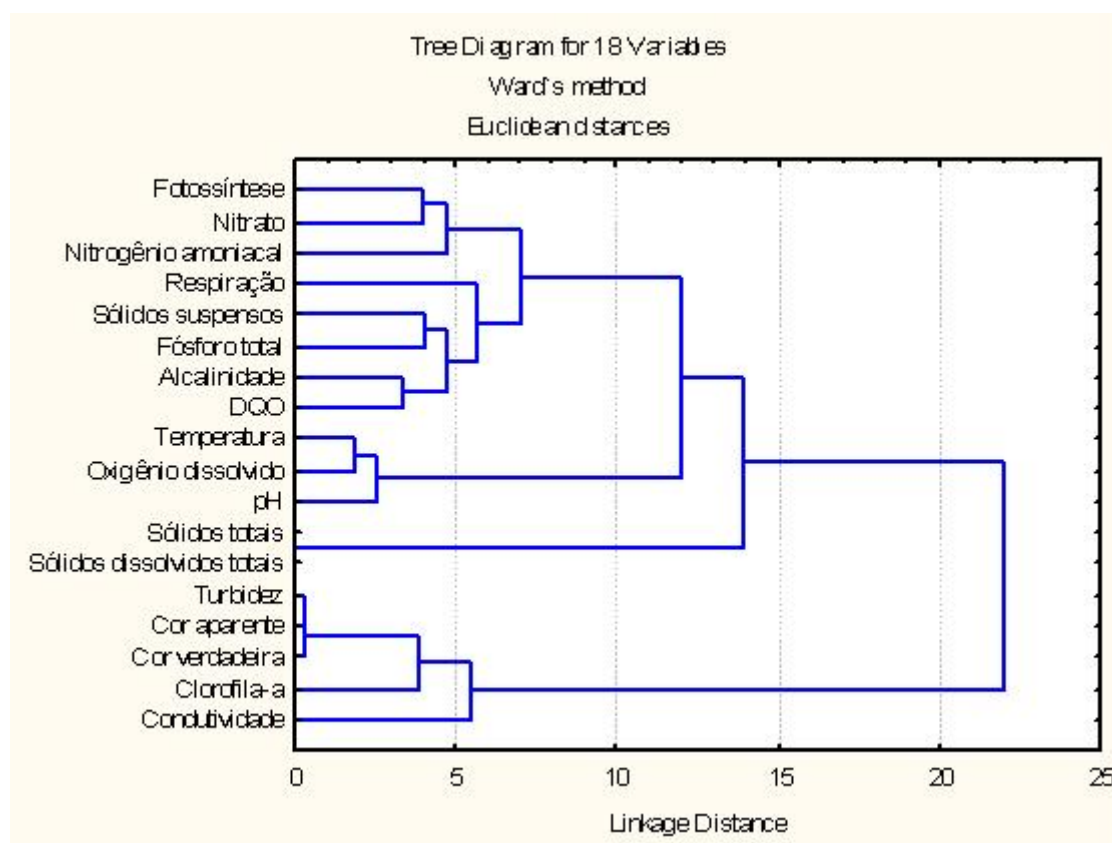
A análise multivariadas feita com método das distâncias euclidianas e com o uso do software Statistica mostrou a formação de 3 grupos de acordo com Figura 5.24. Os dados foram analisados simultaneamente e o corte foi feito na distância de ligação 10. Neste caso, a distância de ligação que mais se adequou ao corte foi a de valor 12, que agrupou o maior número de parâmetros físico-químicos que possuíssem alguma inter-relação, segundo literaturas sobre fotossíntese e respiração. Na verdade, o corte deve ser feito de acordo com a necessidade de se inferir respostas ou do nível de discretização desejado. Os grupos formados foram:

**a) Grupo 1:** fotossíntese, nitrogênio amoniacal, nitrato, respiração, sólidos suspensos, fósforo total, alcalinidade, DQO, temperatura, oxigênio dissolvido e pH.

b) **Grupo 2:** sólidos totais e sólidos dissolvidos totais.

c) **Grupo 3:** turbidez, cor aparente, cor verdadeira, clorofila-a e condutividade.

Os grupos formados foram analisados e os resultados da análise serão discutidos por grupo nos itens subsequentes.



**Figura 5.11 – Dendrograma da análise multivariadas com 18 variáveis de estudo.**

### 5.3.1 Análise multivariadas do Grupo 1

De acordo com corte feito, o grupo 1 pode ser considerado o grupo mais importante da análise multivariadas, pois de acordo Wetzel (2004), Parkhill, Gulliver (2002), Esteves (1998) e Henry *et al.* (1998) tanto fotossíntese quanto respiração tem como fatores primordiais para sua manutenção o fósforo, nitrogênio, DQO e temperatura. Os restantes dos parâmetros físico-químicos entram como coadjuvantes no processo de fotossíntese e respiração. É importante salientar que, para que haja fotossíntese, os nutrientes fósforo e nitrogênio são indispensáveis para a manutenção do seu mecanismo, tendo em vista que os dois parâmetros participam ativamente do processo de fotossíntese como matéria prima para a produção de matéria orgânica nitrogenada e fosforada (aminoácidos e carboidratos). Neste caso, na análise

multivariadas dos dados de coleta confirmou-se a inter-relação entre fotossíntese, respiração, fósforo e nitrogênio (as formas assimiláveis para o fitoplâncton são o nitrato e o nitrogênio amoniacal daí a razão da análise dos teores desse nutrientes).

Os sólidos suspensos entram como fornecedores de nutrientes fósforo e nitrogênio, visto que a composição dos sólidos estão a matéria orgânica e inorgânica ricos em P e N. Daí sua relação com o restante dos parâmetros.

Para que a fotossíntese ocorra é importante que haja a presença de dióxido de carbono como matéria prima neste processo. Estando o ambiente pobre nesse composto as plantas que utilizam um mecanismo conhecido como C4, em que a fonte de carbono inorgânico para a fotossíntese é o hidrogenocarbonato (ou mais conhecido como bicarbonato), deixam de usar diretamente o dióxido de carbono para usar essa importante fonte de carbono inorgânico e, portanto, a alcalinidade em que se incluem os teores de hidrogenocarbonato entra como um importante fator para a fotossíntese e respiração, daí sua relação com o grupo 1. Isso significa que quanto maior os valores de alcalinidade maior a disponibilidade de hidrogenocarbonato e maior a possibilidade de se encontrar algas que utilizam o mecanismo C4 como via para a produtividade, em virtude da análise multivariadas mostrar relação estreita entre alcalinidade e produtividade é altamente provável a predominância de espécies que utilizam o mecanismo C4 como via para fotossíntese.

Analisando mais profundamente essa relação, o mecanismo C4 é preferível por espécies que preferem ambientes mais pobres em luminosidade tal como as espécies das diatomáceas, e observando que os valores de sólidos também estão relacionados com o processo fotossintético e que a parcela de sólidos inorgânicos são ricos em sílica solúvel e que esta última é o principal nutriente da espécie das diatomáceas é altamente provável que haja predominância dessa espécie durante todo o ano e que a predominância aumente em períodos chuvosos em que o teor de sólidos, alcalinidade aumentam e a penetração da luz nas camadas limnéticas diminuem. Durante o ano, os teores de fósforo permaneceram aproximadamente constantes em que os valores ficaram em torno de 10µg/L o que classifica o ambiente como oligotrófico, o que levanta a hipótese de que o fitoplâncton é nitrogênio dependente e mais uma vez leva à conclusão de predominância da espécie diatomácea que preferem como fonte de nutrientes a sílica solúvel e o nitrogênio. Oxigênio dissolvido, temperatura e pH entram como fatores reguladores dos processos de produtividade e sua importância estão relacionados com a quantidade no ambiente em que o excesso ou depleção provocam o favorecimento ou desfavorecimento na produção primária. A DQO assim como os sólidos

suspensos funcionam como aporte de nutrientes para os processos produtivos e, portanto, aparece como fator correlacionado com os elementos do grupo 1.

### **5.3.2 Análise multivariadas do Grupo 2**

Em razão da similaridade turbidez, cor (aparente e verdadeira) e clorofila-a aparecem como elementos do grupo 2. Esses três parâmetros estão intrinsecamente ligados e em virtude disso aparecem inte-relacionados na análise multivariadas. Os três parâmetros físico-químicos estão relacionados com a absorção e passagem da luz na coluna d'água em que turbidez afeta diretamente a luz que chega na clorofila-a do fitoplâncton em todas as camadas limnéticas, principalmente nas camadas mais profundas. A clorofila-a como elemento pigmentado verde é indissociável dos parâmetros cor verdadeira e cor aparente daí a sua inter-relação. A condutividade aparece como elemento do grupo dois, porém de acordo com Esteves (1998) e Wetzel (2001) não existe relação estreita entre condutividade e os outros parâmetros deste grupo e, portanto, neste caso, a análise pode ter inferido um falso verdadeiro e estudos futuros devem ser feitos para verificar a persistência dessa inter-relação na análise multivariadas.

### **5.3.3 Análise multivariadas do Grupo 3**

Em virtude de se tratarem do mesmo parâmetro físico-químico sólidos totais e sólidos dissolvidos totais fazem parte de um mesmo grupo dentro da análise. Os sólidos dissolvidos totais estão contidos dentro dos sólidos totais e é óbvia a inter-relação entre os dois. Neste caso, seria mais conveniente tratar ambos como elementos do grupo 1, levando-se em consideração que sólidos suspensos fazem parte desse último grupo.

É possível incluir os elementos do grupo 3 no grupo 1, desde que se desloque o ponto de corte para a posição 20 na distância de ligação do eixo das abscissas, porém cuidado deve ser tomado ao se fazer isso pois adotando-se a distância 12 como padrão para futuros estudos ou mais estudos de análise multivariadas torna-se inviável deslocar-se a distância de corte para a posição 20. Assim, uma vez feito isso a distância padrão seria sempre 20 o que inviabilizaria a formação de grupos coerentes em estudos futuros, portanto, para este trabalho o ponto de corte adotado foi o de posição 10 e como consequência houve a formação de um grupo com apenas dois elementos.

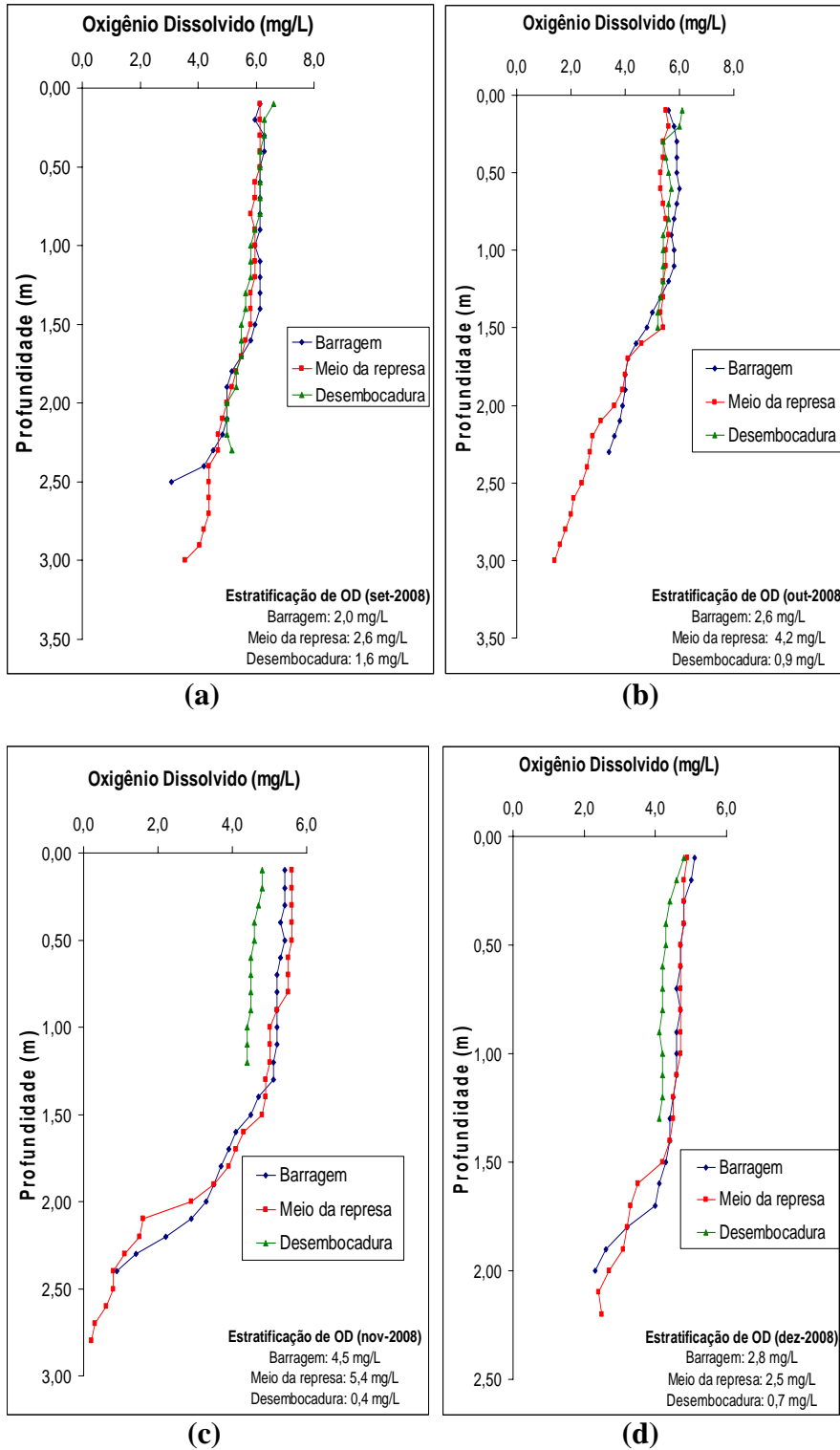
#### 5.4 Perfil de estratificação química da Represa Samambaia

De acordo com os gráficos da Figura 5.18 foi possível observar estratificação do oxigênio dissolvido em todos os meses do período de estudo para os três pontos de coleta, com exceção da desembocadura que apresentou estratificação somente no mês de setembro.

A estratificação da desembocadura no mês de setembro foi devida à baixa pluviosidade do período que aproximam suas características com as das regiões lânticas e à medida que a pluviosidade aumenta a estratificação da desembocadura desaparece dando lugar à desestratificação promovida pela movimentação das massas d'água que provoca o aparecimento de homotermia.

O mês de novembro de 2008 foi o que apresentou a maior estratificação para a barragem e meio da represa, possivelmente em virtude do início das chuvas e cargas exógenas vindas da bacia de drenagem que aumentam subitamente o teor de nutrientes e carga orgânica o que facilita a respiração e consumo de oxigênio. Observando a Tabela 5.2, verifica-se que a menor produtividade líquida (onde se descontam os valores de respiração dos de fotossíntese) e as maiores taxas de respiração foram no mês de novembro, o que justifica os altos valores de estratificação para este período. Associado a isso foi possível observar, também, que o mês de novembro apresentou maiores temperaturas de fundo, o que aumenta a atividade metabólica da camada bentônica tornando-a fortemente anóxica. As temperaturas da superfície e do fundo foram para o mês de novembro/2008, respectivamente, 28,7°C/26,6°C (barragem); 29,3°C/26,2 °C (meio da represa); 28,7°C/27,0°C (desembocadura).

Para fins de estudo, de acordo com perfil de pluviosidade da região, foram considerados para período de seca, os meses de setembro e outubro (baixo índice de pluviosidade) e para período de chuva, os meses de novembro e dezembro (o mês de dezembro apresentou maior índice de pluviosidade com média nos últimos 20 anos de 250 mm contra 23,7 mm para o mês de setembro no mesmo período).



**Figura 5.12 – Perfil de oxigênio dissolvido para Represa Samambaia para (a) set., (b) out., (c) nov. e (d) dez. de 2008 (barragem, meio da represa e desembocadura).**

## 5.5 Perfil de estratificação térmica na Represa Samambaia

Observando-se os gráficos da Figura 5.26 foi possível inferir a ocorrência de estratificação para todos os meses, com exceção do mês de dezembro de 2008. A estratificação ocorre com muita frequência em lagos tropicais segundo Esteves (1998) e Wetzel (2001) principalmente nos meses de seca; e sendo a Represa Samambaia um lago artificial tropical, seu comportamento não fugiu do padrão e, portanto, permaneceu estratificado durante os três primeiros meses de estudos em que ocorreram baixas precipitações chuvosas. Apesar de estar dentro da estação chuvosa o mês de novembro foi considerado como um mês de transição entre chuva e seca e então permaneceu como um período de transição e adaptação.

Após a estação de seca, com a estação chuvosa houve a mistura das massas d'água com o aparecimento da homotermia, comum quando há a mistura das massas de água provocada pelo aumento da vazão do tributário e inversão térmica provocada pela mudança de estação (primavera para verão, em que o início do verão foi dia 23 de dezembro de 2008).

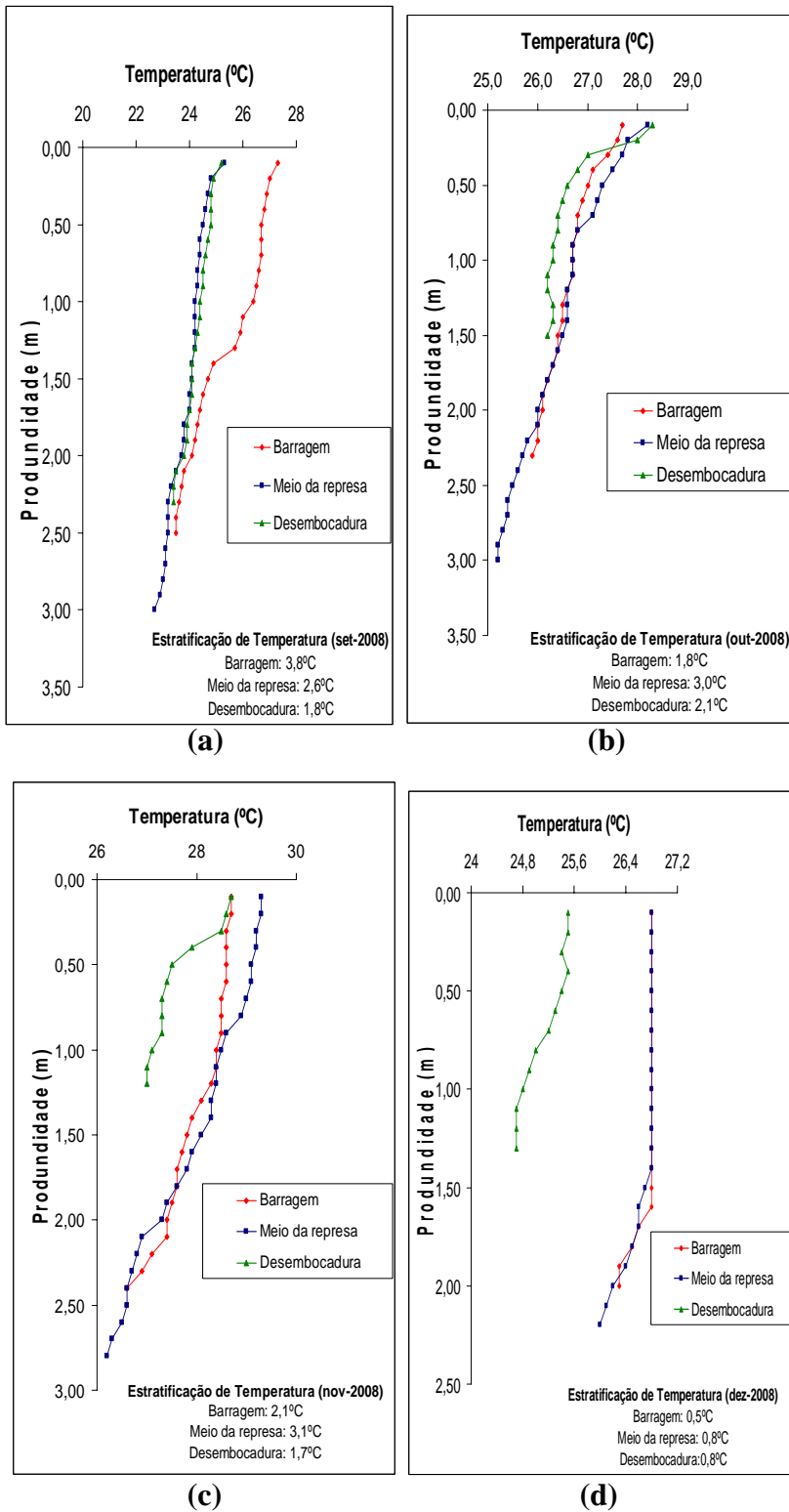
Foi possível verificar um comportamento térmico de lagos oligomíticos para a Represa Samambaia, o que a classifica como tal com relação ao padrão de circulação térmica.

## 5.6 Coeficiente da taxa de fotossíntese e respiração segundo reação de primeira ordem

Segundo Cunha, Ferreira (2006) e Cunha *et. al.* (2003) os modelos de qualidade da água são baseados em equações de primeira ordem e, portanto, para esse trabalho os coeficientes foram calculados em função de uma equação de reação de fotossíntese e respiração de **primeira ordem**. A Tabela 5.4 mostra os coeficientes de fotossíntese e respiração, para Represa Samambaia, de acordo com reações de primeira ordem comumente usadas em modelagem matemática de qualidade da água, cita-se como exemplo o SisBAHIA<sup>®</sup>, MIKE 21, WASP4, FIST-ADEQ. Todos os modelos citados usam reações de primeira ordem como base para a modelagem computacional.

Para reação de primeira ordem, a Equação 5.1 foi utilizada para o cálculo dos coeficientes,  $k$ , de fotossíntese e respiração.

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A] \quad (5.1)$$



**Figura 5.13 – Perfil de temperatura para Represa Samambaia para (a) set., (b) out., (c) nov. e (d) dez. de 2008 (barragem, meio da represa e desembocadura).**

**Tabela 5.4 – Coeficientes (K) de fotossíntese e respiração da Represa Samambaia para equações de primeira ordem para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2008.**

Data	Profundidade	Ordem da reação	Coeficiente de fotossíntese, $K_f$ ( $h^{-1}$ )			Coeficiente de respiração ( $K_r$ ) <sup>**</sup> ( $h^{-1}$ )		
			B*	M*	D*	B*	M*	D*
Setembro /2008	0,30	Primeira	0,0000	0,0000	-	0,0463	0,0154	-
	0,83	Primeira	0,0124	0,0063	-	0,0313	0,0154	-
	1,30	Primeira	0,0063	0,0127	-	0,0313	0,0321	-
	2,00	Primeira	0,0000	0,0204	-	0,0502	0,0349	-
	<b>MÉDIA</b>		<b>0,0047</b>	<b>0,0099</b>	<b>-</b>	<b>0,0398</b>	<b>0,0245</b>	<b>-</b>
	<b>DESVIO PADRÃO</b>		<b>0,0059</b>	<b>0,0087</b>	<b>-</b>	<b>0,0099</b>	<b>0,0105</b>	<b>-</b>
	<b>VARIÂNCIA</b>		<b>0,0000</b>	<b>0,0001</b>	<b>-</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>-</b>
Outubro /2008	0,30	Primeira	0,0226	0,0253	0,0097	0,0111	0,0000	0,0039
	0,83	Primeira	0,0286	0,0187	0,0130	0,0354	0,0000	0,0000
	1,30	Primeira	0,0119	0,0136	0,0000	0,0049	0,0187	0,0197
	2,00	Primeira	0,0062	0,0000	0,0372	0,0140	0,0630	0,0036
	<b>MÉDIA</b>		<b>0,0173</b>	<b>0,0144</b>	<b>0,0150</b>	<b>0,0164</b>	<b>0,0204</b>	<b>0,0068</b>
	<b>DESVIO PADRÃO</b>		<b>0,0101</b>	<b>0,0107</b>	<b>0,0158</b>	<b>0,0133</b>	<b>0,0297</b>	<b>0,0088</b>
	<b>VARIÂNCIA</b>		<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0009</b>	<b>0,0001</b>
Novembro /2008	0,30	Primeira	0,0206	0,0076	0,0098	0,0160	0,0028	0,0263
	0,83	Primeira	0,0023	0,0375	0,0307	0,0226	0,0323	0,0160
	1,30	Primeira	0,0116	0,0230	0,0000	0,0063	0,0000	0,0036
	2,00	Primeira	0,0000	0,0088	-	0,0535	0,0316	-
	<b>MÉDIA</b>		<b>0,0086</b>	<b>0,0192</b>	<b>0,0135</b>	<b>0,0246</b>	<b>0,0167</b>	<b>0,0153</b>
	<b>DESVIO PADRÃO</b>		<b>0,0094</b>	<b>0,0140</b>	<b>0,0157</b>	<b>0,0204</b>	<b>0,0177</b>	<b>0,0114</b>
	<b>VARIÂNCIA</b>		<b>0,0001</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0001</b>
Dezembro /2008	0,30	Primeira	0,3281	0,1200	0,0180	0,0000	0,0030	0,0346
	0,83	Primeira	0,1672	0,1230	0,2754	0,0054	0,0000	0,0179
	1,30	Primeira	0,1546	0,0000	0,0000	0,0000	0,0220	0,0123
	2,00	Primeira	0,1767	0,0000	-	0,0212	0,0133	-
	<b>MÉDIA</b>		<b>0,2067</b>	<b>0,0608</b>	<b>0,0978</b>	<b>0,0067</b>	<b>0,0096</b>	<b>0,0216</b>
	<b>DESVIO PADRÃO</b>		<b>0,0815</b>	<b>0,0702</b>	<b>0,1541</b>	<b>0,0100</b>	<b>0,0101</b>	<b>0,0116</b>
	<b>VARIÂNCIA</b>		<b>0,0066</b>	<b>0,0049</b>	<b>0,0237</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>
<b>Intervalo de Confiança para 95%</b>			<b>0,0468</b>	<b>0,0190</b>	<b>0,0411</b>	<b>0,0087</b>	<b>0,0087</b>	<b>0,0055</b>

\*Para a respiração os cálculos foram feitos todos baseados nas equações de primeira ordem

\*\* B = barragem; M = meio da represa; D = desembocadura.

No experimento de medição da produtividade do mês de dezembro houve a presença de nebulosidade constante o que permitiu o bloqueio do excesso dos raios solares diminuindo assim o excesso de luz incidente, assim evitou-se a fotoinibição e o fitoplancton encontrou as condições de iluminação e aporte de nutrientes ideal para a produtividade.

Ao contrário da fotossíntese os menores coeficientes de respiração foram no mês de dezembro em virtude dos mesmos fatores que influenciaram a fotossíntese, ao contrário da fotossíntese a respiração tem seu mecanismo de funcionamento baseado em ambientes escuros, e com a luz em condições ideais a respiração não tem condições tão favoráveis quanto a fotossíntese e em consequência disso os coeficientes são menores.

## CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitiram obter as seguintes conclusões:

1. Foram analisados 16 parâmetros físico químicos da água da Represa Samambaia, em que as faixas de variação no período amostral foram: (1) temperatura 24,3°C e 31,8°C; (2) oxigênio dissolvido 2,8 a 7,2 mg.L<sup>-1</sup>; (3) turbidez 5,9 a 54,1 UNT; (4) cor aparente 97 a 547 mgPt.L<sup>-1</sup>; (5) cor verdadeira 53 a 301 mgPt.L<sup>-1</sup>; (6) condutividade 42,6 a 66,0 Ohm.cm<sup>-1</sup>; (7) sólidos totais 0,030 a 3075,000 mg.L<sup>-1</sup>; (8) sólidos suspensos 0,009 a 0,160 mg.L<sup>-1</sup>; (9) sólidos dissolvidos totais 0,010 a 3074,000 mg.L<sup>-1</sup>; (10) clorofila-a 0,0 a 80,1 µg.L<sup>-1</sup>; (11) alcalinidade 34,06 a 64,10 mg.L<sup>-1</sup>; (12) pH 6,2 a 7,39; (13) nitrato 0,18 a 1,76 mg.L<sup>-1</sup>; (14) nitrogênio amoniacal 0,024 a 0,307 mg.L<sup>-1</sup>; (15) 5,81 a 23,60 mg.L<sup>-1</sup>; (16) fósforo total < 10,0 µg.L<sup>-1</sup>. Portanto, os dados físico-químicos e biológicos mostraram-se de acordo com literatura.

2. O teor de sólidos totais ultrapassaram a barreira dos 3.000,00 mg.L<sup>-1</sup>, o que indica forte assoreamento, provocado pela diminuição da cobertura vegetal da bacia de drenagem na Represa Samambaia.

3. O mês de dezembro ficou com os maiores valores de parâmetros físico-químicos e biológicos para a Represa Samambaia, o que aponta para a eutrofização nesse período.

4. A faixa de valores de fotossíntese foram: 0,0 – 328,08 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>; a faixa de valores de respiração foram: 0,0 – 301,37 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>; e a faixa de produtividade líquida foram: 0,0 – 328,08 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>. Os valores de fotossíntese, como fator primordial para a produtividade, de acordo com Henry (1998), ficam entre 0,0 e 1.000,00 mgO<sub>2</sub>.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> para águas de interiores, o que condiz com os encontrados pelo trabalho na Represa Samambaia.

5. A zona de barragem ficou com os maiores valores de fotossíntese bruta e respiração.

6. A classificação da Represa Samambaia foi:

6.a) de acordo com os teores de fósforo: Oligotrófica;

6.b) de acordo com os valores de produtividade: Eutrófica;

6.c) de acordo com o perfil de estratificação: Eutrófica (perfil clinogrado).

7. De maneira geral, a Represa Samambaia pôde ser classificada como Eutrófica.

8. A Represa Samambaia foi classificada como Oligotrófica segundo Esteves (1998) e Wetzel (2001) em relação aos teores de fósforo total, cujos valores foram menores que 10 µg.L<sup>-1</sup> durante todo o período de amostragem. Porém segundo Henry *et al.* (1998) onde se leva em conta os valores de produtividade bruta (fotossíntese bruta, cuja média de valores foi

de  $75,05 \text{ mgO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ) a represa foi classificada como **eutrófica**, o que contraria a classificação feita segundo teores de fósforo total.

9. Em virtude da dificuldade de determinação dos teores de fósforo em reservatórios (em função dos baixos teores normalmente encontrados), o trabalho mostrou ser inadequado e ineficiente classificar a trofia de reservatório de acordo com os teores de fósforo. O que deu uma falsa impressão de que o reservatório era oligotrófico, quando na verdade era eutrófico, de acordo com outros dois métodos de classificação de águas.

10. A análise multivariadas revelou a formação de três grupos inter-relacionados:

10.a) Fotossíntese, respiração,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , SS,  $\text{PO}_4^{3-}$ , alcalinidade, DQO, temperatura, OD, pH;

10.b) ST, SDT;

10.c) turbidez, cor verd, cor aparente, clorofila-a, condutividade.

11. Os maiores coeficientes de fotossíntese foram: em dezembro (para os três pontos de coleta:  $0,2067 \text{ h}^{-1}$ ;  $0,0608 \text{ h}^{-1}$ ;  $0,0978 \text{ h}^{-1}$ ). Portanto, esses coeficientes podem ser usados em trabalhos futuros para elaboração ou melhoramento de modelos matemáticos de produtividade. Desta forma, esses coeficientes podem prever potenciais e velocidade de eutrofização de corpos d'água de características semelhantes ao da Represa Samambaia.

12. Os maiores coeficientes de respiração foram: nos meses de setembro e dezembro, em que:

12.a) para setembro os maiores coeficientes foram para: barragem ( $0,0398 \text{ h}^{-1}$ ) e meio da represa ( $0,0245 \text{ h}^{-1}$ );

12.b) para dezembro os maiores coeficientes foram para: zona de tributário  $0,0216 \text{ h}^{-1}$ .

13. No caso da respiração, as atenções devem estar voltadas para as zonas de barragem e meio da represa nos meses de setembro. Os maiores valores de respiração encontrados no mês de setembro, apontou para um forte potencial poluidor nessa região do reservatório nesse período. Nesse caso, sugere-se um monitoramento mais rigoroso sobre o impacto da carga orgânica promovida pela piscicultura nos meses de setembro, pois, a alta demanda por oxigênio da respiração (DBO e DQO) pode prejudicar fortemente a criação de peixes nesse mês, aumentando a mortalidade do cardume nesse período.

14. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se:

14.a) a contribuição para aumento do banco de dados para cada mês do ano, para medida da fotossíntese e respiração (neste trabalho foi feita medidas de fotossíntese e respiração para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro);

14.b) trabalhos que mensurem as ordens de reação para fotossíntese e respiração;

14.c) a elaboração de modelos matemáticos que levem em consideração a ordem de reação e coeficiente da taxa de reação calculadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington D. C., 1998.

ARAÚJO, M. A. R.; COELHO, R. M. P. Produção e consumo de carbono orgânico na comunidade planctônica da Represa da Pampulha, Minas Gerais, Brasil. **Rev. Brasil. Biol.**, São Carlos, v. 58, n. 3, p. 405-416, 1998.

BALDWIN, D. S.; WHITTINGTON, J.; OLIVER, R. Temporal variability of dissolved P speciation in a eutrophic reservoir – implications for predicating algal growth. **Water Research**, USA, v. 37, p. 4595-4598, 2003.

BARBARA, V. F. **Uso do modelo Qual2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari, AP, (Amazônia)**. Goiânia, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2006. 176p.

BERMAN, T.; POLLINGHER, U. Annual and seasonal variations phytoplankton, chlorophyll, and photosynthesis in Lake Kinneret. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 19, n. 1, p. 31-54, 1974.

BESSA, M. R. R.; REIS, C. V. Variação entre a composição do plâncton na captação da Represa Samambaia e da captação do Rio Meia Ponte na cidade de Goiânia, Brasil. **In Anais do XXII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Y Ambiental**, Habana. CUBAIDIS, Cuba, p. 3-19. 1992.

BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. C (Org.). **Amostragem em limnologia**. 1<sup>a</sup> ed. São Carlos: Editora Rima, 2004. 371p.

CAMPOS, I. F. P.; SAIDAH, F. E. M. Flórua da represa da escola de agronomia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil. In: XXXVI Congresso Nacional de Botânica, 1990, Curitiba. **Anais do XXXVI Congresso Nacional de Botânica**. Brasília: IBAMA/SBB, 1990. p. 839-857.

CARIGNAN, R.; PLANAS, D.; VIS, C. Planktonic production and respiration in oligotrophic Shield lakes. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 45, n. 1, p. 189-199, 2000.

CARLSON, R. E. More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 25, n. 2, p. 379-382, 1980.

CESTARI, A. C.; KRUG, T.; NOVO, E. Modelo empírico para a estimativa de concentração da clorofila na zona eufótica em função da concentração da clorofila na superfície. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais**. Salvador: INPE, 1996. p. 93-98.

CERCO, C. F. Phytoplankton kinetics in the Chesapeake Bay eutrophication model. **Water Quality and Ecosystem Modeling**, USA, v. 1, p. 5-49, 2000.

- CHEN, S.; LING, J.; BLANCHETON, J. P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, USA, v. 34, p. 179-197, 2006.
- CUNHA, C. L. N.; FERREIRA, A. P. Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 8, p. 1715-1725, 2006.
- CUNHA, C. L. N.; ROSMAN, P. C. C.; MONTEIRO, T. C. N. Avaliação da poluição em rios usando modelagem computacional. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 126-134, 2003.
- DINÇER, A. R.; KARGI, F. Kinetics of sequential nitrification and denitrification process. **Enzyme and microbial technology**, USA, v. 27, p. 37-42, 2000.
- DOS SANTOS, A. C. A.; CALIJURI, M. C. Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita Reservoir (São Paulo, Brazil). **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 367, p. 139-152, 1998.
- EDMONDSON, W. T. Secchi disk and chlorophyll (comment). **Limnology and Oceanography**, USA, v. 25, n. 2, p. 378-379, 1980.
- ELLIOTT, J. A.; MAY, L. The sensitivity of phytoplankton in Loch Leven (U.K) to changes in nutrient load and water temperature. **Freshwater Biology**, U.K, v. 53, n. 1, p. 32-41, 2008.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Dados de Radiação Solar de Superfície, estação Santo Antônio de arroz e feijão, 2008.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998. 602p.
- IORE, M. F.; NEILAN, B. A.; COPP, J. N.; RODRIGUES, J. L. M.; TSAI, S. M.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Characterization of nitrogen-fixing cyanobacteria in the Brazilian Amazon floodplain. **Water Research**, USA, v. 39, p. 5017-5026, 2005.
- GANF, G. G.; HORNE, A. J. Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogenfixation in a shallow, equatorial Lake (Lake George, Uganda). **Freshwater Biology**, U.K, v. 5, n. 1, p. 13-39, 1975.
- GEIDER, R. J.; MACINTYRE, H. L.; KANA, T. M. A dynamic regulatory model of phytoplanktonic acclimation to light, nutrients, and temperature. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 43, n. 4, p. 679-694, 1998.
- GESSNER, F.; PANNIER, F. Influence of oxygen tension on respiration of phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 3, n. 4, p. 478-480, 1958.
- GÖKBULAK F.; SERENGIL, Y.; ÖZYUVACI, N.; BALCI, N. Effect of Timber Harvest on Physical Water Quality Characteristics. **Water Resour. Manage.**, USA, v. 22, p. 635-649, 2008.

HENRY, R.; NUNES, M. A.; MITSUKA, P. M.; LIMA, N.; CASANOVA, S. M. C. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). **Rev. Brasil. Biol.**, São Carlos, v. 58, n. 4, p. 571-590, 1998.

IBELINGS, B. W.; MABERLY, S. C. Photoinhibition and the availability of inorganic carbon restrict photosynthesis by surface blooms of cyanobacteria. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 43, n. 3, p. 408-419, 1998.

ISHII, I. H. **Contribuição ao estudo do ciclo do carbono na Represa de Três Marias, MG.** São Carlos, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Carlos, 1987. 159p.

JIANG, J. G.; SHEN, Y. F. Estimation of the natural purification rate of a eutrophic lake after pollutant removal. **Ecological Engineering**, USA, v. 28, p. 166-173, 2006.

JOST, G.; ZUBKOV, M. V.; YAKUSHEV, E.; JÜRGENS, K.; LABRENZ, M. High abundance and dark CO<sub>2</sub> fixation of chemolithoautotrophic prokaryotes in anoxic waters of the Baltic Sea. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 53, n. 1, p. 14-22, 2008.

KINGSTON, M. B. Effect of light on vertical migration and photosynthesis of *euglena proxima* (euglenophyta). **J. Phycol.**, USA, v. 35, p. 245-253, 1999.

KISHINO, M.; BOOTH, C. R.; OKAMI, N. Underwater radiant energy absorbed by phytoplankton, detritus, dissolved organic matter, and pure water. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 29, n. 2, p. 340-349, 1984.

LESAK, L. F. W. Seepage exchange in an Amazon floodplain lake. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 40, n. 3, p. 598-609, 1995.

LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 12, p. 343-346, 1967.

MALONE, T. C. Phytoplankton photosynthesis and carbon-specific growth: light-saturated rates in a nutrient-rich environment. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 27, n. 2, p. 226-235, 1982.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução.** Ed. Artmed, 3<sup>a</sup> ed., São Paulo, 2008.

McBRIDE, G. B. Simple calculation of daily photosynthesis by means of five photosynthesis-light equations. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 37, n. 8, p. 1796-1808, 1992.

MOREL, A.; LAZZARA, L. Growth rate and quantum yield time response for a diatom to changing irradiances (energy and color). **Limnology and Oceanography**, USA, v. 32, n. 5, p. 1066-1084, 1987.

MOORE, J. D. Physical chemistry. 2<sup>nd</sup> ed. USA: McGraw-Hill, 1976. Chapter 16, 1004 p.

**MILLER, F. M. Chemical kinetics. In: \_\_\_\_\_. Chemistry: structure and dynamics. 1<sup>st</sup> ed. USA: McGraw-Hill, 1985. Chapter 14, 904 p.**

MUYLAERT, K.; TACKX, M.; VYVERMAN, W. Phytoplankton growth rates in the freshwater tidal reaches of the Schelde estuary (Belgium) estimated using a simple light-limited primary production model. **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 540, p. 127-140, 2005.

NOGUEIRA, I. S. **Estrutura da comunidade fitoplanctonica da Represa Samambaia, Goiás, Brasil.** São Paulo, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1999. 341p.

NOGUEIRA, I. S.; RODRIGUES, N. C. L. Algas planctônicas de um lago artificial do jardim botânico Chico Mendes, Goiânia, Goiás: florística e algumas considerações ecológicas. **Rev. Brasil. Biol.**, São Carlos, v. 59, n. 3, p. 377-395, 1999.

ODUM, H. T. Primary production in flowing waters. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 1, n. 2, p. 102-117, 1956.

OLIVEIRA, M. D.; CALIJURI, M. C. Estimate of the rate of primary production in two lotic systems, based on hourly change of dissolved oxygen – Itaqueri and Lobo Rivers (São Paulo State). **An. Acad. bras. Ci.**, São Paulo, v. 68, n. 1, p. 103-111, 1996.

PARKHILL, K. L.; GULLIVER, J. S. Effect of inorganic sediment on whole-stream productivity. **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 472, p. 5-17, 2002.

PEDROSA, P.; REZENDE, C. E. Dissolved inorganic carbon and metabolism of an eutrophic lacustrine system: variations from a 36-hours study. **Rev. Brasil. Biol.**, São Carlos, v. 60, n. 4, p. 607-614, 2000.

PERKINS, R. G.; UNDERWOOD, J. C. Gradients of chlorophyll A and water chemistry along an eutrophic reservoir with determination of the limiting nutrient by *in situ* nutrient addition. **Water Research**, USA, v. 34, n. 3, p. 713-724, 2000.

PIERINI, S. A.; THOMAZ, S. M. Adaptações de plantas submersas à absorção do carbono inorgânico. **Acta bot. bras.**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 629-641, 2004.

PINILLA, G. A. Evaluación de la eficiencia fotosintética del fitoplancton en un lago amazónico (Lago Boa) y en un lago andino (Lago Guatavita). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 221-228, 2006.

POMPÊO, M. L. M.; HENRY, R.; MOSCHINI, C. V. The water level influence on biomass of *Echinochloa polystachya* (poaceae) in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). **Rev. Brasil. Biol.**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 19-26, 2001.

POPOVICH, C. A.; MARCOVECCHIO, J. E. Spatial and temporal variability of phytoplankton and environmental factors in a temperate estuary of South America (Atlantic coast, Argentina). **Continental Shelf Research**, USA, v. 28, p. 236-244, 2008.

PREISENDORFER, R. W. Secchi disk science: Visual optics of natural waters. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 31, n. 5, p. 909-926, 1986.

QUAY, P. D.; WILBUR, D. O.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; BENNER, R.; FORSBERG, B. R. The  $^{18}\text{O}$ :  $^{16}\text{O}$  of dissolved oxygen in rivers and lakes in the Amazon Basin: Determining the ratio of respiration to photosynthesis rates in freshwaters. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 40, n. 4, p. 718-729, 1995.

RAYMUNDO, M. S.; HORTA, P.; FETT, R. Atividade antioxidante *in vitro* de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). **Rev. Bras. Cienc. Farm.**, Brasil, v. 40, n. 4, p. 495-503, 2004.

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 35, n. 2, p. 352-371, 1990.

RUEDA, F. J.; FLEENOR, W. E.; VICENTE, I. Pathways of river nutrientes towards the euphotic zone in a deep-reservoir of small size: Uncertainty analysis. **Ecological Modelling**, USA, v. 202, p. 345-361, 2007.

RYTHER, J. H. Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 1, n. 1, p. 61-70, 1956.

SANTOS, A. M. **Produtividade primária de macrófitas aquáticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Limnotemas, n. 4, 2004. ISSN 1806-7115.

SANTOS, S. M. L. S.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. N.; NETO, B. B. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da plataforma continental do amazonas. **Quím. Nova**, São Carlos, v. 30, n. 3, p. 569-573, 2007.

SALVATO, J. A.; NEMEROW, N. L., AGARDY, F. J. Water quantity and quality. In: Water Supply. **Environmental Engineering**. 5. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. Chapter 3, 1544p.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L. **Chemistry for environmental engineering**. 3. ed. USA: McGraw-Hill International Editions, 1978. 532p.

SHIOMOTO, A.; HASHIMOTO, S.; MURAKAMI, T. Primary Productivity and do solar radiation off Sanriku in May 1997. **Journal of Oceanography**, USA, v. 54, p. 539-544, 1998.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. Bioinorganic chemistry. In: \_\_\_\_\_. **Inorganic Chemistry**. 3<sup>th</sup> ed. United Kingdom: Oxford University Press, 1999. chapter 19, 763 p. ISBN 019850331.

SILVA, S. A., OLIVEIRA, R. Método fotométrico da nesslerização direta. In: Nitrogênio Amônia-NH<sub>3</sub>. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande, 2001. Capítulo 32, 266p. ISBN: 85-901943-1-0.

SOLOMONS, T. W.; FRYHLE, C. In: Carbohydrates. **Organic Chemistry**. 7<sup>th</sup> ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2000. chapter 22, 1258 p.

SOLOMONS, T. W.; FRYHLE, C. In: Amino Acids and proteins. **Organic Chemistry**. 7<sup>th</sup> ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2000. chapter 24, 1258 p.

SOUSA, D.M.G.; RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de Cerrado. **In: Anais do I Seminário Sobre o Uso do Fosfógeno na Agricultura**, Brasília. CNPAT, Brasil, p. 119-144. 1986.

SOUZA, F. F. P.; SOUSA, A. R.; MEDEIROS, M. M.; COSTA, O. S. Variação Vertical do Perfil de Oxigênio Dissolvido e Temperatura da Represa Samambaia, Goiânia/GO. **In: Anais do XLVIII Congresso Brasileiro de Química**, Rio de Janeiro. ABQ, Brasil, p. (?). 2008.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SCHUELER, T. **Environmental Land Planning Series: Site Planning for Urban Stream Protection**. Metropolitan Washington Council of Governments & Center for Watershed Protection, Silver Spring, Maryland. 1995.

SWANEY, D. P.; HOWARTH, R. W.; BUTLER, T. J. A novel approach for estimating ecosystem production and respiration in estuaries: application to the oligohaline and mesohaline Hudson River. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 44, n. 6, p. 1509-1521, 1999.

THOMANN, R. V., MUELLER, J. A. **Principles of surface waterquality modeling and control**. New York: Harper & Row, 1987. 644p.

TYLER, J. E. The Secchi disc. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 13, n. 1, p. 1-5, 1968.

TWORT, A. C.; RATNAYAKA, D. D.; BRANDT, M. J. In: Chemistry, microbiology and biology of water. **Water Supply**. 5<sup>th</sup> ed. UK: IWA Publishing, 2000. chapter 6, 676p.

VERDUIN, J. Primary production in lakes. **Limnology and Oceanography**, USA, v. 1, n. 2, p. 85-91, 1956.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2004.

VIEIRA, L. C. G.; MARQUES, G. S., BINI, L. M. Estabilidade e persistência de assembléias zooplantônicas em um pequeno lago tropical. **Acta Sci. Biol. Sci.**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 323-328, 2005.

VOGEL, A. I., JEFFERY, G. H., BASSETT, J., MENDHAM, J., DENNEY, R. C. **Análise química quantitativa**. 5<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992. 980 p.

VOLLENWEIDER, R. A. **A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments**. 2<sup>nd</sup> ed. London: IBP Handbook, 1974. 224p.

WEISSMAN, J. C.; RADWAY, J. C.; WILDE, E. W.; BENEMANN, J. R. Growth and production of thermophilic cyanobacteria in a simulated thermal mitigation process. **Bioresource Technology**, v. 65, p. 87-95, 1998.

WETZEL, R. G. **Limnology:** Lake and river ecosystems. 3<sup>rd</sup> ed. USA: Elsevier academic Press, 2001. 1100p.

## **ANEXOS**

## Anexo 01

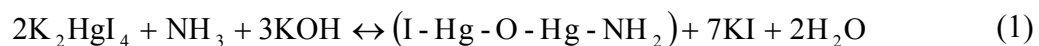
### Etapas de determinação do nitrogênio amoniacal

Etapas para determinação do nitrogênio amoniacal segundo Silva, Oliveira (2001):

- a) Pipetar 50,0 mL da amostra;
- b) Adicionar 0,5 mL de solução de sulfato de zinco heptahidratado ( $100 \text{ g.L}^{-1}$ ) para cada 50,0 mL de amostra;
- c) Adicionar à solução do item “b” 1,5 gota de NaOH  $6 \text{ mol.L}^{-1}$  de modo a ajustar o pH para 10,5 e agitar levemente;
- d) Deixar a solução do item “c” em repouso por cerca de 15 min, após repouso de 15 min agitar levemente com auxílio de um bastão de vidro posicionando o bastão próximo às bordas do recipiente durante a agitação;
- e) Pipetar 25 mL da solução do item “d”;
- f) Adicionar à solução do item “e” uma gota de solução de tartarato de sódio e potássio  $0,5 \text{ g.mL}^{-1}$
- g) Adicionar à solução do item “f” 0,5 mL de Reagente de Nessler;
- h) Homogeneizar solução do item “g” e fazer leitura em espectrofotômetro ou colorímetro no comprimento de onda de 450 nm;
- i) Uma curva de calibração deve ser feita com soluções padrões de cloreto de amônio dentro da faixa de detecção do método.

A metodologia de análise do nitrogênio amoniacal consiste em reagir a amônia presente na amostra com Iodeto mercúrico de potássio ( $\text{K}_2\text{HgI}_4$ ) em solução fortemente alcalina, de acordo com Equação 1, para formar um composto de natureza coloidal amarelado-marrrom (composto assinalado entre parênteses na Equação 1), onde a intensidade da cor é diretamente proporcional à quantidade de  $\text{NH}_3$  presente. A solução deve ser fortemente alcalina para que o equilíbrio da Equação 2 seja deslocado no sentido da formação de  $\text{NH}_3$  e assim todo o nitrogênio amoniacal seja convertido à amônia. De acordo com o princípio de *Le Chatelier*, o aumento da concentração de  $\text{OH}^-$  na solução perturba o equilíbrio da reação da Equação 2, para compensar esse acréscimo há o deslocamento do equilíbrio para formação de íons  $\text{H}^+$  e  $\text{NH}_3$  e assim todo nitrogênio contido na amostra pode ser então determinado pela Nesslerização direta na forma de amônia (SAWYER, McCARTY, 1978; VOGEL, 2000).

O reagente de Nessler é preparado dissolvendo-se 100 g de  $\text{HgI}_2$  e 70 g de KI a uma pequena quantidade de água que é então adicionado lentamente à uma solução fria de 160 g de NaOH em 500 mL de água. A solução resultante é diluída para 1,0 L. A solução resultante deve ser guardada em frasco de borossilicato ao abrigo da luz (SILVA, OLIVEIRA, 2001).



## Anexo 02

**Tabela de dados de precipitação das décadas de 80, 90 e 2000 para a bacia do Córrego Samambaia.**

**Valores da precipitação média mensal (mm) da estação meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão em Santo Antônio de Goiás (EMBRAPA, 2008).**

ANO	MESES												TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1983	292,3	178,3	151,2	138,4	24,8	0,0	31,5	0,0	37,2	144,8	215,2	155,0	1368,7
1984	180,8	232,9	283,9	81,2	22,9	0,0	0,0	45,5	70,4	138,7	211,8	226,8	1494,9
1985	391,5	82,8	138,2	182,9	17,5	0,0	0,0	4,4	97,5	167,4	169,6	274,0	1525,8
1986	190,4	185,9	173,9	113,6	50,6	0,0	20,7	127,2	28,3	136,7	89,6	334,2	1451,1
1987	205,0	171,8	252,3	202,0	39,5	0,2	0,0	0,0	37,8	153,4	321,7	222,8	1606,5
1988	191,1	438,6	386,2	214,0	3,0	20,9	0,0	0,0	22,2	129,6	160,6	174,3	1740,5
1989	147,6	137,8	97,6	45,4	0,4	7,4	37,8	38,0	62,6	89,5	366,1	503,5	1533,7
1990	145,8	98,8	206,7	88,8	104,6	1,5	4,5	19,3	28,2	193,6	157,5	187,3	1236,6
1991	227,8	160,9	267,4	105,0	8,7	0,0	0,0	0,0	32,5	81,9	210,1	176,4	1270,7
1992	332,1	273,7	157,9	156,3	5,1	0,0	0,0	0,3	143,2	185,9	247,8	228,5	1730,8
1993	94,6	185,1	133,2	45,9	11,6	0,0	0,0	35,4	14,6	170,5	138,7	286,3	1115,9
1994	239,0	176,4	395,7	103,7	11,3	32,1	3,2	0,0	21,0	143,7	263,9	286,3	1676,3
1995	221,0	139,9	352,2	135,1	0,0	0,0	0,0	0,0	37,8	154,8	150,8	294,8	1486,4
1996	206,9	147,1	136,3	130,2	12,8	1,4	0,3	3,8	18,7	100,7	215,8	171,4	1145,4
1997	236,4	173,1	346,6	65,5	86,5	102,9	0,0	0,0	27,1	86,3	151,1	135,2	1410,7
1998	195,8	292,6	269,8	70,5	23,3	22,4	0,0	0,0	53,6	264,5	389,9	187,9	1770,3
1999	135,5	134,1	137,1	11,3	67,8	13,6	0,0	0,0	40,1	136,8	210,4	187,1	1073,8
2000	253,5	260,1	243,1	55,9	13,5	0,0	0,0	29,7	118,2	52,2	276,0	353,4	1655,6
2001	121,1	259,3	127,7	86,0	82,2	0,5	0,0	9,9	110,4	222,8	267,9	162,0	1449,8
2002	216,2	248,7	175,9	34,7	14,2	0,0	0,0	0,7	54,6	53,3	221,7	239,3	1259,3
2003	298,0	242,0	234,2	196,8	1,2	0,0	0,0	6,0	44,4	132,7	151,0	197,9	1504,2
2004	456,6	264,3	440,2	102,8	30,8	0,0	4,9	0,0	2,5	154,7	157,9	277,2	1891,9
2005	213,7	72,9	332,9	56,7	61,2	11,5	0,0	0,8	49,1	95,7	219,4	497,2	1611,1
2006	167,7	234,3	245,8	231,0	54,9	0,0	0,0	5,9	68,2	219,5	202,7	295,1	1725,1
2007	210,9	196,3	49,3	92,6	6,1	0,0	9,3	0,0	23,7	56,5	171,5	207,3	1023,5
2008	347,8	292,3	264,2	248,0	30,2	77,8	-	-	-	-	-	-	1260,3
<b>MÉDIAS</b>	227,66	203,08	230,75	115,17	30,18	11,24	4,49	13,08	49,76	138,65	213,55	250,45	1462,26

## **APÊNDICES**

## Apêndice 1

### Caracterização físico química da Represa Samambaia – Outubro de 2007

**PERÍODO DE SECA**

**MEIO DA REPRESA**

**Horário da coleta:** 10:15 h      **Profundidade:** 3,45 m  
**Transparência:**  $(1,30+1,15)/2 = 1,225$  m  
**Temperatura do ar:** 25 °C      **Zona Eufótica:**  $1,235*3 = 2,675$  m  
Segundo ISHII (1987)  
**Condições do dia:** nublado

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	26,8	4,71	6,93	101	74	53,1	515,0	0,060	514,9	1,23	2,68
2	0,83	27,0	3,95	7,43	113	77	52,7	3.075,0	0,055	3.074,9	1,23	2,68
3	1,30	27,1	4,45	6,98	116	68	52,4	700,0	0,045	700,0	1,23	2,68
4	1,90	27,0	5,76	6,89	118	70	52,5	335,0	0,070	334,9	1,23	2,68

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)
1	46,70	6,79	0,025	0,02	0,25	0,007
2	45,78	6,82	0,026	0,02	0,18	0,003
3	46,70	6,90	0,024	0,02	0,23	0,002
4	45,78	6,89	0,024	0,03	0,26	0,003

## Apêndice 2

### Caracterização físico química da Represa Samambaia – Novembro de 2007

#### PERÍODO DE CHUVA (TRANSIÇÃO)

#### BARRAGEM

**Horário da coleta:** 10:15 h      **Profundidade:** 2,90 m  
**Transparência:**  $(1,10+0,90)/2 = 1,00$  m  
**Temperatura do ar:** 35 °C      **Zona Eufótica:**  $1,00*3 = 3,00$  m  
 Segundo ISHII (1987)  
**Condições do dia:** ensolarado

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	30,4	6,90	5,90	97	53	64,2	1,00	3,00
2	0,83	29,8	7,18	6,23	101	55	49,7	1,00	3,00
3	1,30	30,0	6,90	6,91	111	57	46,9	1,00	3,00
4	1,90	30,2	6,80	7,63	128	64	45,8	1,00	3,00

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH
1	42,12	7,23
2	45,78	7,20
3	40,29	7,07
4	42,12	6,96

#### MEIO DA REPRESA

**Horário da coleta:** 10:45 h      **Profundidade:** 3,70 m  
**Transparência:**  $(1,30+1,20)/2 = 1,25$  m  
**Temperatura do ar:** 35 °C      **Zona Eufótica:**  $1,25*3 = 3,75$  m  
 Segundo ISHII (1987)  
**Condições do dia:** ensolarado

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	31,8	6,70	6,31	115	70	46,0	1,25	3,75
2	0,83	31,2	6,66	6,81	122	72	43,2	1,25	3,75
3	1,30	30,9	6,55	7,82	129	76	42,6	1,25	3,75
4	1,90	30,4	5,76	7,61	124	80	44,7	1,25	3,75

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH
1	43,95	7,33
2	43,95	7,39
3	42,12	7,03
4	42,12	6,82

## Apêndice 3

### Caracterização físico química da Represa Samambaia – Março de 2008

#### PERÍODO DE CHUVA BARRAGEM

**Horário da coleta:** 11:25 h      **Profundidade:** 3,10 m  
**Temperatura do ar:** 29,2 °C      **Transparência:**  $(0,35+0,30)/2 = 0,32$  m  
**Condições do dia:** com sol e nuvens esparsas      **Zona Eufótica:**  $0,32 * 3 = 0,96$  m

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	25,8	4,10	53,60	547	295	60,5	0,420	0,024	0,396	0,32	0,96
2	0,83	24,6	3,90	54,10	531	300	60,5	0,370	0,016	0,354	0,32	0,96
3	1,30	24,5	3,80	54,00	542	297	60,3	0,450	0,013	0,437	0,32	0,96
4	1,90	24,3	3,70	52,10	518	295	60,3	0,540	0,010	0,530	0,32	0,96

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)	DQO (mg/L)
1	54,02	6,54	-	-	-	-	21,0
2	43,04	6,61	-	-	-	-	13,1
3	43,95	6,59	-	-	-	-	15,7
4	47,61	6,57	-	-	-	-	15,7

#### MEIO DA REPRESA

**Horário da coleta:** 10:38 h      **Profundidade:** 3,70 m  
**Temperatura do ar:** 28,5 °C      **Transparência:**  $(0,35 + 0,30/2) = 0,32$  m  
**Condições do dia:** com sol e nuvens esparsas      **Zona Eufótica:**  $0,32 * 3 = 0,96$  m

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	25,8	4,60	51,90	525	283	60,4	0,731	0,023	0,708	0,32	0,96
2	0,83	24,5	4,00	52,10	526	286	60,4	0,800	0,016	0,784	0,32	0,96
3	1,30	24,5	3,90	51,20	513	280	60,4	1,480	0,009	1,471	0,32	0,96
4	1,90	24,3	3,60	49,40	504	277	60,5	0,680	0,019	0,661	0,32	0,96

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)	DQO (mg/L)
1	49,45	6,80	-	-	-	-	21,0
2	53,11	6,93	-	-	-	-	15,7
3	43,04	6,58	-	-	-	-	18,3
4	64,10	6,90	-	-	-	-	21,0

#### DESEMBOCADURA

**Horário da coleta:** 10:25 h      **Profundidade:** 3 m  
**Temperatura do ar:** 28,5 °C      **Transparência:**  $(0,40+0,35)/2 = 0,37$  m  
**Condições do dia:** sol e nuvens esparsas      **Zona Eufótica:**  $0,37 * 3 = 1,11$  m

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	25,1	4,00	53,70	524	297	50,9	1,940	0,026	1,91	0,37	1,11
2	0,83	24,5	3,60	54,10	524	301	60,0	3,840	0,024	3,82	0,37	1,11
3	1,30	24,5	3,70	46,00	473	258	60,2	2,510	0,018	2,49	0,37	1,11
4	1,90	24,3	4,30	41,00	434	277	60,2	1,580	0,017	1,56	0,37	1,11

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)	DQO (mg/L)
1	36,3	6,59	-	-	-	-	15,7
2	38,2	6,54	-	-	-	-	21,0
3	34,5	6,54	-	-	-	-	23,6
4	37,2	6,58	-	-	-	-	15,7

## Apêndice 4

### Caracterização físico química da Represa Samambaia – Maio de 2008

#### PERÍODO DE SECA (TRANSIÇÃO) BARRAGEM

**Horário da coleta:** 10:10 h      **Profundidade:** 3,1 m  
**Temperatura do ar:** 29,5°C      **Transparência:**  $(0,80+0,70)/2 = 0,75$  m  
**Condições do dia:** com sol e sem nuvens      **Zona Eufótica:**  $0,75 \cdot 3 = 2,25$  m      Segundo ISHII (1987)

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	27,0	6,30	19,10	228	125	61	0,060	0,050	0,010	0,75	2,25
2	0,83	26,5	6,00	17,90	208	128	62	0,040	0,010	0,030	0,75	2,25
3	1,30	25,5	5,50	18,30	202	129	63	0,080	0,030	0,050	0,75	2,25
4	1,90	25,0	5,10	19,90	217	130	64	0,180	0,030	0,150	0,75	2,25

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)	DQO (mg/L)
1	38,15	6,90	0,290		0,827	-0,031	23,23
2	35,42	6,99	0,255		1,093	-0,017	17,42
3	38,15	6,95	0,247		0,827	-0,020	17,42
4	36,33	6,92	0,247		1,360	0,000	11,62

#### MEIO DA REPRESA

**Horário da coleta:** 10:00 h      **Profundidade:** 3,25 m  
**Temperatura do ar:** 28,5 °C      **Transparência:**  $(0,80+0,65)/2 = 0,73$  m  
**Condições do dia:** com sol e sem nuvens      **Zona Eufótica:**  $0,73 \cdot 3 = 2,18$  m      Segundo ISHII (1987)

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	27,0	5,40	18,70	190	116	62	0,210	0,030	0,180	0,73	2,18
2	0,83	27,0	4,80	18,30	191	117	64	0,070	0,050	0,020	0,73	2,18
3	1,30	26,0	5,30	19,90	197	105	64	0,120	0,050	0,070	0,73	2,18
4	1,90	25,0	5,50	19,90	191	100	64	0,140	0,050	0,090	0,73	2,18

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)	DQO (mg/L)
1	37,24	6,20	0,307		1,493	-0,035	5,83
2	37,24	7,22	0,066		1,760	-0,007	17,42
3	37,24	6,94	0,058		0,560	-0,001	23,23
4	35,88	6,89	0,058		0,293	-0,009	5,81

#### DESEMBOCADURA

**Horário da coleta:** 9:50 h      **Profundidade:** 2,90 m  
**Temperatura do ar:** 29°C      **Transparência:**  $(0,80+0,65)/2 = 0,73$  m  
**Condições do dia:** com sol e sem nuvens      **Zona Eufótica:**  $0,73 \cdot 3 = 2,18$  m      Segundo ISHII (1987)

Ponto de Amostragem Vertical	Nível de Profundidade (m)	T (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	Condutividade (µmho/cm)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	Transparência (m)	Zona Eufótica (m)
1	0,30	27,0	3,50	19,50	215	137	64	-	0,080	-	0,73	2,18
2	0,83	26,0	2,80	19,50	206	132	65	3,160	0,110	3,050	0,73	2,18
3	1,30	27,0	3,10	17,40	192	131	66	0,030	0,020	0,010	0,73	2,18
4	1,90	26,5	3,60	17,00	185	124	64	0,220	0,160	0,060	0,73	2,18

Ponto de Amostragem Vertical	Alcalinidade (mg/L)	pH	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P <sub>total</sub> (ABS)	DQO (mg/L)
1	35,0	6,73	0,058		0,560	0,007	23,23
2	34,1	6,80	-0,003		0,827	-0,025	5,81
3	35,4	6,89	0,066		0,693	0,011	17,42
4	35,4	6,96	0,109		0,827	0,004	17,42