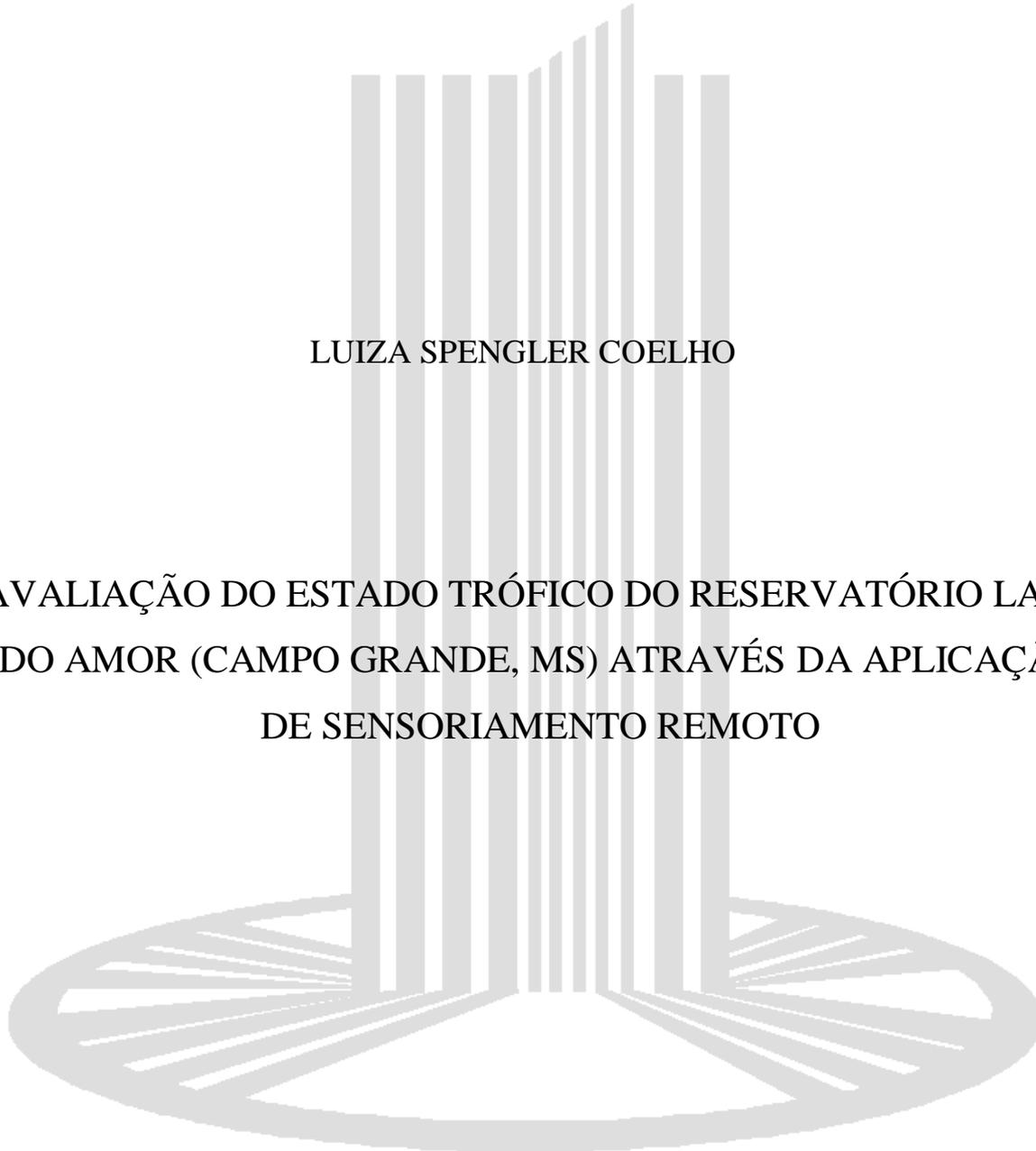


UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS



LUIZA SPENGLER COELHO

AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO LAGO
DO AMOR (CAMPO GRANDE, MS) ATRAVÉS DA APLICAÇÃO
DE SENSORIAMENTO REMOTO

CAMPO GRANDE

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

LUIZA SPENGLER COELHO

**AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO
LAGO DO AMOR (CAMPO GRANDE, MS) ATRAVÉS DA
APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Diagnósticos e Avaliação de Impactos Ambientais.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Kennedy Francis Roche

Aprovada em 20 de Maio de 2010

Banca examinadora:

Prof. Dr. Kennedy Francis Roche
Orientador – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul Universidade de São Paulo

Campo Grande, MS

2010

Ficha catalográfica preparada pela
COORDENADORIA DA BLIBIOTECA CENTRAL/UFMS



DEDICATÓRIA

À minha família, noivo e amigos, pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador Kennedy Roche, pelo exemplo de dedicação a ciência.

Ao professor Antonio Paranhos e sua equipe, pelo apoio e dedicação prestados.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Kennedy Francis Roche, por todo o trabalho em equipe e aprendizado proporcionado. Ao Prof. Antônio Paranhos e toda sua equipe, em especial à Gabriela Atique e Ed Wassouf, por todo o apoio com o processamento das imagens.

A FUNDECT/MS pela bolsa de mestrado concedida, apoio essencial para a realização da pesquisa.

Ao Vinicius Bastistelli Lemos, pela dedicação, inteligência e presteza, fundamentais no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os estagiários do Prof. Kennedy Roche e a todos aqueles que ajudaram com as coletas dos dados de campo no Lago do Amor. Em especial, ao Tiago, Renato, João Renato, Hugo, Leandro, Carol, Osvaldo, Marjolly, Edson, Priscilla Oliveira e Marcondes.

Ao LAQUA/UFMS e a toda sua equipe, pela oportunidade de realização das análises.

A todos os professores DHT/UFMS, em especial ao coordenador do PGTA Prof. Teodorico Alves Sobrinho.

Ao Pesquisador Nathan Torbick, à Pesquisadora Evlyn Novo do INPE e ao Pesquisador Luiz Carlos Pittol Martini, pelo apoio com a revisão bibliográfica.

À Gilson Vopato, pelo curso e livros de Redação Científica, que com certeza engrandeceram a escrita deste trabalho.

À minha família, principalmente meu noivo Daniel que releu inúmeras vezes esta dissertação.

"If you want to go fast, go alone, if you want to go far, go together."

Al Gore

*“Se planejamos para um ano, plantamos arroz.
Se planejamos para dez anos, plantamos árvores.
Se planejamos para cem anos, preparamos pessoas.”*

Antigo ditado chinês

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xii
I - INTRODUÇÃO GERAL	1
II - ARTIGOS CIENTÍFICOS	7
ARTIGO I	A - 1
RESUMO	A - 1
INTRODUÇÃO	A - 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	A - 4
MATERIAIS E MÉTODOS	A - 6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	A - 10
CONCLUSÕES	A - 18
REFERÊNCIAS	A - 19
ARTIGO II	B - 1
RESUMO	B - 1
INTRODUÇÃO	B - 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	B - 3
MATERIAIS E MÉTODOS	B - 6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	B - 10
CONCLUSÕES	B - 18
REFERÊNCIAS	B - 19
III - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	8
IV - REFERÊNCIAS	10
V - ANEXOS	15

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

- FIGURA 1 - Localização do Lago do Amor A - 6
- FIGURA 2 - Climatologias de Precipitação e Temperatura de Campo Grande (adaptado de CPTEC/INPE, 2007) A - 7
- FIGURA 3 - Relação entre as concentrações de oxigênio dissolvido na superfície do reservatório e a cobertura de macrófitas A - 10
- FIGURA 4 - Relação entre a transparência da água e a cobertura de macrófitas A - 11
- FIGURA 5 – Relação entre pH superfície e cobertura de macrófitas no reservatório A - 11
- FIGURA 6 - Relação entre valores de clorofila a, fósforo total e a cobertura de macrófitas no reservatório A - 12
- FIGURA 7 - Concentrações de oxigênio dissolvido e sólidos suspensos voláteis (SSV) no reservatório A - 12
- FIGURA 8 – Variação mensal dos valores do IET CETESB para os parâmetros fósforo total - IET(PT) e clorofila a - IET(CL) A - 16
- FIGURA 9 - Variação mensal dos valores do IET Toledo para os parâmetros fósforo total - IET(PT) e clorofila a - IET(CL) A - 16
- FIGURA 10 - Variação mensal do IET CETESB médio no reservatório e sua relação com a cobertura de macrófitas A - 17
- FIGURA 11 - Variação mensal dos valores do IET Toledo médio A - 17
- FIGURA 12 - Relação entre cobertura de macrófitas e grau de limitação (Usando IET CETESB) A - 18

Artigo 2

- FIGURA 1 - Localização do Lago do Amor B - 7
- FIGURA 2 – Área de interesse (AOI) desenhada sobre o reservatório Lago do Amor (Lago em preto, vegetação em branco – imagem de 14/09/06 com índice RATIO) B - 9
- FIGURA 3 - Regressões entre concentração de clorofila a e os índices NDVI, NRVI, RVI e RATIO B - 11

FIGURA 4 - Regressões entre concentração de clorofila a e reflectâncias das Bandas 2, 3 e 4 do sensor CCD-CBERS	B - 12
FIGURA 5 - Regressões entre concentração de clorofila a e os índices RAVI e NRAVI	B - 12
FIGURA 6 – Comparação entre clorofila a medida in situ e clorofila a estimada	B - 13
FIGURA 7 – Comparação entre as composições coloridas 432 e as imagens resultantes do índice NRAVI (AOI sobre o reservatório em vermelho)	B - 15
FIGURA 8 – Distribuição espacial da clorofila a estimada no reservatório a partir equação (1) (banda 2 CCD-CBERS)	B - 16
FIGURA 9 - Distribuição espacial da Clorofila a estimada no reservatório usando equação (2) (NRAVI)	B - 17
FIGURA 10 - Bandeamento. Composição 123, imagem de 04/02/2008, do satélite CBERS-2B	B - 17
FIGURA 11 – Artefatos sobre a área do reservatório “Lago do Amor”. Composição 123, imagem não utilizada de 09/07/2008, do satélite CBERS-2B	B - 18

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

TABELA 1 - Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas	A - 8
TABELA 2 - Limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Toledo (1990, apud Lamparelli, 2004, p. 35)	A - 9
TABELA 3 - Limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Lamparelli (2004)	A - 9
TABELA 4 – Resultados da Classificação Trófica pelo IET CETESB	A - 13
TABELA 5 - Resultados da Classificação Trófica pelo IET TOLEDO	A - 14
TABELA 6 - Comparação dos resultados da classificação do reservatório através da aplicação dos IETs de Toledo (1990), e de Lamparelli (2004)	A - 15

Artigo 2

TABELA 1 – Características do sensor CCD dos satélites CBERS-2 e 2B (modificado de INPE, 2010)	B - 8
TABELA 2 - Índices de Vegetação, fórmulas utilizadas para cálculo e resposta para vegetação	B - 9
TABELA 3 - Limites do esquema para classificação de reservatórios em níveis de trofia de Salas & Martino (1991)	B - 10
TABELA 4 - Resumo estatístico dos resultados de clorofila a, índices (NDVI, NRVI, RVI, RATIO) e reflectância das Bandas 2, 3 e 4	B - 11
TABELA 5 – Valores clorofila a medida in situ e clorofila a estimada	B - 14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOI	Area of interest – Área de interesse
CCD	Câmera Imageadora de Alta Resolução
eu	Eutrófico
GREEN	Verde
hiper	Hipereutrófico
IET	Índice de estado trófico
IET (CL)	Índice de estado trófico para o parâmetro clorofila <i>a</i>
IET (PT)	Índice de estado trófico para o parâmetro fósforo total
IET (S)	Índice de estado trófico para o parâmetro transparência
IQA	Índice de qualidade das águas
IVA	Índice de proteção da vida aquática
meso	Mesotrófico
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index – Índice de Vegetação Normalizado
NIR	Near Infrared - Infravermelho Próximo
NRAVI	Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index
NRVI	Normalized Ratio Vegetation Index
oligo	Oligotrófico
RATIO	Índice de vegetação por razão simples
RAVI	Ratio Aquatic Vegetation Index
RED	Vermelho
RVI	Ratio Vegetation Index
super	Supereutrófico
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UGRHIs	Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
ultra	Ultraoligotrófico

LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{g.L}^{-1}$	concentração, em 10^{-6} .gramas.Litros ⁻¹
PT	fósforo total
Cl-a	clorofila <i>a</i>
S	transparência
m	metros
μm	10^{-6} .metros
r	coeficiente de correlação
r^2	coeficiente de ajuste linear

RESUMO

COELHO, L. S. (2010). *Avaliação do Estado Trófico do Reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS) através da aplicação de Sensoriamento Remoto. Campo Grande, 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

Dois artigos são apresentados. O primeiro é intitulado: Classificação trófica de reservatórios utilizando índices de estado trófico: estudo de caso do reservatório tropical raso Lago do Amor; e o segundo: Uso do Sensor CBERS/CCD na avaliação do estado trófico do reservatório Lago do Amor. O primeiro objetivou estimar o estado trófico do “Lago do Amor” através da aplicação do índice de estado trófico modificado por Toledo (1990) e índice de estado trófico de Lamparelli (2004), usando dados do monitoramento do reservatório de 2005 a 2009, cujo início da amostragem coincidiu com o começo da retirada das macrófitas (*Eichhornia crassipes*), que cobriam a superfície do reservatório desde 2003. Os resultados dos índices demonstraram as mudanças ecológicas ocorridas no período de estudo, e indicaram que a classe trófica do reservatório aumentou conforme a cobertura de macrófitas diminuiu. Já o segundo artigo buscou avaliar o estado trófico do “Lago do Amor” usando o sensor CBERS-2/CCD e o parâmetro clorofila *a* como indicador. O uso do sensoriamento remoto como ferramenta de apoio ao diagnóstico de processos de eutrofização também foi discutido. Foram utilizadas 4 imagens do satélite CBERS, câmera CCD e dados *in situ* coletados próximos a data de passagem do satélite. Para determinar as relações entre as bandas da imagem de satélite e o parâmetro clorofila *a* foram testados diversos Índices de Vegetação e dois novos foram propostos: RAVI e NRAVI. Os resultados demonstraram que é possível utilizar tecnologias de sensoriamento remoto para estimar o estado trófico de corpos d’água, contudo fatores externos são as principais limitações a estes estudos.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, reservatórios, índice de estado trófico

ABSTRACT

COELHO, L. S. (2010). *Assessment of the Trophic State of the Reservoir Lago do Amor (Campo Grande, MS) through remote sensing. Campo Grande, 2010. 82 p. Master Thesis – Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

Two articles are presented. The first is entitled: Trophic state indexes for the classification of reservoirs: Case study of the shallow tropical reservoir “Lago do Amor”; and the second: Use of the CBERS/CCD sensor for the estimation of the trophic state of the reservoir “Lago do Amor”. In the first article the trophic condition of the reservoir “Lago do Amor” was estimated through the trophic state indexes of Toledo (1990) and Lamparelli (2004), using data collected between 2005 and 2009. The beginning of the sampling coincided with the removal works of the macrophytes (*Eichhornia crassipes*) that covered the reservoir’s surface. It was verified that the results of the indexes showed the ecological changes that have taken place in the reservoir during the study period, and that the indicated trophic level of the reservoir increased as the macrophytes coverage decreased. In the second article the trophic state of the reservoir was evaluated using the sensor CBERS-2/CCD and chlorophyll *a* as the indicator parameter. The use of remote sensing for the evaluation of trophic state was also discussed. The data used consisted of 4 satellite images of the sensor CBERS camera CCD and *in situ* data collected near the satellite overpass dates. To determine the relationship between the bands of the Satellite image and the parameter chlorophyll *a*, several Vegetation indexes and statistical techniques were tested. Two new indexes were proposed: RAVI and NRAVI. Results show that, despite radiometric problems, it was possible to use CBERS satellite images to estimate the concentration of chlorophyll *a* and trophic state of the water body.

Key-Words: remote sensing, reservoirs, trophic state index

I - INTRODUÇÃO GERAL

Reservatórios são ecossistemas artificiais resultantes de modificações em rios, dotados de extrema importância estratégica, uma vez que permitem usos múltiplos (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). No Brasil, reservatórios possuem grande importância ecológica e econômica, devido ao elevado número de represas hidrelétricas. Outros usos secundários são para o abastecimento de água, irrigação, piscicultura, navegação, recreação e descarga de efluentes (Calijuri & Oliveira, 2000).

Dentro do contexto atual de deterioração dos recursos hídricos devido à massificação das atividades antropogênicas, o estudo básico dos reservatórios é essencial para fornecer as bases científicas para o planejamento e gerenciamento, de modo a assegurar os usos múltiplos. Diversos estudos reforçam esta idéia, como Calijuri & Tundisi (1990), Calijuri & Oliveira (2000), Pinto-Coelho *et al.* (2005), Bicudo *et al.* (2006), Matsumura-Tundisi *et al.* (2006), Tundisi *et al.* (2006).

Segundo Toledo *et al.* (1983), entre os diferentes processos que podem comprometer a qualidade das águas dos reservatórios, a eutrofização é um dos mais importantes. A eutrofização pode ser definida como o processo de enriquecimento de um corpo d'água por nutrientes, ocasionando o excessivo crescimento de macrófitas aquáticas e/ou algas, e é um processo natural, mas que vem sendo induzido de modo acelerado pelas atividades antropogênicas (Figueirêdo *et al.*, 2007). Esse fenômeno é causado pelo aporte externo de nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio, cujas principais fontes são as atividades agropecuárias e a expansão urbana (Braga *et al.*, 1998; Pinto-Coelho *et al.*, 2005).

Dentro destas atividades, grandes contribuintes são a falta de saneamento básico, principalmente as ligações irregulares de esgoto na drenagem pluvial e o despejo de esgotos domésticos e industriais sem tratamento, os detergentes e sabão em pó (Silvério, 2006) e o uso de fertilizantes (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Após estudos de três sub-bacias do nordeste brasileiro, Figueirêdo *et al.* (2007) concluíram que a urbanização, a agropecuária e o desmatamento aumentam a carga de nutrientes nos reservatórios, contribuindo para uma maior ocorrência do processo de eutrofização em mananciais.

Os resultados do projeto Brasil das Águas que realizou um panorama das águas de todas as regiões do Brasil em 2003 e 2004 indicam que, do total de 128 reservatórios/açudes amostrados, 25% encontravam-se eutróficos, e 2,3% hipereutróficos (Brasil das Águas, 2009). Os resultados do referido projeto também indicam que as regiões que apresentaram as maiores

proporções de pontos classificados como águas impactadas e com alto impacto humano são também as regiões de maior densidade populacional, fato que reforça a associação entre as atividades humanas e o incremento da eutrofização. Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) afirmam que a eutrofização é um dos mais importantes impactos qualitativos e quantitativos em rios, lagos e reservatórios, afetando, com maior ou menor intensidade, praticamente todos os ecossistemas aquáticos continentais.

A eutrofização gera diversos efeitos nos ecossistemas aquáticos, todos relacionados à deterioração em longo prazo da qualidade hídrica do corpo d'água e da sua vida aquática. Mason (1996) elencou os seguintes efeitos ecológicos deste processo: diminuição da diversidade de espécies e modificação da biota dominante, aumento da taxa de sedimentação e da turbidez, possibilidade de desenvolvimento de condições anóxicas. Para Esteves (1998) é mais apropriado estudar a eutrofização como um caso de regressão do ecossistema.

Nogueira (1991), Esteves (1998) e Von Sperling (2005) discutiram os seguintes problemas associados ao uso que podem ser causados pelos efeitos da eutrofização: mortalidade de peixes, maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água, problemas com o abastecimento industrial, toxicidade das algas (especialmente das cianobactérias), modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial, redução na navegação e capacidade de transporte, desaparecimento gradual do lago como um todo. A análise dos problemas acima citados indica que a eutrofização gera reflexos econômicos, principalmente, ao inviabilizar os usos múltiplos da água. Segundo a UNEP – United Nations Environment Programme (2001), a eutrofização das águas interiores é considerada um dos maiores problemas ambientais em nível mundial, e causa grandes impactos ecológicos, de saúde e economia.

Outra consequência indesejável da eutrofização é o desenvolvimento de florações de cianobactérias e o crescimento intensivo de macrófitas como o aguapé *Eichhornia crassipes* (Bicudo *et al.*, 2006). No Brasil, diversos trabalhos já analisaram a influência de *Eichhornia crassipes* sobre a deterioração da qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos (Barbosa *et al.* 1998; Pinto-Coelho & Greco, 1999; Thomaz *et al.* 2003, citados por Bicudo *et al.*, 2006).

O processo de eutrofização de um ambiente aquático é caracterizado através da classificação em graus de trofia, ou seja, em níveis de estado trófico. Essa abordagem de classificação tipológica consiste em, de acordo com as suas características químicas e biológicas (como concentrações de nutrientes e produtividade primária), conferir a um corpo d'água uma categoria de estado trófico, variando de estágios mais amenos de eutrofização, como o oligotrófico, para mais avançados, como o hipereutrófico (Lamparelli, 2004).

Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008), a quantificação do estado trófico permite agrupar os ambientes em categorias, como oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos, o que funciona como uma referência das alterações quantitativas sofridas pelo ambiente em virtude das cargas de nutrientes.

Em geral, é aceito que o nível trófico de um corpo d'água pode ser inferido das suas concentrações de clorofila *a*, da produção primária do fitoplâncton, das espécies de algas presentes, da transparência da água, e das concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido (Toledo *et al.*, 1983). Contudo, as características hidrológicas e morfométricas do ambiente, como volume, profundidade, tempo de residência, e os fatores geográficos e climáticos, como uso e ocupação da bacia hidrográfica, temperatura, ciclo anual de precipitação, principalmente, podem influenciar a expressão do enriquecimento (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008).

Buscando padronizar abordagens para a classificação trófica de ambientes aquáticos, de modo a facilitar a comparação de resultados, diversos autores e organizações propuseram métodos, que podem ser divididos em dois grupos: os esquemas simplificados e os Índices de Estado Trófico (IETs) (Carlson, 1977; OECD, 1982; Toledo *et al.*, 1983; Salas & Martino, 2001; Lamparelli, 2004; Von Sperling, 2005). Nos esquemas simplificados de classificação em graus de trofia, comumente apresentados na forma de tabelas, cada classe de trofia é representada por uma faixa de valores de uma variável. As variáveis mais utilizadas são clorofila *a*, transparência (com Disco de Secchi) e fósforo total. Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) enfatizam que estes limites correspondem a valores determinados para um conjunto de ambientes com características climatológicas e hidrológicas similares, por exemplo, lagos de regiões temperadas, assim, sua utilização deve ser feita apenas para ambientes com características semelhantes, o que também é uma realidade para os Índices de Estado trófico, que também devem ser adaptados para realidades regionais, visando maior precisão na classificação.

Os Índices de Estado Trófico (IET) são calculados a partir de três parâmetros: clorofila *a*, transparência (Disco de Secchi) e fósforo total (Toledo *et al.*, 1983). Atualmente, o Índice de Estado Trófico mais utilizado tanto no âmbito institucional como acadêmico no Brasil, é o índice clássico introduzido por Carlson (1977) e modificado por Toledo *et al.* (1983) e Toledo (1990), que alteraram as expressões originais para adequá-las à realidade de ambientes subtropicais. Contudo, recentemente Lamparelli (2004) propôs um novo Índice de Estado Trófico, baseada em dados coletados em reservatórios do Estado de São Paulo. Atualmente, o Índice de Estado Trófico de Lamparelli é utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do

Estado de São Paulo) como componente do IVA (Índice de Proteção da Vida Aquática) no monitoramento das 22 UGRHIs - Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos em que se divide o Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Devido ao seu caráter sintético e simplificado, os Índices de Estado Trófico são usualmente preferidos em estratégias de manejo, pois são usados para simplificar fenômenos complexos, o que decorre do fato de que um índice reduz um determinado fenômeno a uma única dimensão a partir da medida de uma série de variáveis. Assim têm-se que os IETs representam a média das principais expressões físicas, químicas e biológicas do conceito de estado trófico, sendo a transparência da água a variável física, clorofila *a* a variável biológica e as concentrações de fósforo total a variável química (Bicudo *et al.*, 2006). Nos últimos anos, diversos estudos como Bezerra-Neto & Pinto-Coelho (2002), Garcia *et al.* (2007), Barzan *et al.* (2007), Specchiulli *et al.* (2008), Hong *et al.* (2008), Fia *et al.* (2009), e Bem & Braga (2009), obtiveram sucesso na aplicação de Índices de Estado Trófico. Para a CETESB, as principais vantagens na utilização do índice são a facilidade de comunicação com o público leigo e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade (CETESB, 2006).

A avaliação do estado trófico de reservatórios é essencial para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento, controle e prevenção de processos de eutrofização. Dessa forma todos os tipos de estudos que permitam uma melhor compreensão da variação temporal do estado trófico de um reservatório e sua correlação com outros fenômenos, climáticos e hidrológicos, são muito importantes, pois auxiliam na tomada de decisões e de ações de monitoramento, controle, fiscalização e investimentos para a proteção e melhoria da qualidade ambiental (González *et al.*, 2006).

Os estudos necessários para a o embasamento de uma avaliação criteriosa do estado trófico são longos e onerosos, principalmente devido à necessidade de coletas em campo (Sass *et al.*, 2007). Assim, a utilização de tecnologias para simplificação dos mesmos é interessante e deve ser priorizada. Entre as tecnologias que podem auxiliar nos estudos ambientais, destaca-se o sensoriamento remoto, que permite obter, de modo remoto, isto é, à distância, sem contato físico entre o sensor e a superfície, imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação da energia refletida ou emitida pela superfície (Florenzano, 2007).

Baban citado por Pereira *et al.* (2007) afirma que o uso do sensoriamento remoto no gerenciamento de corpos d'água se baseia principalmente no fato de que a eutrofização e o aumento na produtividade são associados a mudanças nas propriedades ópticas da água.

Assim, a razão de energia eletromagnética refletida pela superfície aquática e detectada pelo sensor fornece informações sobre as características físicas, químicas e, principalmente, biológicas do ecossistema aquático.

Em águas interiores, usos diretos da tecnologia de sensoriamento remoto por satélite são o monitoramento das águas quanto à carga de sedimentos, proliferação de macrófitas na superfície líquida e identificação de florações de algas (Martini *et al.*, 2006). Duan *et al.* (2007) obteve resultados satisfatórios usando dados espectrais do satélite Landsat TM e dados de campo na determinação de concentrações de clorofila *a*. Martini *et al.* (2006) demonstraram a existência de correlação significativa entre dados orbitais do satélite Landsat TM e as variáveis concentração de clorofila, teor de sólidos em suspensão e profundidade de Secchi (transparência), que são parâmetros chave na classificação trófica de corpos d'água. Segundo Novo *et al.* (1993), usando a distribuição de clorofila como um indicador do estado trófico de um reservatório é possível observar na data de passagem do satélite as zonas com estados tróficos mais avançados, o que pode ajudar na identificação de fontes pontuais de descargas de poluentes e no controle por agências ambientais.

A partir de estudos como esses, surgiu a premissa que o sensoriamento remoto poderia ser utilizado na identificação e classificação do processo de eutrofização, servindo como instrumento de monitoramento de corpos hídricos sujeitos à eutrofização acelerada. Desde então, inúmeros trabalhos mostraram a utilidade do sensoriamento na avaliação da trofia de lagos e represas a partir da interpretação da reflectância da clorofila *a*, da cobertura de macrófitas e da turbidez da água (Bukaka *et al.*, 1981; Lathrop & Lillesand, 1986; Dekker *et al.*, 1992; Harrington & Schiebe, 1992; Baban, 1993, 1994, 1999; Dewidar & Khedar, 2001; Froidefond *et al.*, 2002; Hedger *et al.*, 2002; Kloiber *et al.*, 2002; citados por Pereira *et al.*, 2007).

Considerando os benefícios claros da utilização de imagens de satélite para análise de componentes ambientais, como: diminuição dos custos de pesquisa, resultados mais precisos, completos e maior possibilidade de cruzamento de dados; além do potencial comprovado por diversos autores (Martini *et al.*, 2006; Duan *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2007; Londe *et al.*, 2007; Zhengjun *et al.*, 2008, Hunter *et al.*, 2008) da utilização do sensoriamento remoto para identificação de parâmetros chaves na classificação trófica de corpos d'água, torna-se evidente que a utilização de sensoriamento remoto para avaliação de estado trófico é uma tendência que pode contribuir enormemente ao planejamento de programas de monitoramento de qualidade ambiental de corpos hídricos.

O título desta dissertação é “*Avaliação do Estado Trófico do Reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS) através da aplicação de Sensoriamento Remoto*” e o seu objetivo geral foi avaliar o estado trófico do reservatório “Lago do Amor” por meio de sensoriamento remoto orbital, utilizando-se o parâmetro clorofila *a* como indicador.

Entretanto, seguindo as tendências mundiais, optou-se por elaborar a mesma em formato de artigos científicos. De modo que o objetivo geral da dissertação fosse atingido através da elaboração de dois artigos, com objetivos específicos diferentes.

O primeiro artigo é intitulado “*Classificação Trófica de Reservatórios utilizando Índices de Estado Trófico: Estudo de caso do Reservatório tropical raso Lago do Amor (Campo Grande, MS)*” e seus objetivos específicos foram: Avaliar o estado trófico através de Índices e a sensibilidade desta classificação trófica às principais mudanças temporais das características limnológicas do “Lago do Amor”.

O segundo artigo é intitulado “*Uso do Sensor CBERS/CCD na Avaliação do Estado Trófico do Reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS)*” e seus objetivos específicos foram: Avaliar o estado trófico do reservatório “Lago do Amor” por meio de sensoriamento remoto orbital, utilizando-se o satélite CBERS sensor CCD e o parâmetro clorofila *a* como indicador; Avaliar o uso do sensoriamento remoto como ferramenta de apoio ao diagnóstico de processos de eutrofização.

A seguir, são apresentados os dois artigos e, na sequência, a conclusão geral, onde são apresentadas as conclusões acerca do objetivo geral.

II - ARTIGOS CIENTÍFICOS

Os artigos estão apresentados seguindo o padrão de formatação proposto pela Revista Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (RESA, ABES, 2010) e as diretrizes para elaboração de dissertações do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da UFMS (PGTA, UFMS, 2007).

1 **CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DE RESERVATÓRIOS**
2 **UTILIZANDO ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO: ESTUDO DE**
3 **CASO DO RESERVATÓRIO TROPICAL RASO LAGO DO**
4 **AMOR (CAMPO GRANDE, MS)**

5
6 **Trophic state indexes for the classification of reservoirs: Case**
7 **study of the shallow tropical reservoir “Lago do Amor” (Campo**
8 **Grande, MS)**

9
10
11 LUIZA SPENGLER COELHO

12 Engenheira Ambiental (UFMS). Mestre em Tecnologias Ambientais (UFMS).

13
14
15 KENNEDY FRANCIS ROCHE

16 Doutor em Limnologia (Rijksuniversiteit te Gent). Professor da Universidade Federal de Mato
17 Grosso do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Hidráulica e
18 Transportes.

19
20
21 *Endereço para correspondência:*

22 *DHT/CCET/UFMS*

23 *Caixa Postal, 549*

24 *79070-900 Campo Grande – MS - Brasil*

25 *Tel: (67) 3345-7253*

26 *Fax: (67) 3345-7499*

27 *E-mail: luizascoelho@gmail.com*

28
29
30 **RESUMO**

31
32 Visando estimar o estado trófico do “Lago do Amor”, amostras de água foram coletadas
33 mensalmente, em um ponto na região limnética do reservatório, entre julho de 2005 e julho de
34 2009. Foram analisados os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, clorofila *a*, fósforo
35 total, sólidos em suspensão voláteis e transparência de secchi. O estado trófico foi estimado
36 através da aplicação do índice de estado trófico (IET) de Carlson (1977), modificado por
37 Toledo (1990) e índice de estado trófico de Lamparelli (2004). O início da amostragem
38 coincidiu com o começo da retirada das macrófitas (*Eichhornia crassipes*), que cobriam a
39 superfície do reservatório desde 2003. Os resultados dos índices de estado trófico
40 demonstraram as mudanças ecológicas ocorridas no reservatório no período de estudo. O IET
41 de Toledo (1990) foi preferido devido à maior concordância entre as classificações.

42
43 **ABSTRACT**

44
45 Seeking to estimate the trophic condition of the shallow tropical reservoir “Lago do Amor”,
46 sampling was performed monthly during four years (2005 – 2009), at a point in the limnetic
47 region of the reservoir. The water quality parameters analysed were: dissolved oxygen,
48 chlorophyll *a*, total phosphorus, volatile suspended solids, and Secchi disc transparency. The

49 trophic state was estimated through the trophic state indexes (TSI) of Carlson (1977),
50 modified by Toledo (1990) and of Lamparelli (2004). The beginning of the sampling program
51 coincided with the removal work of the macrophytes (*Eichhornia crassipes*) that covered the
52 reservoir's surface since 2003. It was verified that the results of the trophic state indexes
53 showed the ecological changes that have taken place in the reservoir during the study period.
54 The TSI of Toledo (1990) was preferred due to greater agreement between classifications.

55

56 **PALAVRAS-CHAVE:** estado trófico, reservatórios, índice de estado trófico

57

58 **KEY-WORDS:** trophic state, reservoirs, trophic state index

59

60 **TÍTULO RESUMIDO: Classificação trófica de reservatórios através de índices de**
61 **estado trófico: caso do “Lago do Amor”**

62

63

64 **INTRODUÇÃO**

65

66 Reservatórios são ecossistemas artificiais resultantes de modificações em rios, de
67 extrema importância estratégica, ecológica e econômica, uma vez que permitem usos
68 múltiplos (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). No Brasil, o uso primário de reservatórios é
69 para armazenamento e abastecimento de água, outros usos secundários são para geração de
70 energia, irrigação, piscicultura, navegação, recreação e descarga de efluentes (Calijuri &
71 Oliveira, 2000).

72 Os reservatórios são parte integrante das bacias hidrográficas, de modo que as
73 interações entre esses sistemas são fundamentais (Calijuri & Oliveira, 2000). Portanto, dentro
74 do contexto atual de pressão de consumo, deterioração dos recursos hídricos, e massificação
75 das atividades antropogênicas, o estudo básico dos reservatórios é essencial para fornecer as
76 bases científicas para o planejamento e implantação de ações de gerenciamento e
77 monitoramento, de modo a assegurar os usos múltiplos (Calijuri & Tundisi, 1990; Calijuri &
78 Oliveira, 2000; Pinto-Coelho *et al.*, 2005; Bicudo *et al.*, 2006; Matsumura-Tundisi *et al.*,
79 2006; Tundisi *et al.*, 2006).

80 Segundo Toledo *et al.* (1983), entre os diversos processos que podem comprometer a
81 qualidade da água dos corpos hídricos, a eutrofização é um dos mais importantes. Este
82 fenômeno consiste no enriquecimento do meio aquático por nutrientes, ocasionando o
83 excessivo crescimento de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto macrófitas, em níveis
84 que podem interferir nos usos desejáveis da água. O processo pode ocorrer devido a causas
85 naturais e nesse caso é lento e se desenvolve ao longo de décadas ou séculos, por outro lado,
86 pode ser decorrente das atividades humanas e ser um processo rápido e de alta intensidade,
87 chamado de eutrofização artificial ou cultural (Esteves, 1998).

88 As principais causas da eutrofização artificial estão relacionadas com as entradas de
89 águas residuárias domésticas e industriais, a drenagem superficial, a contribuição de águas
90 subterrâneas e de fertilizantes utilizados na agricultura, outras causas são erosão do solo e uso
91 excessivo de detergentes não-biodegradáveis (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008).

92 Segundo Smith & Schindler (2009) a eutrofização artificial é o principal problema dos
93 ecossistemas aquáticos continentais, afetando corpos d'água do Ártico a Antártica. E é um
94 dos exemplos mais visíveis das mudanças provocadas pelo homem na biosfera, produzindo
95 inúmeros efeitos indesejáveis, grandes custos econômicos e implicações transnacionais.
96 Segundo Duan *et al.* (2007) a eutrofização é o maior problema de qualidade da água da China
97 e de muitos países. Lamparelli (2004) conclui que a eutrofização é responsável por uma
98 parcela considerável da toxicidade aguda registrada em reservatórios do Estado de São Paulo,

99 seja através da presença de algas tóxicas, ou, de modo indireto, através da aplicação de sulfato
100 de cobre utilizado para controlar o crescimento algal.

101 Nogueira (1991), Esteves (1998) e Von Sperling (2005) discutiram os principais
102 problemas causados pelos efeitos da eutrofização: mortandade de peixes, maior dificuldade e
103 elevação nos custos de tratamento da água, problemas com o abastecimento industrial,
104 toxicidade das algas (especialmente das cianobactérias), modificações na qualidade e
105 quantidade de peixes de valor comercial, redução na navegação e capacidade de transporte,
106 desaparecimento gradual do corpo d'água como um todo. Segundo Smith & Schindler (2009)
107 existem relações diretas entre a eutrofização e o risco de doenças de veiculação hídrica.
108 Assim, o gerenciamento de corpos d'água de forma preventiva a ocorrência da eutrofização é
109 altamente aconselhado, já que previne os custos necessários para a futura recuperação da
110 qualidade ambiental do corpo hídrico.

111 A classificação do estado trófico envolve o estabelecimento de níveis ou limites
112 baseados no grau ou intensidade do processo de eutrofização e das suas conseqüências
113 (Toledo *et al.*, 1983). A tarefa de estabelecer tais níveis pode ser largamente subjetiva, eis
114 que surge a necessidade da padronização de parâmetros e modelos adequados para tal
115 avaliação, principalmente através da regionalização de métodos de classificação de estado
116 trófico (Sass *et al.*, 2007).

117 Lamparelli (2004) afirma que vários trabalhos estabelecem a concentração de clorofila *a*
118 como variável prioritária no estabelecimento da avaliação do estado trófico, por ser a
119 expressão direta e biológica da disponibilidade de nutrientes e outros fatores ambientais.
120 Segundo Calijuri & Oliveira (2000), os diversos critérios utilizados para a determinação do
121 estado trófico de um ecossistema são condições de oxigênio dissolvido, transparência da água,
122 composição de espécies da fauna bentônica ou do fitoplâncton, concentração de nutrientes e
123 várias medidas de biomassa ou produção primária do sistema, como concentração de clorofila
124 *a*. Apesar de existirem outros tipos de clorofila, como *b*, *c* e *d*, a clorofila *a* é a mais utilizada
125 para indicação de estado trófico por ser dominante em todas as algas eucariontes e
126 cianobactérias (Lamparelli, 2004).

127 Observa-se então que o conceito de estado trófico é multidimensional, assim os
128 indicadores tróficos para lagos e reservatórios devem incluir variáveis físicas, químicas e
129 biológicas. Lee e Jones-Lee (1998) ressaltam que a área de superfície coberta por macrófitas
130 em um reservatório é um dos parâmetros que deveriam ser inclusos na avaliação de estado
131 trófico, porém ainda existe pouco entendimento da relação entre carga de nutrientes e
132 infestação por macrófitas aquáticas. Contudo, ressalta-se que a regionalização é fundamental,
133 pois os fatores que mais influenciam a produtividade primária são teoricamente distintos para
134 lagos temperados e tropicais (Lamparelli, 2004). Segundo Lewis (1987, apud Lamparelli
135 2004, p. 122) o principal fator que controla a produtividade em lagos temperados é a
136 temperatura, enquanto nos lagos tropicais é a disponibilidade de nutrientes. Salas e Martino
137 (2001) definiram lagos tropicais como ambientes com temperaturas mínimas de 10°C e
138 valores médios anuais de temperatura superiores a 15°C.

139 Em geral, as abordagens para classificação trófica de ambientes aquáticos podem ser
140 divididas em dois principais grupos: os esquemas simplificados e os índices de estado trófico
141 (IET). A classificação do estado trófico objetiva agrupar os ambientes aquáticos em categorias
142 como oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos, segundo suas características
143 semelhantes, funcionando como uma referência (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008).

144 Nos esquemas simplificados, comumente apresentados na forma de tabelas, cada classe
145 de trofia é representada por uma faixa de valores de uma variável, em geral, três variáveis são
146 adotadas: clorofila *a*, transparência (Disco de Secchi) e fósforo total. Entretanto, cada variável
147 é considerada separadamente, de modo que podem ser gerados três resultados diferentes de
148 classificação.

149 Os índices de estado trófico (IET) são calculados através de equações que utilizam
150 como entrada os seguintes parâmetros: clorofila *a*, transparência (Disco de Secchi) e fósforo
151 total (Toledo *et al.*, 1983), gerando como resultado um único valor numérico, ao qual uma
152 classe trófica é associada. Assim, ressalta-se que os índices não levam em consideração a
153 existência de macrófitas aquáticas, cujo crescimento excessivo também está associado a
154 ambientes eutrofizados.

155 A importância da classificação trófica de ambientes aquáticos reside no fato de que o
156 estabelecimento de critérios, numéricos ou normativos, auxilia no estabelecimento de
157 políticas de gerenciamento de corpos d'água, (Lamparelli, 2004). Segundo a Agência de
158 Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2000, apud Lamparelli, 2004) os critérios
159 numéricos têm como vantagens o fato de serem objetivos e de mais fácil acompanhamento em
160 programas de recuperação da qualidade das águas.

161 Segundo relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2006)
162 os índices e indicadores ambientais nasceram como resultado da crescente preocupação social
163 com os aspectos ambientais do desenvolvimento, processo que requer um número elevado de
164 informações em graus de complexidade cada vez maiores, assim, os indicadores tornaram-se
165 fundamentais no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus
166 efeitos. O que motiva um desafio permanente de gerar indicadores e índices que tratem um
167 número cada vez maior de informações, de forma sistemática e acessível para os tomadores de
168 decisão. A utilização de índices de estado trófico é uma tendência dos órgãos públicos para
169 subsídio à tomada de decisão pelos diretores e prestação de contas com a população, contudo,
170 ainda existem poucos estudos no Brasil compilando as informações referentes ao tema, e
171 analisando as possíveis respostas dos índices às variações limnológicas do sistema, e até
172 mesmo propondo a inclusão de mais parâmetros.

173 O objetivo deste estudo é avaliar o estado trófico do reservatório “Lago do Amor”
174 através da utilização do índice de estado trófico de Carlson (1977), modificado por Toledo
175 (1990) e do índice de estado trófico de Lamparelli (2004), também conhecido como IET
176 CETESB. Os resultados da aplicação dos índices de estado trófico na classificação do
177 reservatório foram comparados, visando fornecer subsídios para melhor adequação das
178 aplicações práticas desses índices, e avaliar a sensibilidade dos mesmos às mudanças
179 temporais das características limnológicas do reservatório ocorridas entre julho de 2005 e
180 julho de 2009.

181 Um aspecto interessante deste trabalho é o fato do alvo de estudo ser um lago tropical
182 raso, com profundidade máxima inferior a 5 metros. Esse tipo de ambiente tem sido um
183 tópico muito discutido na limnologia atualmente e estudos demonstram que a reposta desses
184 sistemas à eutrofização costuma ser catastrófica, particularmente em função da intensa
185 interação água-sedimento e maior ciclagem de nutrientes (Lampert & Sommer, 1997 apud
186 Bicudo *et al.*, 2006, p. 415; Lamparelli, 2004).

187 188 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

189
190 Devido ao seu caráter sintético e simplificado, os índices de estado trófico são
191 usualmente preferidos em estratégias de manejo, pois são usados para simplificar fenômenos
192 complexos, o que decorre do fato de que um índice reduz um determinado fenômeno a uma
193 única dimensão a partir da medida de uma série de variáveis.

194 O índice de estado trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em
195 diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por
196 nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas (CETESB, 2006).
197 Assim, têm-se que através da sua forma de cálculo e parâmetros de entrada, os IETs
198 representam a média das principais expressões físicas, químicas e biológicas do conceito de

199 estado trófico, sendo a transparência da água a variável física, clorofila *a* a variável biológica
200 e as concentrações de fósforo total a variável química (Bicudo *et al.*, 2006). Nos IETs, os
201 resultados correspondentes ao fósforo, IET(PT), devem ser entendidos como uma medida do
202 potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo.
203 Enquanto a avaliação correspondente à clorofila *a*, IET(CL), deve ser considerada como uma
204 medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador. Assim, o índice médio engloba a
205 causa e o efeito do processo de eutrofização (CETESB, 2006).

206 O trabalho de Carlson (1977) foi o pioneiro, sugerindo o método dos índices, que até
207 hoje é um dos mais aceitáveis para a avaliação da eutrofização de águas continentais (Duan *et al.*,
208 2007). Todavia, devido às diferenças de localização geográfica, que geram diferenças na
209 dinâmica destes ambientes, diversos autores propuseram índices de estado trófico adaptados a
210 sua região. Em 1981, Aizaki *et al.*, propuseram um índice de Carlson modificado para lagos
211 japoneses. Em seguida, Shu (1990, 1993) investigou 24 lagos chineses e propôs um método
212 de avaliação da eutrofização de lagos chineses baseado no índice modificado de Aizaki. Em
213 2006, Yoshiaki fez nova tentativa propondo mais um índice modificado para lagos Japoneses.

214 No Brasil, o índice clássico introduzido por Carlson (1977) foi modificado por Toledo
215 *et al.* (1983) e Toledo (1990), que alteraram as expressões originais para adequá-las à
216 realidade de ambientes subtropicais. Em 2004, usando dados de 34 reservatórios do Estado de
217 São Paulo, Lamparelli propôs um novo índice de estado trófico para ambientes lênticos, que
218 atualmente, é utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) como
219 componente do IVA (Índice de Proteção da Vida Aquática) no monitoramento das 22
220 UGRHIs - Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos em que se divide o Estado de
221 São Paulo (CETESB, 2010) e chamado de IET CETESB.

222 No caso do índice modificado por Toledo (1990) a faixa de concentração de clorofila *a*
223 para a classe eutrófica vai de 10,4 a 76,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, ou seja, segundo este critério um ambiente
224 com concentrações médias de clorofila *a* de 11 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e outro com 75 $\mu\text{g.L}^{-1}$ são colocados
225 dentro da mesma categoria (Lamparelli, 2004). Assim, com base em trabalhos realizados por
226 Piva-Bertolletti (2001), SEPA (1997), OECD (1982) e Dodds *et al.* (1998) e visando
227 aumentar a sensibilidade da classificação, Lamparelli propôs a divisão da classe eutrófica em
228 duas classes: eutrófica e supereutrófica. O objetivo desta divisão foi permitir melhor
229 discriminação de ambientes em diferentes estágios do processo de eutrofização.

230 O uso de índices para a classificação regional de ecossistemas artificiais e naturais é um
231 recurso valioso para organizar o conhecimento sobre os mecanismos de funcionamento desses
232 sistemas e para o desenvolvimento de técnicas de manejo com bases comparativas (Calijuri &
233 Oliveira, 2000). Desde 1975, a CETESB (Companhia ambiental do Estado de São Paulo)
234 utiliza o Índice de Qualidade das Águas – IQA para o gerenciamento ambiental das 22
235 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

236 As principais vantagens do índice são a facilidade de comunicação com o público leigo,
237 o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas
238 variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única
239 unidade. Porém, sua principal desvantagem é a perda de informação das variáveis individuais
240 e da interação entre as mesmas, e a não consideração de outros parâmetros importantes que
241 também estão relacionados com a eutrofização, como a área de superfície coberta por
242 macrófitas. Assim, apesar dos índices fornecerem uma avaliação integrada, jamais poderão
243 substituir uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia
244 hidrográfica. Não obstante, outro fator positivo é que os índices podem ser aprimorados com
245 o tempo, através da supressão ou inclusão de variáveis de interesse (CETESB, 2006).

246 O conhecimento gerado a partir de investigações anuais é uma valiosa ferramenta para o
247 bom desenvolvimento de estratégias de manejo e controle de processos de eutrofização. A
248 existência de séries históricas de dados obtidos através de monitoramento, e sua interpretação

249 e compilação através de índices permitem uma melhor compreensão da variação temporal da
 250 qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, climáticos e hidrológicos,
 251 indicando prioridades para elaboração de ações de controle, fiscalização, investimentos ou de
 252 legislações específicas, que levem à proteção e/ou à melhoria da qualidade ambiental
 253 (Lamparelli, 2004).

254

255 MATERIAIS E METÓDOS

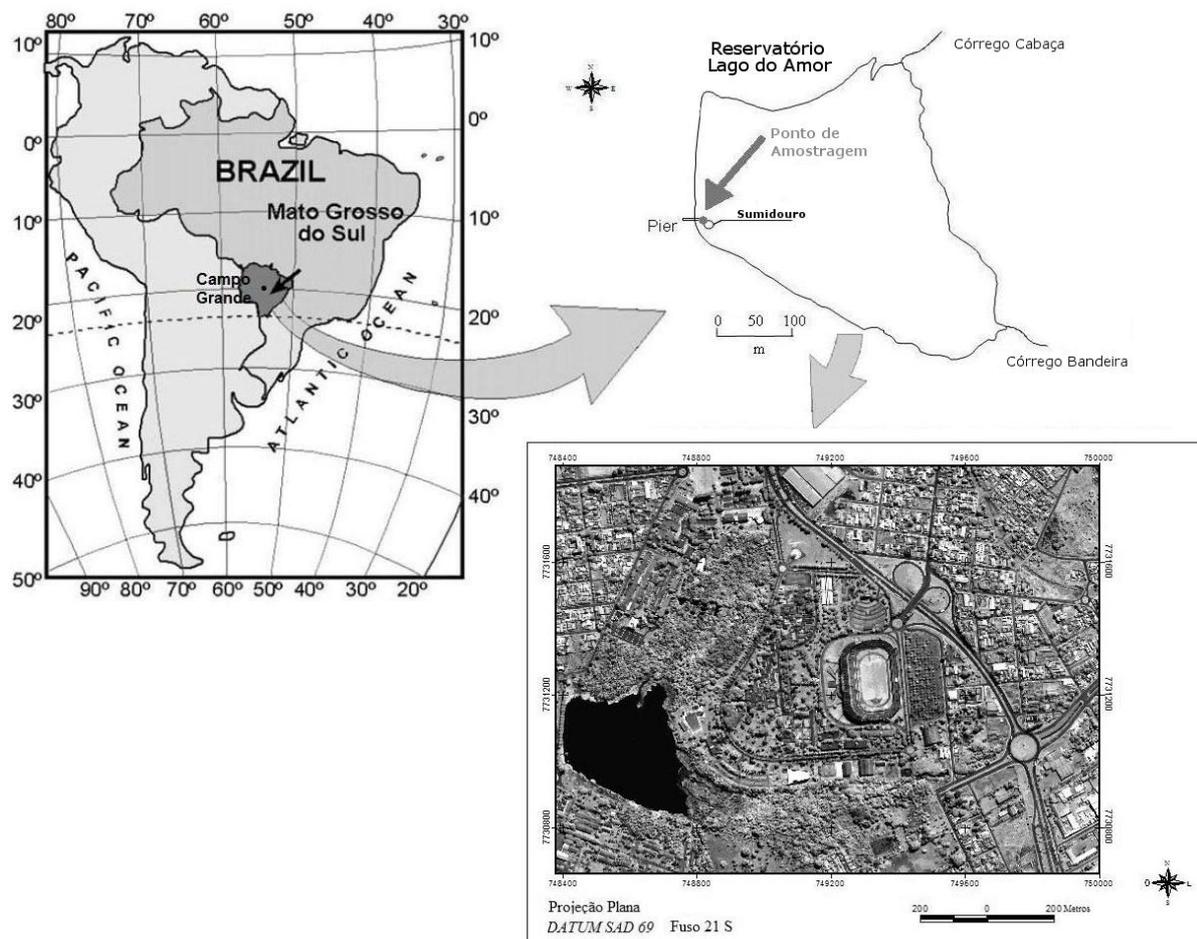
256

257 Área de estudo

258

259 A Bacia do Bandeira, que faz parte da bacia do rio Paraná, está inserida na zona urbana
 260 da cidade de Campo Grande, no estado de Mato Grosso do Sul. Esta microbacia, com uma
 261 área aproximada de 19,5 km² (PLANURB, 1997), é composta pelos córregos Bandeira e
 262 Cabaça e, no ponto de confluência destes, em 1968, foi construído o reservatório “Lago do
 263 Amor” (20°30’12.07’’S, 54°37’0.15’’W) (Figura 1). A finalidade primária da construção
 264 deste reservatório foi para armazenamento de água, conforme demonstra o seu tamanho
 265 pequeno, profundidade rasa e saída de águas superficial (Tundisi & Matsumura-Tundisi,
 266 2008).

267



268

269 **Figura 12 - Localização do Lago do Amor.**

270

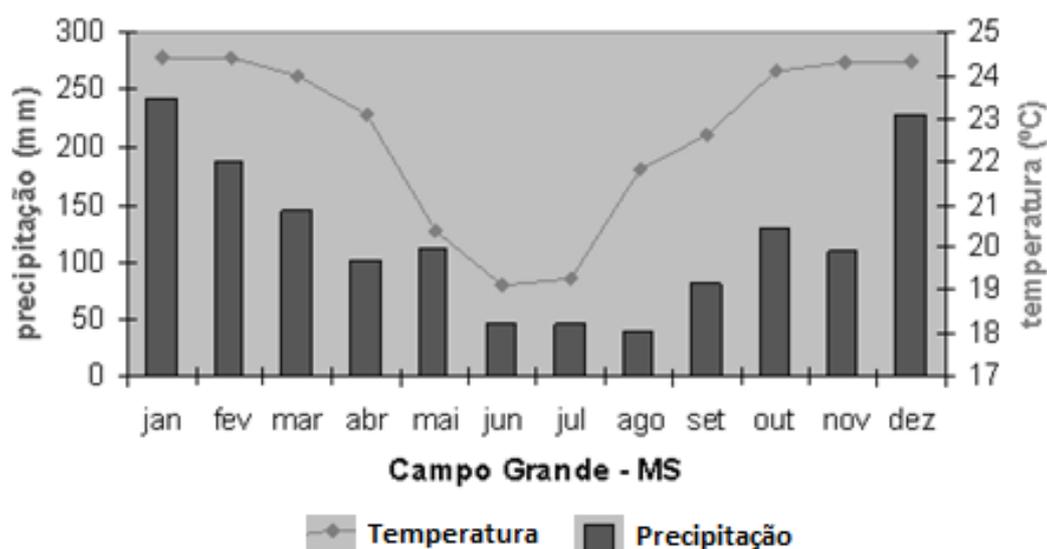
271 O “Lago do Amor” está situado dentro do campus da Universidade Federal de Mato
 272 Grosso do Sul (UFMS) e é parte integrante da sua Reserva Biológica - RBI/UFMS. O

273 reservatório tem forma trapezoidal, com área de aproximadamente 11 hectares, profundidade
 274 média de 2 metros, volume de cerca de 240.000 m³ e tempo de residência hidráulica em torno
 275 de 2 meses (CREA- RJ e CREA-MS, 2002).

276 Atualmente, por estar inserida em uma área urbanizada, toda a bacia de drenagem do
 277 “Lago do Amor” encontra-se em processo de deterioração ambiental e os córregos Bandeira e
 278 Cabaça recebem drenagem pluvial, efluentes domésticos e industriais. Diversos autores já
 279 demonstraram que o reservatório recebe diferentes tipos de efluentes, tanto de fontes pontuais
 280 como difusas, incluindo esgoto doméstico, e apresenta-se com altos graus de contaminação
 281 fecal (Toledo, 1988; Righi, 2003; Pitaluga, 2003; Oliveira, 2006).

282 A partir de 2003, o reservatório apresentou excessivo crescimento de macrófitas
 283 (*Eichhornia crassipes*), chegando a ter sua superfície totalmente coberta por vários meses;
 284 em junho de 2005 iniciaram-se os trabalhos de retirada desta vegetação, que foram
 285 completados em dezembro de 2005.

286 O clima de Campo Grande, segundo a classificação de Koppen, situa-se na faixa de
 287 transição entre o subtipo (Cfa) mesotérmico úmido sem estiagem, em que a temperatura do
 288 mês mais quente é superior a 22°C, tendo o mês mais seco cerca de 30 mm de chuvas e o tipo
 289 (Aw) tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Aproximadamente
 290 75% das chuvas ocorrem entre os meses de outubro e abril, quando a temperatura média
 291 oscila em torno de 24°C (PLANURB, 2007). A figura 2 apresenta as climatologias típicas de
 292 precipitação e temperatura anual de Campo Grande, MS.
 293



294

295 **Figura 13 - Climatologias de Precipitação e Temperatura de Campo Grande**
 296 **(adaptado de CPTEC/INPE, 2007).**

297

298 **Coleta de dados**

299

300 Entre julho de 2005 e julho de 2009, amostras foram coletadas mensalmente em um
 301 ponto de amostragem na região limnética do reservatório (figura 1), próximo ao seu
 302 sumidouro. As amostras de água foram coletadas usando uma garrafa de Van Dorn, retirando
 303 5 litros de cada uma das profundidades de 30% e 60% da coluna d'água, respectivamente, e
 304 depois misturando, formando amostras compostas que eram homogêneas antes de serem
 305 acondicionadas nos recipientes de coleta. Em cada data, eram coletadas 2 réplicas para análise
 306 da água. Os parâmetros analisados, e a técnica analítica utilizada, encontram-se listados na

307 Tabela 1. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental
308 (LAQUA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

309 A cobertura de macrófitas na superfície do reservatório, em porcentagem, era estimada
310 através de observação visual e com o auxílio de uma fotografia aérea do reservatório, utilizada
311 para fazer as anotações.

312 O início da amostragem em julho de 2005 coincidiu com o começo dos trabalhos de
313 retirada das macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*), que cobriam completamente a
314 superfície do reservatório de 2003 até então.

315 Devido à falta de equipamento específico, não foi possível coletar os valores da
316 Transparência de Secchi entre abril e outubro de 2007.

317

318 **Tabela 6- Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas.**

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotométrico, com extração usando etanol 80% a quente e posterior choque térmico (Nusch, 1980)	µg/L
Fósforo total	Espectrofotométrico (Cloreto estanhoso) c/ pré-digestão	mg P/L
Oxigênio dissolvido	Winkler, Azida modificada	mg/L
pH	Potenciométrico	-
Sólidos em suspensão voláteis	Método Gravimétrico. Filtragem da amostra com filtros GF-I-47 mm. (Secagem dos filtros por uma hora a 105°C para resíduos totais e a 550°C por 20 minutos para resíduos fixos, e pela diferença entre esses determinam-se os voláteis).	mg/L
Transparência de Secchi	Disco de Secchi	cm

319

320 **Análise dos dados**

321

322 As mudanças temporais das características limnológicas do reservatório foram
323 descritas através da análise conjunta dos parâmetros oxigênio dissolvido, sólidos suspensos
324 voláteis, cobertura de macrófitas, fósforo total e clorofila *a*, medidos ao longo do período de
325 amostragem.

326 O estado trófico foi estimado através da aplicação do índice de estado trófico de
327 Carlson (1977) modificado por Toledo (1990), e índice de estado trófico de Lamparelli
328 (2004), atualmente adotado pela CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
329 para o monitoramento dos corpos hídricos estaduais (CETESB, 2010).

330 O IET de Carlson modificado por Toledo (1990), o qual será referido como IET
331 Toledo, é composto por índices de estado trófico para os parâmetros: fósforo total - IET (PT),
332 clorofila *a* – IET (CL), e transparência - IET (S); segundo as seguintes equações (1), (2) e (3):

333

$$334 \text{ IET (CL)} = 10\{6 - [(2,04 - 0,695 \ln \text{CL}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (1)}$$

$$335 \text{ IET (PT)} = 10\{6 - [\ln (80,32 / \text{PT}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (2)}$$

$$336 \text{ IET (S)} = 10\{6 - [(0,64 + \ln \text{S}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (3)}$$

337

338 Em que: CL = concentração de clorofila *a*, em µgramas/Litro;

339 PT = concentração de fósforo total, em µgramas/Litro;

340 S = Transparência da água (Secchi), em metros.

341

342 O IET de Lamparelli (2004), o qual será referido como IET CETESB, assim como os
 343 outros índices, também é composto por Índices de Estado Trófico para o fósforo total - IET
 344 (PT), para a clorofila a – IET (CL), e para a transparência - IET (S), segundo as seguintes
 345 equações (4), (5) e (6):

346
 347
$$\text{IET (CL)} = 10\{6 - [(0,92 - 0,34 \ln \text{CL}) / \ln 2]\}$$
 equação (4)

348
$$\text{IET (PT)} = 10\{6 - [(1,77 - 0,42 \ln \text{PT}) / \ln 2]\}$$
 equação (5)

349
$$\text{IET (S)} = 10\{6 - [(\ln \text{S}) / \ln 2]\}$$
 equação (6)

350

351 Em que: CL = concentração de clorofila a, em µgramas/Litro;

352 PT = concentração de fósforo total, em µgramas/Litro;

353 S = Transparência da água (Secchi), em metros.

354

355 Os Índices calculados para cada parâmetro podem ser analisados separadamente, ou
 356 em conjunto através do cálculo da sua média aritmética. Um grande problema na aplicação
 357 do IET de transparência da água (profundidade de Secchi) - IET(S) é a influência da
 358 turbidez, causada, por exemplo, pela argila e outros sedimentos inorgânicos e orgânicos; isto
 359 é um fenômeno especialmente comum nas regiões tropicais e em ambientes rasos (Toledo *et*
 360 *al.*, 1983; Hart, 1986; Lamparelli, 2004), assim a utilização deste índice deve ser considerada
 361 apenas como uma referência aproximada.

362 Portanto, no IET médio adotado neste trabalho será desconsiderado o parâmetro
 363 transparência, isto é, os valores do IET(S) e o mesmo consistirá apenas na média aritmética
 364 dos IET(PT) e IET(CL) conforme a seguinte equação (7):

365

366
$$\text{IET médio} = [\text{IET(PT)} + \text{IET(CL)}] / 2$$
 equação (7)

367

368 As tabelas 2 e 3 resumem os limites para os diferentes níveis de estado trófico,
 369 segundo cada sistema de classificação proposto.

370

371 **Tabela 7- Limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de**
 372 **classificação proposto por Toledo (1990, apud Lamparelli, 2004, p. 35).**

Critério	Classe de Trofia	Transparência (m)	Fósforo total (mg.L ⁻¹)	Clorofila a (µg.L ⁻¹)
IET ≤ 24	Ultraoligotrófico	≥ 7,8	≤ 0,006	≤ 0,51
24 < IET ≤ 44	Oligotrófico	7,7 – 2,0	0,007 – 0,026	0,52 – 3,81
44 < IET ≤ 54	Mesotrófico	1,9 – 1,0	0,027 – 0,052	3,82 – 10,34
54 < IET ≤ 74	Eutrófico	0,9 – 0,3	0,053 – 0,211	10,35 – 76,06
IET > 74	Hipereutrófico	< 0,3	> 0,211	> 76,06

373

374 **Tabela 8 - Limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de**
 375 **classificação proposto por Lamparelli (2004).**

Critério	Classe de Trofia	Transparência (m)	Fósforo total (mg.L ⁻¹)	Clorofila a (µg.L ⁻¹)
IET ≤ 47	Ultraoligotrófico	≥ 2,4	≤ 0,008	≤ 1,17
47 < IET ≤ 52	Oligotrófico	1,7 – 2,4	0,008 – 0,019	1,17 – 3,24
52 < IET ≤ 59	Mesotrófico	1,1 – 1,7	0,019 – 0,052	3,24 – 11,03
59 < IET ≤ 63	Eutrófico	0,8 – 1,1	0,052 – 0,120	11,03 – 30,55
63 < IET ≤ 67	Supereutrófico	0,6 – 0,8	0,120 – 0,233	30,55 – 69,05
IET > 67	Hipereutrófico	< 0,6	> 0,233	> 69,05

376

377 As classificações de trofia do reservatório obtidas separadamente pelo IET(CL) e pelo
 378 IET(PT) foram comparadas para avaliar o grau de limitação de produtividade do fitoplâncton.
 379 Quando ambos os índices classificam o ambiente na mesma classe trófica, o grau de limitação
 380 é “normal”. Quando o IET(PT) classifica o ambiente em classe superior à obtida através do
 381 IET(CL), isso indica que há algum fator limitante reduzindo a produtividade das algas, assim
 382 o grau de limitação é considerado “alto”. No caso contrário, quando o IET(CL) classifica o
 383 ambiente em um estágio mais avançado de trofia do que o obtido pelo IET(PT), o grau de
 384 limitação é “baixo”, ou seja, existem condições favoráveis para a produtividade primária,
 385 considerando a disponibilidade de nutrientes (Lamparelli, 2004).

386 Os resultados da aplicação dos IETs para a classificação do reservatório foram
 387 comparados entre si, visando fornecer subsídios para melhor adequação das aplicações
 388 práticas desses índices, e avaliar a sensibilidade dos mesmos às mudanças temporais das
 389 características limnológicas do sistema.

390

391 RESULTADOS E DISCUSSÃO

392

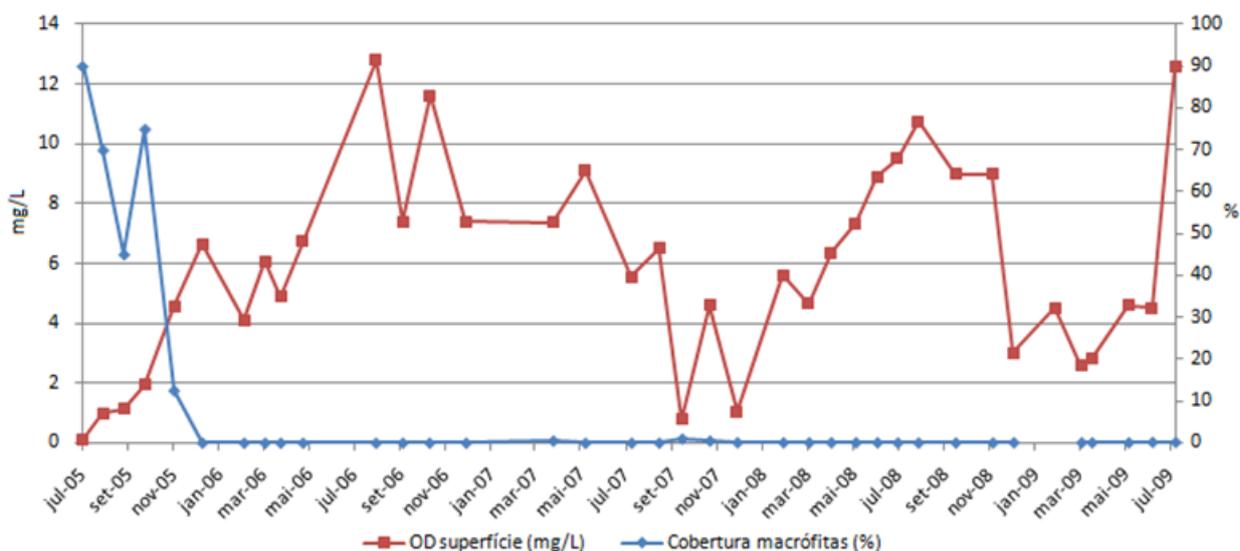
393 Mudanças temporais das características limnológicas do reservatório

394

395 A remoção das macrófitas, que ocorreu através de trabalhos manuais e mecânicos no
 396 período de julho a dezembro de 2005, causou impactos ecológicos no ambiente aquático do
 397 reservatório, conforme demonstram as variações que ocorreram com os parâmetros oxigênio
 398 dissolvido, transparência, pH, clorofila *a* e sólidos suspensos voláteis, descritas abaixo.

399 Foi registrada uma relação inversa entre a cobertura de macrófitas e a concentração de
 400 oxigênio dissolvido na superfície do reservatório (figura 3).

401



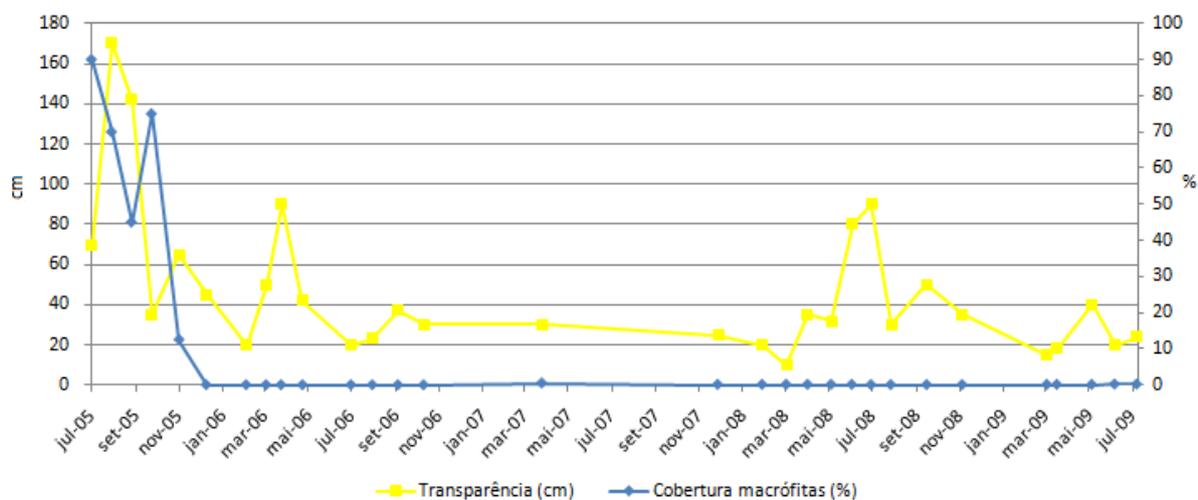
402

403 **Figura 14 - Relação entre as concentrações de oxigênio dissolvido na superfície do**
 404 **reservatório e a cobertura de macrófitas.**

405

406 Quando a superfície do reservatório encontrava-se quase completamente coberta de
 407 macrófitas (90%), praticamente não havia oxigênio dissolvido na água (0,12 mg/L), e
 408 conforme as macrófitas foram retiradas, a concentração de oxigênio dissolvido aumentou.
 409 Relação contrária foi notada entre a cobertura de macrófitas e a transparência da água (figura
 410 4) e o pH da superfície (figura 5).

411

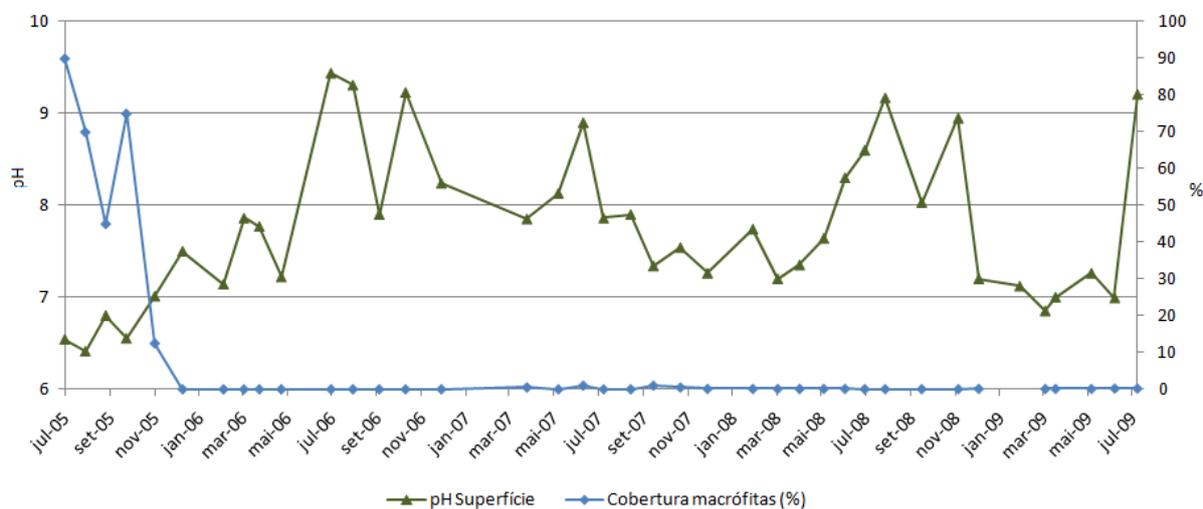


412

413

Figura 15 - Relação entre a transparência da água e a cobertura de macrófitas.

414



415

416

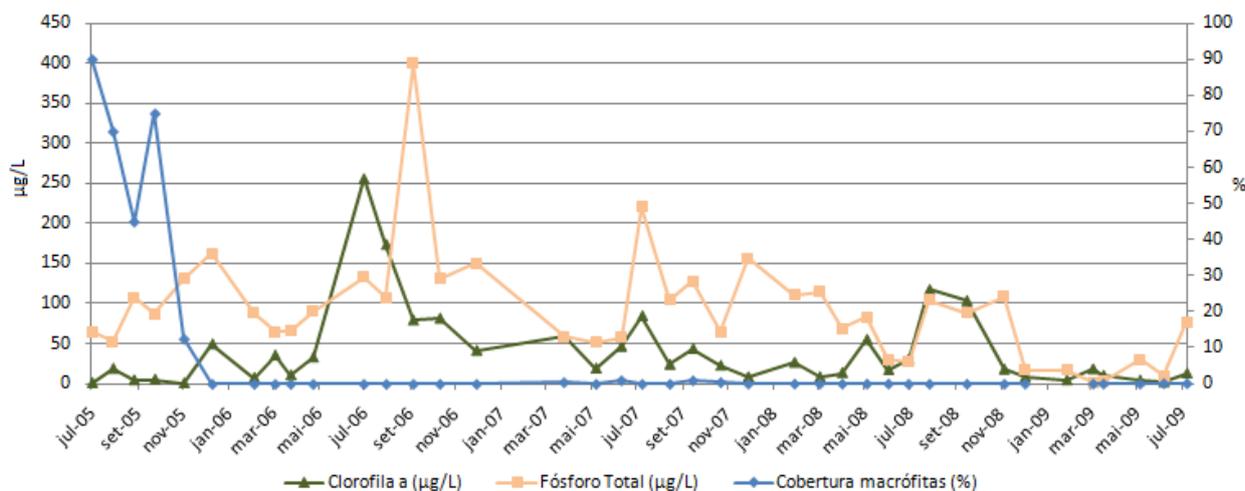
Figura 5 – Relação entre pH superfície e cobertura de macrófitas no reservatório.

417

418 As concentrações de clorofila *a* indicaram uma relação inversa com a cobertura de
419 macrófitas, sendo constatada a ocorrência de concentrações mais altas após novembro de
420 2005 (figura 6).

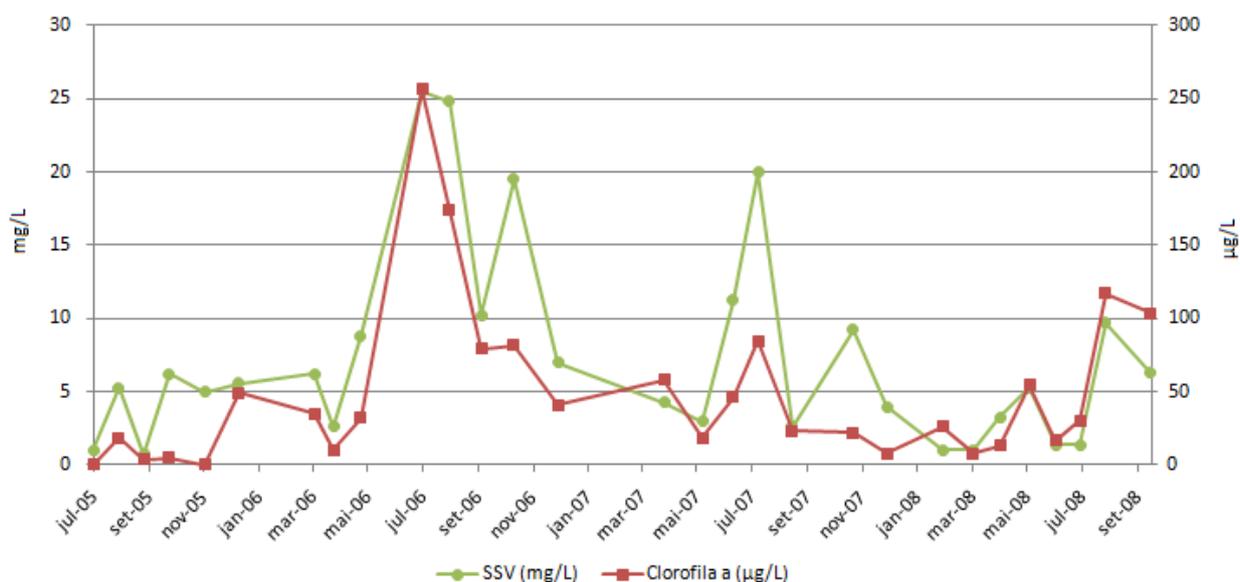
421 Foi registrado o padrão de dominância de macrófitas na parte inicial do estudo, e
422 dominância de algas na parte final. O crescimento das algas é inibido pelas macrófitas, via
423 concorrência para nutrientes, via sombreamento, via a diminuição de turbulência, e via a
424 produção de alleloquímicos (Van Donk & Van der Bund, 2002), assim a remoção de
425 macrófitas pode incentivar o crescimento de algas, portanto, o crescimento de cianobactérias
426 (Bicudo *et al.*, 2006).

427 Após a remoção das macrófitas ocorreram diversos episódios de floração de algas,
428 estes podem ser facilmente identificados pelos picos de clorofila *a*, pH, oxigênio dissolvido e
429 de sólidos suspensos voláteis (SSV) (figuras 5, 6 e 7).



430
431
432
433

Figura 6 - Relação entre valores de clorofila *a*, fósforo total e a cobertura de macrófitas no reservatório.



434
435
436
437
438
439

Figura 7 - Concentrações de clorofila *a* e sólidos suspensos voláteis (SSV) no reservatório.

Classificação Trófica

440 As tabelas 4 e 5 resumem os resultados da classificação trófica do reservatório para
441 cada data de amostragem pelo IET CETESB e IET Toledo. Observa-se que o IET CETESB
442 para o parâmetro transparência classificou o reservatório como hipereutrófico em
443 praticamente todas as datas (tabela 4). Enquanto para o IET Toledo (tabela 5) as classificações
444 do IET(S) foram mais concordantes com as classificações do IET(PT) e IET(CL). Esse fato
445 ocorreu porque para o IET CETESB valores de transparência menores que 30 cm já geram
446 resultados classificados como hipereutrófico, enquanto para o IET Toledo este limite é de 60
447 cm. Contudo, sabe-se que a transparência, especialmente em ambientes tropicais, é fortemente
448 afetada pela elevada turbidez decorrente do material inorgânico em suspensão (Bicudo *et al.*,
449 2006; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008), que por sua vez é comum no reservatório “Lago
450 do Amor”, já que o mesmo recebe aporte de drenagem pluvial e possui baixa profundidade, o
451 que facilita a ressuspensão de sedimento. Fato que reforça a não consideração do parâmetro

452 transparência no cálculo do IET médio neste trabalho, principalmente na estação das chuvas.
 453 Em corpos d'água situados em regiões com estações de seca e chuva bem definidas,
 454 provavelmente, o parâmetro transparência poderá ser considerado no IET médio na estação da
 455 seca.

456

457 **Tabela 9 – Resultados da Classificação Trófica pelo IET CETESB (Lamparelli,**
 458 **2004).**

Data	PT (µg/L)	IET(PT)	Classe	Cl-a (µg/L)	IET(CL)	Classe	S (cm)	IET(S)	Classe
11/07/05	64,85	60	eu	0,53	44	ultra	70	65	super
08/08/05	52,65	58	meso	18,50	61	eu	170	52	oligo
05/09/05	107,20	63	eu	3,85	53	meso	142	55	meso
03/10/05	86,70	62	eu	4,79	54	meso	35	75	hiper
11/11/05	131,00	64	super	0,12	36	ultra	65	66	super
19/12/05	162,15	65	super	49,14	66	super	45	72	hiper
13/02/06	88,00	62	eu	6,96	56	meso	20	83	hiper
13/03/06	64,50	60	eu	35,18	64	super	50	70	hiper
03/04/06	65,60	60	eu	10,15	58	meso	90	62	super
03/05/06	89,80	62	eu	32,41	64	super	42	73	hiper
10/07/06	132,50	64	super	256,19	74	hiper	20	83	hiper
09/08/06	107,50	66	super	173,91	72	hiper	23	81	hiper
14/09/06	400,25	73	hiper	79,09	68	hiper	37	74	hiper
20/10/06	130,50	64	super	81,47	68	hiper	30	77	hiper
08/12/06	150,00	65	super	41,03	65	super	-	-	-
04/04/07	58,50	59	meso	58,22	67	super	30	77	hiper
17/05/07	51,65	58	meso	18,65	61	eu	-	-	-
20/06/07	57,65	59	meso	46,00	66	super	-	-	-
18/07/07	220,50	69	hiper	84,46	68	hiper	-	-	-
24/08/07	104,00	63	eu	23,48	62	eu	-	-	-
24/09/07	127,83	64	super	43,41	65	super	-	-	-
31/10/07	64,67	60	eu	22,14	62	eu	-	-	-
07/12/07	156,50	65	super	7,70	57	meso	25	80	hiper
07/02/08	110,33	63	eu	25,95	63	eu	20	83	hiper
12/03/08	114,67	63	eu	8,04	57	meso	10	93	hiper
11/04/08	68,83	60	eu	13,02	59	meso	35	75	hiper
14/05/08	83,50	61	eu	54,80	66	super	32	76	hiper
12/06/08	30,33	55	meso	16,81	61	eu	80	63	eu
09/07/08	27,00	54	meso	30,10	63	eu	90	62	eu
06/08/08	104,33	63	eu	117,22	70	hiper	30	77	hiper
25/09/08	88,50	62	eu	103,38	69	hiper	50	70	hiper
14/11/08	108,25	62	eu	17,50	70	hiper	35	75	hiper
12/12/08	17,05	67	super	7,75	61	eu	-	-	-
06/02/09	16,52	62	eu	3,75	60	eu	-	-	-
13/03/09	1,75	67	super	17,70	49	oligo	15	87	hiper
27/03/09	2,40	63	eu	9,75	51	oligo	18	85	hiper
15/05/09	30,31	61	eu	3,75	63	eu	40	73	hiper
16/06/09	9,65	63	eu	1,38	58	meso	20	83	hiper
17/07/09	77,29	61	eu	12,50	68	hiper	24	81	hiper

459 **Legenda:** PT – fósforo total, Cl-a – clorofila a, S – transparência, ultra – ultraoligotrófico,
 460 oligo – oligotrófico, meso – mesotrófico, eu – eutrófico, super – supereutrófico, hiper –
 461 hipereutrófico.

Tabela 10 - Resultados da Classificação Trófica pelo IET TOLEDO (Toledo, 1990).

Data	PT (µg/L)	IET(PT)	Classe	Cl-a (µg/L)	IET(CL)	Classe	S (cm)	IET(S)	Classe
11/07/05	64,85	57	eu	0,53	24	ultra	70	56	eu
08/08/05	52,65	54	meso	18,50	60	eu	170	43	oligo
05/09/05	107,20	64	eu	3,85	44	oligo	142	46	meso
03/10/05	86,70	61	eu	4,79	46	meso	35	66	eu
11/11/05	131,00	67	eu	0,12	9	ultra	65	57	eu
19/12/05	162,15	70	eu	49,14	70	eu	45	62	eu
13/02/06	88,00	61	eu	6,96	50	meso	20	74	eu
13/03/06	64,50	57	eu	35,18	66	eu	50	61	eu
03/04/06	65,60	57	eu	10,15	54	meso	90	52	meso
03/05/06	89,80	62	eu	32,41	65	eu	42	63	eu
10/07/06	132,50	67	eu	256,19	86	hiper	20	74	eu
09/08/06	107,50	72	eu	173,91	82	hiper	23	72	eu
14/09/06	400,25	88	hiper	79,09	74	eu	37	65	eu
20/10/06	130,50	67	eu	81,47	75	hiper	30	68	eu
08/12/06	150,00	69	eu	41,03	68	eu	-	-	-
04/04/07	58,50	55	eu	58,22	71	eu	30	68	eu
17/05/07	51,65	54	meso	18,65	60	eu	-	-	-
20/06/07	57,65	55	eu	46,00	69	eu	-	-	-
18/07/07	220,50	78	hiper	84,46	75	hiper	-	-	-
24/08/07	104,00	64	eu	23,48	62	eu	-	-	-
24/09/07	127,83	67	eu	43,41	68	eu	-	-	-
31/10/07	64,67	57	eu	22,14	62	eu	-	-	-
07/12/07	156,50	70	eu	7,70	51	meso	25	71	eu
07/02/08	110,33	65	eu	25,95	63	eu	20	74	eu
12/03/08	114,67	65	eu	8,04	51	meso	10	84	hiper
11/04/08	68,83	58	eu	13,02	56	eu	35	66	eu
14/05/08	83,50	61	eu	54,80	71	eu	32	67	eu
12/06/08	30,33	46	meso	16,81	59	eu	80	54	meso
09/07/08	27,00	44	oligo	30,10	65	eu	90	52	meso
06/08/08	104,33	64	eu	117,22	78	hiper	30	68	eu
25/09/08	88,50	61	eu	103,38	77	hiper	50	61	eu
14/11/08	108,25	63	eu	17,50	78	hiper	35	66	eu
12/12/08	17,05	74	eu	7,75	59	eu	-	-	-
06/02/09	16,52	61	eu	3,75	59	eu	-	-	-
13/03/09	1,75	74	eu	17,70	36	oligo	15	78	hiper
27/03/09	2,40	66	eu	9,75	39	oligo	18	76	hiper
15/05/09	30,31	60	eu	3,75	65	eu	40	64	eu
16/06/09	9,65	65	eu	1,38	53	meso	20	74	eu
17/07/09	77,29	60	eu	12,50	74	eu	24	71	eu

463 **Legenda:** PT – fósforo total, Cl-a – clorofila a, S – transparência, ultra – ultraoligotrófico,
464 oligo – oligotrófico, meso – mesotrófico, eu – eutrófico, super – supereutrófico, hiper –
465 hipereutrófico.

466

467 Constata-se que na aplicação do IET CETESB há um ligeiro aumento dos ambientes
468 classificados em maiores graus de trofia (tabela 6). Comparando as concordâncias entre as
469 classificações resultantes do IET(PT) e IET(CL) para cada índice, constata-se que para o IET
470 de Toledo as classificações foram concordantes em 43,6% das datas, enquanto o IET
471 CETESB obteve apenas 25,6% de concordância entre as classificações. Fato que contraria a

472 constatação de Lamparelli (2004) de que ocorreu aumento na ocorrência de concordância
 473 entre as classificações do ambiente através da clorofila *a* e fósforo total com a utilização dos
 474 seus novos índices.

475

476 **Tabela 11 - Comparação dos resultados da classificação do reservatório através da**
 477 **aplicação dos IETs de Toledo e CETESB.**

Classificação Trófica	IET(PT) (%)		IET(CL) (%)		IET(S) (%)	
	Toledo	CETESB	Toledo	CETESB	Toledo	CETESB
<i>Ultraoligotrófico</i>			5,2	5,2		
<i>Oligotrófico</i>	2,6		7,7	5,2	3,3	3,3
<i>Mesotrófico</i>	7,7	15,4	15,4	20,5	13,3	3,3
<i>Eutrófico</i>	84,6	53,8	53,8	25,6	63,4	6,7
<i>Supereutrófico</i>	-	25,6	-	20,5	-	10
<i>Hipereutrófico</i>	5,1	5,2	17,9	23	20	76,7

478

479 Observa-se nos resultado do IET Toledo e IET CETESB calculados para os
 480 parâmetros fósforo total e clorofila *a*, uma grande variação no IET(CL), sendo indicadas
 481 classificações do lago desde ultraoligotrófico e, no fim do período de estudo hipereutrófico,
 482 ao contrário das indicações de trofia pelo IET(PT) que variaram menos em suas classificações
 483 (figuras 8 e 9).

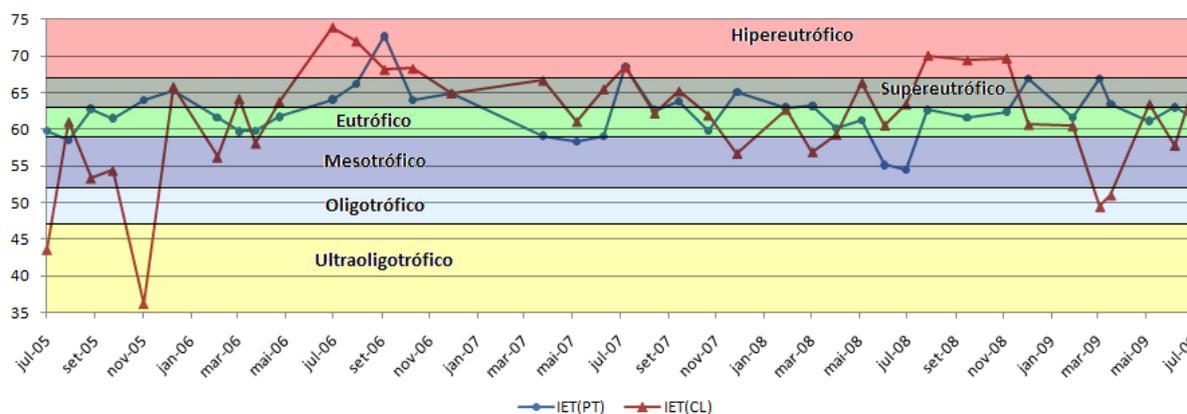
484 A dinâmica ecológica do fitoplâncton explica porque que o IET(CL) varia mais ao
 485 classificar um ambiente em graus de trofia ao longo do tempo do que o IET(PT). Enquanto,
 486 geralmente o aporte de fósforo a um reservatório não sofre grandes variações temporais, as
 487 populações de fitoplâncton (das quais são decorrentes as concentrações de clorofila *a* na água)
 488 estão sempre em mudança, seja proliferando, ou diminuindo, pois esses organismos são
 489 sensíveis a fatores ambientais como luz, temperatura e disponibilidade de nutrientes (Esteves,
 490 1998).

491 Analisando separadamente a classificação do reservatório pelos IET(PT) e IET(CL)
 492 (figuras 8 e 9), observa-se que: no período de dominância das macrófitas, caracterizado por
 493 baixa biomassa algal, o IET(CL) indicou o reservatório em classes de trofia menores do que o
 494 IET(PT); contudo no período de alta biomassa algal, houve inversão neste quadro e o
 495 IET(CL) indicou o reservatório em classes de trofia superiores do que o IET(PT). Deste
 496 modo, verifica-se que os índices demonstraram as mudanças ecológicas ocorridas no
 497 reservatório no período.

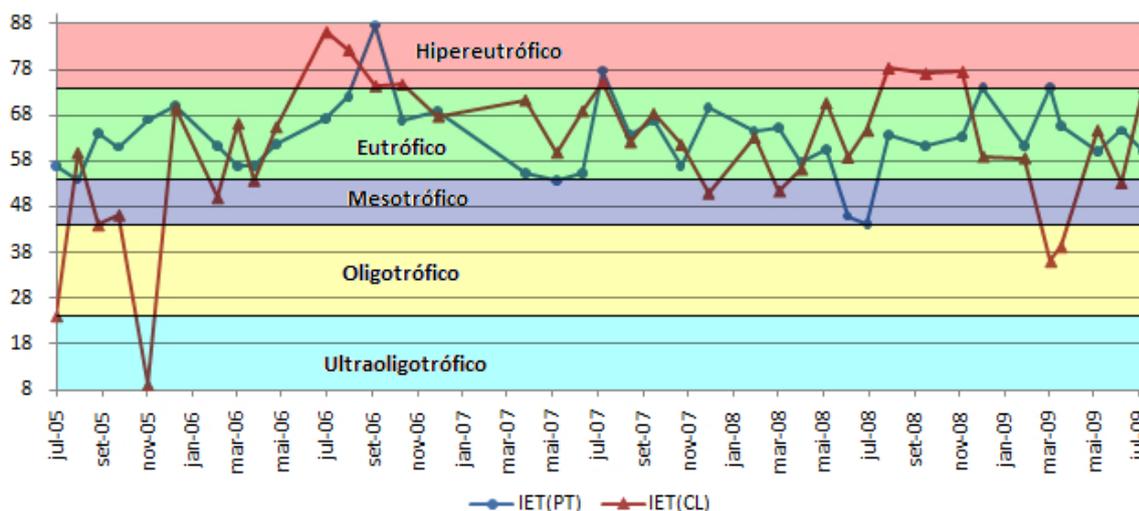
498 Comparando os valores dos IET CETESB médio com o histórico da cobertura de
 499 macrófitas na superfície do reservatório (figura 10), observa-se que o mesmo indicou estágios
 500 menos avançados de eutrofização para estágios mais avançados conforme a cobertura de
 501 macrófitas diminuiu. Essa mudança no estágio de eutrofização indicado está diretamente
 502 relacionada às concentrações de clorofila *a*, que aumentaram devido à maior biomassa algal,
 503 gerando concomitantemente resultados mais altos de classificação para o IET(CL), o que pode
 504 ser exemplificado pelas classificações de hipereutrófico registradas no reservatório durante os
 505 períodos de florações de algas (julho a setembro de 2006, julho de 2007 e setembro a
 506 novembro de 2008). Os resultados de classificação do IET Toledo médio também indicaram
 507 que o grau de trofia do reservatório aumentou conforme a cobertura de macrófitas diminuiu.

508 Contudo, ressalta-se que, apesar de não ser um dos parâmetros considerado no cálculo
 509 dos índices, o crescimento excessivo de macrófitas também é associado à eutrofização.
 510 Assim, apesar dos índices terem indicado aumento no grau de trofia isso ocorreu apenas

511 devido ao aumento na clorofila *a* que, por sua vez, é considerada no cálculo do índice, mas o
 512 reservatório já se encontrava eutrofizado, pois sua superfície estava coberta por macrófitas
 513 aquáticas desde 2003.
 514



515
 516 **Figura 8 – Variação mensal dos valores do IET CETESB para os parâmetros**
 517 **fósforo total - IET(PT) e clorofila *a* - IET(CL).**

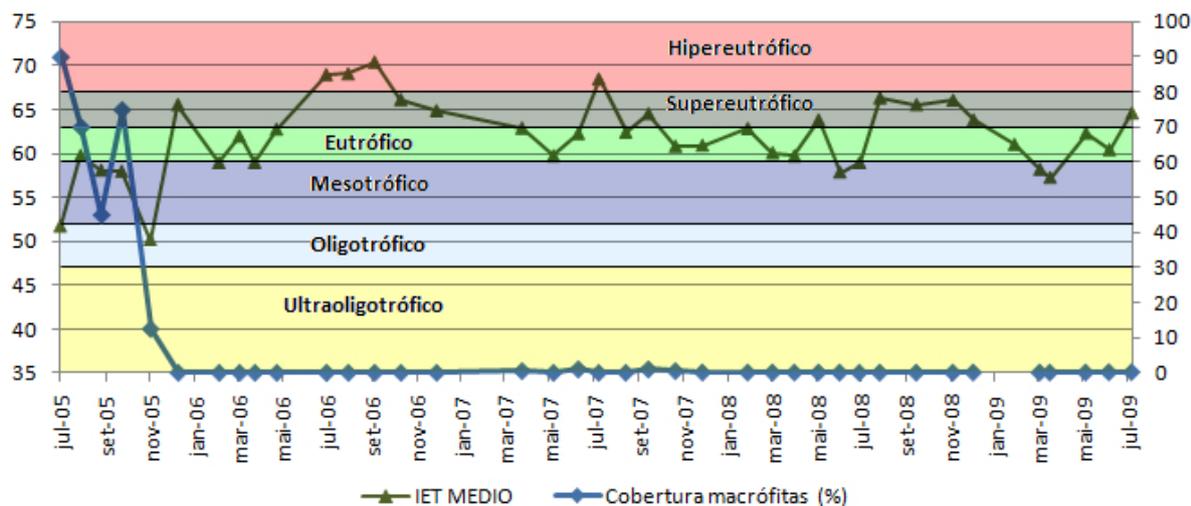


518
 519 **Figura 9 - Variação mensal dos valores do IET Toledo para os parâmetros fósforo**
 520 **total - IET(PT) e clorofila *a* - IET(CL).**
 521

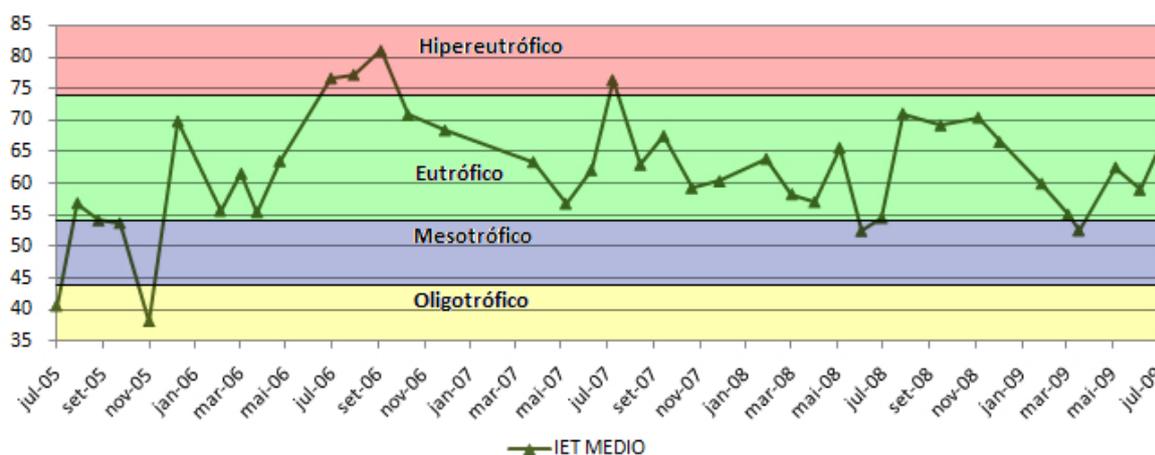
522 Os resultados dos IETs médios demonstram que o reservatório passou por breves
 523 períodos no qual foi indicado como hipereutrófico (figuras 10 e 11). Esses períodos
 524 coincidem com episódios de florações de algas. Toledo *et al.* (1983) considera que a classe
 525 hipereutrófica é aplicável somente a reservatórios excessivamente eutrofizados nos quais
 526 ocorram freqüentes florescimentos de algas.

527 O reservatório “Lago do Amor” enquadra-se na categoria reservatórios rasos (<30 m)
 528 de acordo com as definições de Straskraba & Tundisi (2000, apud Tundisi *et al.*, 2006, p.
 529 165). Esse tipo de reservatório é intensamente submetido aos efeitos de forças
 530 climatológicas e hidrológicas e sua limnologia é extremamente dependente destes processos.
 531 Conseqüentemente as respostas desses sistemas às cargas de nitrogênio e fósforo são
 532 dependentes destas flutuações representadas por pulsos de vento, precipitação e radiação
 533 solar (Tundisi *et al.*, 2006). Tem-se assim que o processo de eutrofização pode apresentar
 534 variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e
 535 outras nas quais pode ser mais limitado. As estações de seca e chuva, quando bem definidas,

536 podem influenciar muito o ecossistema aquático, gerando ambientes completamente
 537 diferentes em cada estação.
 538



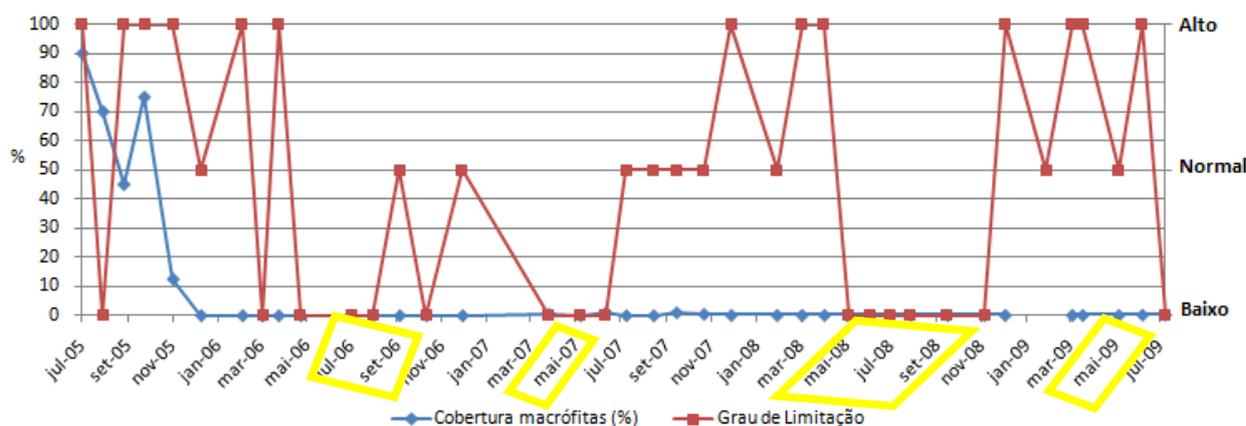
539
 540 **Figura 10 - Variação mensal do IET CETESB médio no reservatório e a cobertura**
 541 **de macrófitas.**
 542



543
 544 **Figura 11 - Variação mensal dos valores do IET Toledo médio.**
 545

546 Utilizando a diferença entre as classificações fornecidas pelo IET(PT) e o IET(CL)
 547 para avaliar o grau de limitação de produtividade do fitoplâncton (figura 12), constatou-se que
 548 enquanto o reservatório encontrava-se com sua superfície coberta de macrófitas, o grau de
 549 limitação era “alto”, e depois da remoção completa das mesmas, o grau de limitação diminuiu
 550 gradativamente passando a oscilar entre “normal” e “baixo” nos próximos meses, constatação
 551 esta que novamente demonstra que o crescimento das algas é inibido pelas macrófitas.
 552 Observa-se que nos meses em que ocorreram florações o grau de limitação foi classificado
 553 como baixo ou normal (figura 12).

554 Em um corpo hídrico, no qual o processo de eutrofização encontra-se plenamente
 555 estabelecido, o estado trófico determinado pelo IET(CL) certamente coincidirá com aquele
 556 determinado pelo IET(PT), assim, o grau de limitação será considerado “normal”. Já nos
 557 corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura
 558 da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila *a* irá refletir esse fato,
 559 classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice para o
 560 fósforo, então, o grau de limitação será “alto” (CETESB, 2006).



561
 562 **Figura 12 - Relação entre cobertura de macrófitas e grau de limitação (Usando**
 563 **IET CETESB). Os meses em que ocorreram florações de algas estão destacados em**
 564 **amarelo.**
 565

566 Conclui-se que foi possível classificar o reservatório “Lago do Amor” através da
 567 utilização dos índices de estado trófico de Toledo (1990) e Lamparelli (2004), este último
 568 referido como IET CETESB. A partir dos resultados encontrados, o IET Toledo foi preferido
 569 ante o IET CETESB para programas de monitoramento com divulgação pública dos
 570 resultados, devido à maior concordância entre as classificações, e ao menor número de
 571 classes, o que facilita a compreensão pelo público leigo. Contudo, para programas de
 572 monitoramento cujos resultados somente serão divulgados internamente para o corpo técnico,
 573 o IET CETESB é mais interessante devido à maior sensibilidade da classificação.

574 Os resultados numéricos dos índices e as suas correspondências em classes geram
 575 grande potencial para a utilização dessa ferramenta em programas de sensibilização da
 576 população aos problemas ambientais dos recursos hídricos. Para programas de
 577 monitoramento, o índice pode ser complementado com a determinação das comunidades
 578 aquáticas, como a fitoplânctonica, zooplânctonica e a bentônica, possibilitando diagnóstico
 579 importante e suficientemente abrangente para definir ações de controle e de gerenciamento
 580 ambiental (Lamparelli, 2004).

581 Os estudos de monitoramento da qualidade da água em reservatórios servem como
 582 subsídio para a formação de séries históricas, e podem fornecer resultados relevantes quando
 583 associados a outros estudos hidrológicos e limnológicos, e às condições do clima e do uso e
 584 ocupação do solo. Assim, conclui-se que o monitoramento, a avaliação temporal das variáveis
 585 limnológicas e a classificação trófica são essenciais para o diagnóstico da saúde do ambiente
 586 aquático, e consequente planejamento das medidas preventivas e corretivas para o controle da
 587 eutrofização.
 588

589 CONCLUSÕES

590
 591 Os resultados dos parâmetros analisados (oxigênio dissolvido, transparência, pH,
 592 clorofila *a* e sólidos suspensos voláteis) demonstram que a remoção das macrófitas, que
 593 ocorreu através de trabalhos manuais e mecânicos no período de julho a dezembro de 2005,
 594 causou impactos ecológicos no ambiente aquático do reservatório, apontando que o
 595 crescimento das algas estava inibido pelas macrófitas. Assim, foi registrado o padrão de
 596 dominância de macrófitas na parte inicial do estudo, e dominância de algas na parte final,
 597 com episódios de florações, que foram identificados pelos picos de clorofila *a*, oxigênio
 598 dissolvido, pH e sólidos suspensos voláteis. Baixas concentrações de oxigênio dissolvido e

599 altos valores de transparência da água e pH foram associados com a dominância das
600 macrófitas.

601 Comparando os resultados de trofia indicados pelos índices de estado trófico de
602 Toledo e CETESB para o reservatório, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- 603
604 1. As classificações obtidas para o IET(S) pelo IET de Toledo foram mais concordantes
605 com as classificações do IET(PT) e IET(CL), do que para o IET CETESB.
606
- 607 2. O IET CETESB obteve menor concordância entre as classificações resultantes do
608 IET(PT) e IET(CL) do que o IET de Toledo.
609
- 610 3. Na aplicação do IET CETESB ocorreu aumento dos ambientes classificados em
611 maiores graus de trofia.
612
- 613 4. Observa-se no resultado da classificação trófica por ambos os índices uma grande
614 variação temporal nas classificações obtidas pelo IET(CL), contrário ao resultado do
615 IET(PT) que variaram menos, fato que pode ser explicado pela dinâmica ecológica
616 das populações de fitoplâncton.
617
- 618 5. Os resultados dos IETs médios demonstram breves períodos no qual o reservatório
619 esteve no estágio hipereutrófico, os quais coincidem com episódios de florações de
620 algas.
621
- 622 6. Os índices de estado trófico demonstraram através dos seus resultados as mudanças
623 ecológicas ocorridas no reservatório ao longo do período de estudo.
624
- 625 7. Ambos os IETs indicaram que o grau de trofia do reservatório aumentou conforme a
626 cobertura de macrófitas diminuiu. Contudo, essa indicação não corresponde com a
627 realidade, já que a superfície coberta por macrófitas não é um dos parâmetros
628 considerados pelos índices, e está associada à eutrofização.
629
- 630 8. Enquanto o reservatório encontrava-se com sua superfície coberta de macrófitas o
631 grau de limitação era alto, e depois da remoção completa das mesmas o grau de
632 limitação passou a oscilar entre normal e baixo nos meses seguintes, constatação que
633 novamente demonstra que o crescimento das algas é inibido pelas macrófitas.
634
- 635 9. O IET Toledo é preferido ante o IET CETESB para programas de monitoramento com
636 divulgação pública dos resultados. O oposto ocorre para programas de monitoramento
637 cujos resultados somente serão divulgados internamente para o corpo técnico.
638

639 Conclui-se que o monitoramento, a avaliação temporal das variáveis limnológicas e a
640 classificação trófica são essenciais para o diagnóstico da saúde do ambiente aquático, e
641 consequente planejamento das medidas preventivas e corretivas para o controle da
642 eutrofização.

643 644 **REFERÊNCIAS**

645
646 AIZAKI, M.; IWAKUMA, T.; TAKAMURA, N. (1981) *Application of modified Carlson's*
647 *trophic state index to Japanese lakes and its relationship to other parameters related to*

- 648 *trophic state*. Report of Special Research Project of the National Institute for Environmental
649 Studies, 23, p. 13-31.
650
- 651 APHA; AWWA; WEF. (2005) Standard methods for the examination of water and
652 wastewater. 21th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
653
- 654 BICUDO, D. C.; FONSECA, B. M.; BICUDO, C. E. M.; BINI, L. M.; JESUS, T. A. (2006).
655 *Remoção de Eichhornia crassipes em um reservatório tropical raso e suas implicações na*
656 *classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Graças, São Paulo,*
657 *Brasil. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; GALLI, C.S. (Org.). Eutrofização*
658 *na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle. São*
659 *Carlos: ed. IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, 2006. p. 413–438.*
660
- 661 CALIJURI, M. C.; OLIVEIRA, H. T. (2000). *Manejo da qualidade da água: uma abordagem*
662 *metodológica. Em: CASTELLANO, E. G.; CHAUDHRY, F. H. (Ed.). Desenvolvimento*
663 *Sustentado: problemas e estratégias. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 39-58*
664
- 665 CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G. (1990). *Limnologia comparada das represas do lobo*
666 *(Broa) e Barra Bonita – Estado de São Paulo: Mecanismos de funcionamento e bases para o*
667 *gerenciamento. Rev. Brasil. Biol., Vol. 50, No 4, p. 893-913.*
668
- 669 CARLSON, R.E. (1977). *A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., n. 22, p. 361-*
670 *369.*
671
- 672 CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Índices para Rios e Reservatórios.
673 Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp>>. Acesso em: 07 fevereiro
674 2010.
675
- 676 CETESB. (2006). *Anexo V: Índices de qualidade das águas. Qualidade das águas interiores*
677 *no estado de São Paulo - Série Relatórios. São Paulo.*
678
- 679 CPTEC/INPE. Centro de Previsões de Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas
680 Espaciais. Clima: monitoramento Brasil. Figura: Climatologias de Precipitação e Temperatura
681 em Campo Grande, MS. Disponível em:
682 <http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_brasil.shtml>. Acesso em 20 set. 2007.
683
- 684 CREA- RJ & CREA-MS. (2002) *Carta Náutica do Lago do Amor. Campo Grande, MS.*
685
- 686 DODDS, W. K.; JONES, J. R.; WELCH, E. B. (1998). *Suggested classification of stream*
687 *trophic state: Distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and*
688 *phosphorus. Water Resources, 32 (3), p. 1455-1462.*
689
- 690 DUAN, H.; ZHANG, Y.; ZHANG, B.; SONG, K.; WANG, Z. (2007). *Assessment of*
691 *Chlorophyll-a Concentration and trophic state for lake Chagan using Landsat TM and field*
692 *Spectral Data. Environ Monit Assess , v. 129, p. 295-308.*
693
- 694 ESTEVES, F. A. (1998). *Fundamentos de limnologia. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência.*
695

- 696 HART, R.C. (1986). *Zooplankton abundance, community structure and dynamics in relation*
697 *to inorganic turbidity, and their implications for a potential fishery in subtropical Lake le*
698 *Roux, South Africa. Freshwater Biology, n. 16, p. 351-371.*
699
- 700 IBGE (2009) Município de Campo Grande. <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/>
701
- 702 LAMPARELLI, M. C. (2004). *Grau de trofia em corpos d'água do Estado do São Paulo:*
703 *Avaliação dos métodos de monitoramento.* São Paulo. 207 p. Tese (Doutorado em Ciências na
704 área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Departamento de Ecologia, Instituto de
705 Biociências da Universidade de São Paulo.
706
- 707 LEE, G. F. & JONES-LEE, A. (1998) *Comments on "National Strategy for the Development*
708 *of Regional Nutrient Criteria" Developed by the US EPA Office of Water, June 1998.*
709
- 710 MATSUMURA-TUNDISI, T.; LUZIA, A. P.; TUNDISI, J. G. (2006). *Estado Trófico dos*
711 *reservatórios em cascata do médio e baixo Tietê (SP) e manejo para o controle da*
712 *eutrofização. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; GALLI, C.S. (Org.).*
713 *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e*
714 *controle.* São Carlos: ed. IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, 2006. p. 413–438.
715
- 716 NOGUEIRA, V. P. Q. (1991). “*Qualidade da água em lagos e reservatórios*”, in *Hidrologia*
717 *Ambiental.* Org. Porto, M. *et al.*, p. 165–210
718
- 719 NUSCH, E. A. (1980). *Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment*
720 *determination.* *Arch. Hydrobiologie, v. 14, p. 14-36.*
721
- 722 OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT).
723 (1982). *Eutrophication of water: monitoring, assessment and control.* Paris: OECD.
724
- 725 OLIVEIRA, P. A. (2006). *Mudanças diárias na qualidade da água do reservatório “Lago do*
726 *Amor” (Campo Grande – MS).* Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
727 Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
728
- 729 PINTO-COELHO, R. M. *et al.* (2005) *Origens e Efeitos do Aporte Externo de Nutrientes em*
730 *um Reservatório Tropical de Grande Porte: Reservatório de São Simão (MG/GO).* *Em:*
731 *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascatas.*
732 NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). São Carlos: RiMa, 2005. p. 128-164.
733
- 734 PITALUGA, G. M. (2003). *Estudo comparativo entre a qualidade da água e a comunidade*
735 *zooplânctônica da represa “Lago do Amor” (CAMPO GRANDE, MS).* Dissertação (Mestrado
736 em Tecnologias Ambientais). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
737
- 738 PIVA-BERTOLLETTI, S. A. E. (2001). *Zooplâncton dos lagos do Parque Estadual das*
739 *Fontes do Ipiranga (SP) e relações entre espécies zooplânctônicas e estado trófico em corpos*
740 *d'água do Estadop de São Paulo.* Tese de Doutorado. FSP-USP. São Paulo, 253 p.
741
- 742 PLANURB – Instituto Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente. (2007). *Perfil*
743 *socioeconômico de Campo Grande 2007 - 2008.* 14º ed. rev. Campo Grande, PMCG.
744

- 745 RIGHI, K.O. (2003). *Utilização de macroinvertebrados na análise da qualidade da água: o*
746 *caso do Córrego Cabaça*. Monografia de Bacharelado em Biologia, Universidade Federal de
747 Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
- 748
- 749 SALAS, H. J.; MARTINO, P. (2001) *Metodologías simplificadas para evaluación de*
750 *eutroficação em lagos cálidos tropicales*. Relatório CEPIS.
- 751
- 752 SASS, G. Z.; CREED, I. F. .; BAYLEY, S. E.; DEVITO, K. J. (2007). *Understanding variation in*
753 *trophic status of lakes on the Boreal Plain: A 20 year retrospective using Landsat TM imagery.*
754 *Remote Sensing of Environment*, v. 109, p. 127–141.
- 755
- 756 SEPA (Scottish Environmental Protection Agency). (1997) *Total phosphorus Water Quality*
757 *Standards for Scottish Freshwater Lochs*. Version 1 – May 1997, Policy no. 16, 12 p.
- 758
- 759 SHU, J. H. (1990). Discussion of assessment methods of eutrophication in main lakes of China.
760 *Environmental Pollutions and Control*, 12 (5), 2-7.
- 761
- 762 SHU, J. H. (1993). Assessment of eutrophication in main lakes of China. *Oceanologia et*
763 *Limnologia Sinica*, 24 (6), 616-620.
- 764
- 765 SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. (2009). *Eutrophication science: where do we go from*
766 *here?. Trends in Ecology and Evolution*, v. 24, n. 4.
- 767
- 768 SPERLING, M. von. (2005). *Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos.*
769 Vol. 1. Belo Horizonte: DESA, UFMG.
- 770
- 771 TOLEDO JR., A. P. T. (1990). *Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um*
772 *índice para a avaliação do estado trófico de regiões quentes tropicais*. São Paulo, Companhia
773 de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 12 p. + 32 figs. (*Relatório Interno CETESB*).
- 774
- 775 TOLEDO JR., A. P. T.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J. & AGUDO, E. G. (1983) *A*
776 *aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e*
777 *reservatórios tropicais*. Em: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e*
778 *Ambiental*. ABES, Camboriú (SC). p. 22 -34.
- 779
- 780 TOLEDO, M.R.S. (1988). Análise microbiológica da água do Lago do Amor. Dissertação de
781 mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais) Universidade Federal de
782 Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
- 783
- 784 TOMAZ, P. (2006). *Poluição Difusa*. São Paulo, Navegar Editora.
- 785
- 786 TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (2008). *Limnologia*. São Paulo: Oficina de
787 Textos, 2008.
- 788
- 789 TUNDISI, J. G.; ABE, D. S.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M. &
790 VANUCCI, D. (2006). *Reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo: Conseqüências*
791 *e Impactos da Eutrofização e Perspectivas para o Gerenciamento e Recuperação*. Em:
792 TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; GALLI, C.S. (Org.). *Eutrofização na América*
793 *do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. São Carlos: ed.
794 IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, 2006. p. 161–181.
- 795

- 796 VAN DONK, E. & VAN DE BUND, W.J. (2002). *Impact of submerged macrophytes*
797 *including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other*
798 *mechanisms. Aquatic Botany, n. 72, p. 261-274.*
799
- 800 YOSHIKI, T. (2006) *An attempt of modification of Carlson's trophic state index (TSI) for*
801 *brackish lakes in Japan. Laguna, v. 13, p. 89-98.*

1 **USO DO SENSOR CBERS/CCD NA AVALIAÇÃO DO ESTADO**
2 **TRÓFICO DO RESERVATÓRIO LAGO DO AMOR (CAMPO**
3 **GRANDE, MS)**

4
5 **Use of the CBERS/CCD sensor for the estimation of the trophic**
6 **state of the reservoir “Lago do Amor” (Campo Grande, MS)**

7
8
9 LUIZA SPENGLER COELHO

10 Engenheira Ambiental (UFMS). Mestre em Tecnologias Ambientais (UFMS).

11
12
13 KENNEDY FRANCIS ROCHE

14 Doutor em Limnologia (Rijksuniversiteit te Gent). Professor da Universidade Federal de Mato
15 Grosso do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Hidráulica e
16 Transportes.

17
18
19 ***Endereço para correspondência:***

20 ***DHT/CCET/UFMS***

21 ***Caixa Postal, 549***

22 ***79070-900 Campo Grande – MS - Brasil***

23 ***Tel: (67) 3345-7495***

24 ***Fax: (67) 3345-7499***

25 ***E-mail: luizascoelho@gmail.com***

26
27
28 **RESUMO**

29
30 O objetivo do trabalho foi avaliar o estado trófico do reservatório “Lago do Amor” usando o
31 sensor CBERS/CCD e o parâmetro clorofila *a* como indicador. Concomitantemente, é
32 discutido o uso do sensoriamento remoto como ferramenta de apoio ao diagnóstico de
33 processos de eutrofização em reservatórios. Foram utilizadas 4 imagens do satélite CBERS,
34 câmera CCD e dados *in situ* do monitoramento do reservatório coletados próximos a data de
35 passagem do satélite. Para determinar as relações entre as bandas da imagem de satélite e o
36 parâmetro clorofila *a* foram testados diversos índices de vegetação, como o NDVI, NRVI,
37 RVI e RATIO. No presente trabalho são propostos dois novos índices: RAVI e NRAVI. Os
38 resultados demonstram que é possível utilizar tecnologias de sensoriamento remoto para
39 estimar a concentração de clorofila *a* e o estado trófico de corpos d’água, contudo fatores
40 externos, como cobertura de nuvens e problemas radiométricos das imagens de satélite, são as
41 principais limitações a estes estudos.

42
43 **ABSTRACT**

44
45 The aim of this study was to evaluate the trophic state of the reservoir "Lago do Amor" by
46 using the sensor CBERS/CCD and chlorophyll *a* as the indicator parameter. Concomitantly,
47 the use of remote sensing as a tool in the evaluation of trophic state is discussed. The data
48 used consisted of 4 satellite images of the sensor CBERS camera CCD and in situ data of the

49 reservoir monitoring, collected near the satellite overpass dates. To determine the relationship
50 between the bands of the Satellite image and the parameter chlorophyll *a*, several vegetation
51 indexes, such as NDVI, NRVI, RVI and RATIO were tested. Two new indexes are proposed:
52 RAVI and NRAVI. Results show that it is possible to use CBERS satellite images to estimate
53 the concentration of chlorophyll *a* and trophic state of the water body. External factors such as
54 cloud cover and radiometric problems with the satellite images are the main constraints of
55 these studies.

56

57 **PALAVRAS-CHAVE:** CBERS/CCD, sensoriamento remoto, estado trófico, reservatórios

58

59 **KEY-WORDS:** CBERS/CCD, remote sensing, trophic state, reservoirs

60

61 **TÍTULO RESUMIDO:** Uso do Sensor CBERS-CCD na avaliação do estado trófico do
62 reservatório Lago do Amor

63

64

65 INTRODUÇÃO

66

67 Os ecossistemas aquáticos continentais estão submetidos a um conjunto de impactos
68 resultantes das atividades humanas e dos usos múltiplos das bacias hidrográficas. Dentre estes
69 impactos se destacam aqueles causados pela eutrofização (Nogueira, 2001; Von Sperling,
70 2005; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008), considerada um dos maiores problemas
71 ambientais em nível mundial e um processo que gera efeitos ecológicos negativos, bem como
72 para a saúde e economia, tudo isso devido à deterioração de um recurso primário e finito, a
73 água (UNEP-IETC, 2001).

74 A eutrofização é um processo natural, que passou a ser acelerado pelos impactos das
75 atividades humanas, sendo assim denominada eutrofização artificial (Esteves, 1998). A
76 eutrofização artificial de lagos e reservatórios é causada pelo enriquecimento da água com
77 nutrientes provenientes de aportes de fontes pontuais ou difusas, e seus efeitos de deterioração
78 da qualidade hídrica são decorrentes do crescimento acelerado e excessivo de algas e plantas
79 aquáticas.

80 Com o aumento da degradação ambiental e a intensificação dos usos múltiplos dos
81 reservatórios devido ao crescimento populacional, os efeitos relativos à qualidade das águas
82 desses sistemas passaram a ser motivo de grande preocupação (Tundisi & Matsumura-
83 Tundisi, 2008). O monitoramento de reservatórios é fundamental para o acompanhamento da
84 qualidade da água destes sistemas e a tomada de decisões de manejo, contudo representam
85 programas complexos e de alto custo, pois envolvem desde a escolha de parâmetros e a
86 amostragem até a análise e compilação de dados.

87 Dentre os parâmetros indicadores do grau de trofia, um dos mais importantes é a
88 concentração de clorofila *a*, pigmento fotossintético presente no fitoplâncton e na vegetação
89 aquática (Duan *et al.*, 2007). Um dos efeitos da eutrofização é a ocorrência de episódios de
90 crescimento excessivo de algas, também conhecidos como florações, durante os quais as
91 concentrações de clorofila *a* atingem valores de pico. Durante esses períodos é comum
92 atendimentos e emergências relacionados às florações de algas, reclamações de gosto e odor
93 na água distribuída, problemas associados a toxinas de cianobactérias em clínicas de
94 hemodiálise e mortalidade de peixes (Lamparelli, 2004). Assim tem-se que o monitoramento
95 das concentrações de clorofila *a* em reservatórios, principalmente em mananciais de
96 abastecimento público, é fundamental do ponto de vista da saúde pública.

97 Portanto, se a clorofila *a* puder ser estimada a distância, através das tecnologias de
98 sensoriamento remoto, serão diminuídos os custos de monitoramento, agilizando ainda a

99 tomada de decisões. Diversos estudos já demonstraram que é possível a integração de dados
100 limnológicos e de observações de satélite, como Landsat, MODIS, SeaWiFS e ASTER, entre
101 outros (Dekker *et al.*, 1996; Schalles *et al.*, 1997; Dias *et al.*, 2005; Wachholz & Pereira
102 Filho, 2005; Duan *et al.*, 2007; Rudorff *et al.*, 2007; Hadjimitsis *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008;
103 Radiarta *et al.*, 2008; Ahmed *et al.*, 2009). Imagens de satélite também facilitam estudos de
104 distribuição espacial, que são difíceis em amostragem *in situ* devido ao grande número de
105 amostras, além de facilitarem estudos correlacionando uso e ocupação do solo com
106 parâmetros limnológicos (Wachholz & Pereira Filho, 2005). Entretanto, pelo menos
107 inicialmente, o sensoriamento remoto apenas pode ser utilizado como uma ferramenta de
108 apoio, já que há necessidades de coletas e amostragem de campo para a calibração de modelos
109 (Liu *et al.*, 2003).

110 No Brasil, uma possibilidade muito interessante é a utilização do satélite CBERS em
111 estudos ambientais. Este satélite foi construído em uma parceria Brasil/China e suas imagens
112 são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
113 pela internet. O primeiro satélite CBERS, chamado de CBERS 1 foi lançado em 1999,
114 seguido pelo CBERS 2 e o 2B (INPE, 2010). Já há a previsão de construção e lançamento do
115 CBERS 3 e CBERS 4, fato que demonstra o compromisso do INPE com a manutenção do
116 fornecimento das imagens.

117 O satélite CBERS possui um conjunto de sensores ou instrumentos: WFI (Câmera de
118 Amplo Campo de Visada), CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução), IRMSS
119 (Imageador por Varredura de Média Resolução) e HRC (Câmera Pancromática de Alta
120 Resolução) com alto potencial de atender a múltiplos requisitos de aplicações. Contudo, cada
121 um desses sensores tem características próprias que os tornam mais adequados a certas
122 categorias de aplicações (INPE, 2009).

123 Para o estudo de corpos d'água o sensor utilizado é a Câmera Imageadora de Alta
124 Resolução - CCD, que possui uma resolução espacial de 20 metros (tamanho dos pixels da
125 imagem), em quatro bandas espectrais (visível e infravermelho próximo) e uma pancromática.
126 Sua resolução temporal, isto é, intervalo entre passagens é de 26 dias. Este sensor possui
127 inúmeras aplicações potenciais, como identificação de limites continentes-água, estudos e
128 gerenciamento costeiros e monitoramento de reservatórios (Paranhos *et al.*, 2008).

129 Desde a década de 90, diversos trabalhos relacionando observações de satélite e
130 parâmetros de qualidade da água utilizando, principalmente, o satélite Landsat TM vêm sendo
131 produzidos. Rosembach *et al.* (2005) demonstraram que as imagens obtidas pela câmera CCD
132 do satélite CBERS-2 são efetivas para cálculo de índices de vegetação, em comparação com o
133 índice calculado a partir de imagens Landsat TM.

134 Os primeiros trabalhos a utilizar dados CBERS para obtenção de parâmetros de
135 recursos hídricos datam de 2007 (Pereira *et al.*, 2007; Breunig *et al.*, 2007). Nota-se que desde
136 então poucos trabalhos avaliaram essa aplicação, o que demonstra o potencial de estudos
137 ainda existente.

138 Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado trófico do reservatório “Lago do
139 Amor” por meio de sensoriamento remoto orbital, utilizando-se o sensor CBERS câmera
140 CCD e o parâmetro clorofila *a* como indicador. Concomitantemente, é discutido o uso do
141 sensoriamento remoto como ferramenta de apoio ao diagnóstico de processos de eutrofização.

142 143 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

144
145 O sensoriamento remoto pode ser definido como a tecnologia que permite obter, de
146 modo remoto, sem contato físico entre o sensor e a superfície, imagens e outros tipos de
147 dados, por meio da captação da energia refletida ou emitida pela superfície. Tecnologias de
148 sensoriamento remoto vêm sendo aplicadas a corpos hídricos desde 1968 (Clark & Ewing,

149 1974 apud Novo *et al.* 1993, p. 147). A partir dessa época, esses estudos passaram a evoluir
150 divididos em duas linhas de pesquisa: a primeira procurava descobrir como os componentes
151 da água afetavam sua resposta espectral (McCluney, 1976; Philpot & Klemas, 1981; Bricaud
152 & Sathyendranath, 1981; Witte *et al.*, 1982 apud Novo *et al.* 1993, p. 147). A segunda
153 almejava usar os dados obtidos através do sensoriamento remoto para estimar parâmetros de
154 qualidade da água (Welby *et al.*, 1981; Nielsen *et al.*, 1983; Schiebe *et al.*, 1984; Braga, 1988
155 apud Novo *et al.* 1993, p. 147).

156 Os corpos hídricos apresentam em sua composição combinações de diversos
157 constituintes opticamente ativos. Esses podem ser classificados em três grandes grupos:
158 fitoplâncton, substâncias orgânicas dissolvidas e partículas sólidas em suspensão (Novo *et al.*,
159 1995). A estimativa dos componentes opticamente ativos de uma água com determinada
160 composição é feita baseada em quanto a resposta espectral da mesma difere do
161 comportamento espectral da água pura (isto é, sem componentes opticamente ativos). A água
162 purificada possui resposta espectral caracterizada por muito baixa absorção na região do azul
163 e absorção crescente na região do vermelho e infravermelho (Novo *et al.*, 1995).

164 Como toda superfície terrestre, a água tem comportamento espectral derivado dos
165 processos de absorção e espalhamento da radiação, sendo que a fração refletida e detectada
166 pelo sensor (reflectância) é o que irá fornecer informações sobre as características físicas,
167 químicas e biológicas do ambiente aquático. Diversos fatores naturais alteram a composição
168 físico-química da água e, conseqüentemente, sua resposta espectral. Os principais fatores que
169 afetam a coloração da água e, assim, a sua resposta espectral são a presença de plantas
170 aquáticas, sólidos em suspensão, concentração de clorofila, ácidos húmicos e fúlvicos, e a
171 transparência da água (Novo, 1993, apud Ferraz *et al.*, 2005, p. 938).

172 A ocorrência simultânea de diversos constituintes opticamente ativos na água, suas
173 complexas interações e a interferência atmosférica são fatores que dificultam a interpretação
174 de dados de satélites para análise de componentes ambientais em corpos d'água (Mantovani,
175 1993, apud Londe *et al.*, 2007, p. 3413). Outra limitação importante no uso da técnica do
176 sensoriamento remoto para corpos hídricos é que a mesma é capaz de detectar pigmentos
177 apenas na camada superficial devido à forte atenuação que a radiação eletromagnética sofre
178 ao penetrar na coluna d'água (Morel & Berthon, 1989, apud Cestari *et al.*, 1996, p. 93). No
179 entanto alguns estudos, como Cestari *et al.* (1996) por exemplo, buscaram técnicas para a
180 minimização dessa limitação, principalmente através de modelos estatísticos que relacionem a
181 concentração de clorofila medida na superfície da água à concentração média de clorofila na
182 zona eufótica. Martini *et al.* (2006) encontraram como principal limitação à aplicação de
183 monitoramento orbital na Lagoa da Conceição (SC) a baixa profundidade do corpo hídrico,
184 onde a cor da água era mascarada pela cor do sedimento de fundo.

185 Outra problemática é que diversos fatores como atmosfera, velocidade do vento,
186 topobatimetria e condições climáticas limitam o desenvolvimento de um modelo universal
187 para estimar parâmetros de qualidade da água a partir de imagens de satélite (Novo *et al.*,
188 1995). Essa problemática faz com que essa área do conhecimento ainda tenha que usar
189 abordagens empíricas, adaptando coeficientes segundo variáveis locais e temporais (Hamilton
190 *et al.*, 1994 apud Novo *et al.*, 1995, p. 287). Contudo, a literatura específica demonstra que a
191 quantificação de parâmetros de qualidade de águas interiores e costeiras através do
192 sensoriamento remoto já foi realizada com sucesso em muitos estudos, apesar da alta
193 variabilidade dos parâmetros considerados e da própria limitação tecnológica dos sensores
194 (Liu *et al.*, 2003).

195 Um dos primeiros estudos brasileiros que uniu sensoriamento remoto e corpos hídricos
196 foi realizado por Braga *et al.* (1993). A área de estudo foi a Baía de Guanabara no Rio de
197 Janeiro. O objetivo era determinar correlações entre parâmetros de qualidade de água e dados
198 do satélite Landsat 5-TM. Neste estudo, como em diversos outros com finalidade similar, as

199 amostras de água foram coletadas em datas coincidentes com a passagem do satélite. A
200 conclusão foi que os dados obtidos por satélite se mostraram adequados para analisar
201 temperatura, profundidade de Secchi, sólidos suspensos totais, e concentrações de ferro e
202 manganês nos sólidos suspensos totais. No entanto, o estudo não demonstrou correlações
203 significativas com o parâmetro clorofila *a*. Outra conclusão interessante foi que as imagens
204 Landsat-TM foram capazes de demonstrar a variabilidade de parâmetros de qualidade de água
205 nas mudanças de maré e fluxos de água na baía. O estudo concluiu que o sensoriamento
206 remoto orbital pode ser usado para avaliar parâmetros de qualidade de água em estuários
207 poluídos, no entanto, recomenda que condições locais, como maré, descargas de água doce e
208 topobatimetria devem ser consideradas na análise dos dados gerados.

209 Dentre os estudos de sensoriamento remoto aplicado a corpos hídricos, muitos
210 buscaram avaliar o estado trófico de lagos e reservatórios (Dekker *et al.*, 1996; Schalles *et al.*,
211 1997; Waldron *et al.*, 2001; Martini *et al.*, 2006; Duan *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2007;
212 Assireu *et al.*, 2007; Hadjimitsis *et al.*, 2008; Radiarta *et al.*, 2008). A experiência brasileira
213 de aplicações de sensoriamento remoto para fins limnológicos é resumida por Novo *et al.*
214 (1995).

215 Zhengjun *et al.* (2008) objetivaram utilizar imagens de satélite para avaliar o estado
216 trófico do Reservatório Miyun (Pequim, China). Os autores concluíram que o estudo foi
217 efetivo e geraram um mapa da distribuição espacial do grau de trofia no reservatório (avaliado
218 através da utilização de um Índice de Estado Trófico – TSIM). Já Duan *et al.* (2007)
219 objetivaram avaliar o estado trófico do Lago Chagan (China) utilizando concentrações de
220 clorofila *a* obtidas através de dados espectrais de imagens do satélite Landsat TM. Sass *et al.*
221 (2007) realizaram uma retrospectiva de 20 anos usando Landsat TM para entender a variação
222 trófica dos lagos na planície Boreal.

223 Utilizando imagens Landsat TM, as bandas utilizadas para determinação de clorofila *a*
224 são a TM3 (vermelho) e TM4 (infravermelho) (Zhengjun *et al.*, 2008). Para o satélite CBERS,
225 câmera CCD, as bandas que se aproximam das faixas espectrais detectáveis da clorofila *a*,
226 aquelas onde ocorre sua maior reflexão e absorção, são respectivamente a 2 e a 3. A
227 concentração e a distribuição espacial podem ser inferidas diretamente a partir dos valores de
228 reflectância destas bandas, ou através do cálculo de índices de vegetação, sendo mais
229 utilizados os índices: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Índice de Vegetação
230 Normalizado); NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index); RVI (Ratio Vegetation Index) e o
231 RATIO (Índice de vegetação por razão simples).

232 Os índices de vegetação são modelos numéricos calculados a partir de operações entre
233 as faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, nas quais estão contidas a maior
234 variação de respostas espectrais para a vegetação. Segundo Malingreau (1989 apud Mendes *et al.*,
235 no prelo) a obtenção e o uso de índices de vegetação é movido por três objetivos gerais: 1)
236 Ressaltar, através de uma combinação adequada de bandas espectrais, as características
237 relevantes da vegetação; 2) Padronizar a representação da resposta espectral de uma dada
238 espécie vegetal; e 3) Reduzir as dimensões do conjunto de dados multiespectrais, isto é,
239 concentrar informações. O uso mais comum destes índices é para realçar a vegetação através
240 de uma resposta de cor específica (exemplo: no NDVI a vegetação fica branca), melhorando a
241 indicação da presença de fitomassa foliar verde, e assim, facilitando a identificação das
242 diferentes comunidades vegetais e da sua distribuição espacial (Giraldelli & Paranhos Filho,
243 2006).

244 O monitoramento de parâmetros de qualidade da água através de amostragens *in situ* e
245 análises em laboratório é uma ação crucial para a produção de informações que sirvam como
246 base para a tomada de decisões em manejo e planejamento de controle de poluição (Duan *et al.*,
247 2007). Programas de monitoramento sempre devem ser planejados e realizados da forma
248 com menor custo/benefício possível, no entanto, principalmente nos casos de grandes corpos

249 d'água e na avaliação da distribuição espacial de componentes ambientais, isso é muito difícil
250 devido à necessidade de elevado número de amostras. Assim, o sensoriamento remoto surge
251 como um meio capaz de integrar dados limnológicos e de qualidade da água convencionais
252 (isto é, estimados *in situ*) com dados espectrais, possibilitando programas de monitoramento
253 mais amplos e com menores custos (Giardino *et al.*, 2001 apud Duan *et al.*, 2007, p. 297).

254 Quando comparados a métodos de amostragens convencionais, o sensoriamento remoto
255 é melhor para a obtenção de informação sobre um corpo d'água, de forma rápida, freqüente e
256 com um custo reduzido. Assim, essa tecnologia pode permitir o monitoramento efetivo de
257 variações espaciais e temporais na qualidade da água e também localizar fontes de poluentes e
258 contaminação, que seriam mais dificilmente localizadas pelas amostragens convencionais
259 (Yin *et al.*, 1999 apud Zhengjun *et al.*, 2008, p. 14). Coskun *et al.* (2008) estudando o
260 reservatório de Omerli em Istambul na Turquia concluíram que a integração entre ferramentas
261 de sensoriamento remoto e as análises de qualidade da água foram positivas pois permitiram o
262 estudo de regiões mais amplas e a determinação das fontes de poluição pontuais e difusas de
263 forma mais rápida e precisa.

264 A precisão e confiabilidade na utilização do sensoriamento remoto para o
265 monitoramento de concentrações de clorofila *a* de corpos d'água pode ser afetada ou
266 diminuída pela existência de grande quantidade de sólidos suspensos fixos na água,
267 especialmente silte (Ekstrand, 1992 apud Zhengjun *et al.*, 2008, p. 18). Assim, corpos d'água
268 com transparência relativamente alta e com baixa concentração de sólidos em suspensão
269 apresentaram melhores resultados no cálculo das correlações entre a resposta espectral das
270 imagens de satélite e clorofilas *a* medidas *in situ*, (Zhengjun *et al.*, 2008).

271 Pereira *et al.* (2007) concluiu que o uso do sensoriamento remoto é uma alternativa
272 viável e adequada para monitoramentos de longo prazo, pois permite um acompanhamento
273 mais eficiente das modificações tróficas, desde que exista uma base de análises estatísticas da
274 relação entre a reflectância e o estado trófico representado por parâmetros-chaves. Contudo,
275 para a construção desta base é necessária uma série histórica de amostragens, assim, ressalta-
276 se que o sensoriamento remoto constitui-se uma ferramenta de apoio para a avaliação de
277 componentes em água, não substituindo completamente a necessidade de amostragens
278 convencionais.

279

280 **MATERIAIS E METÓDOS**

281

282 **Área de estudo**

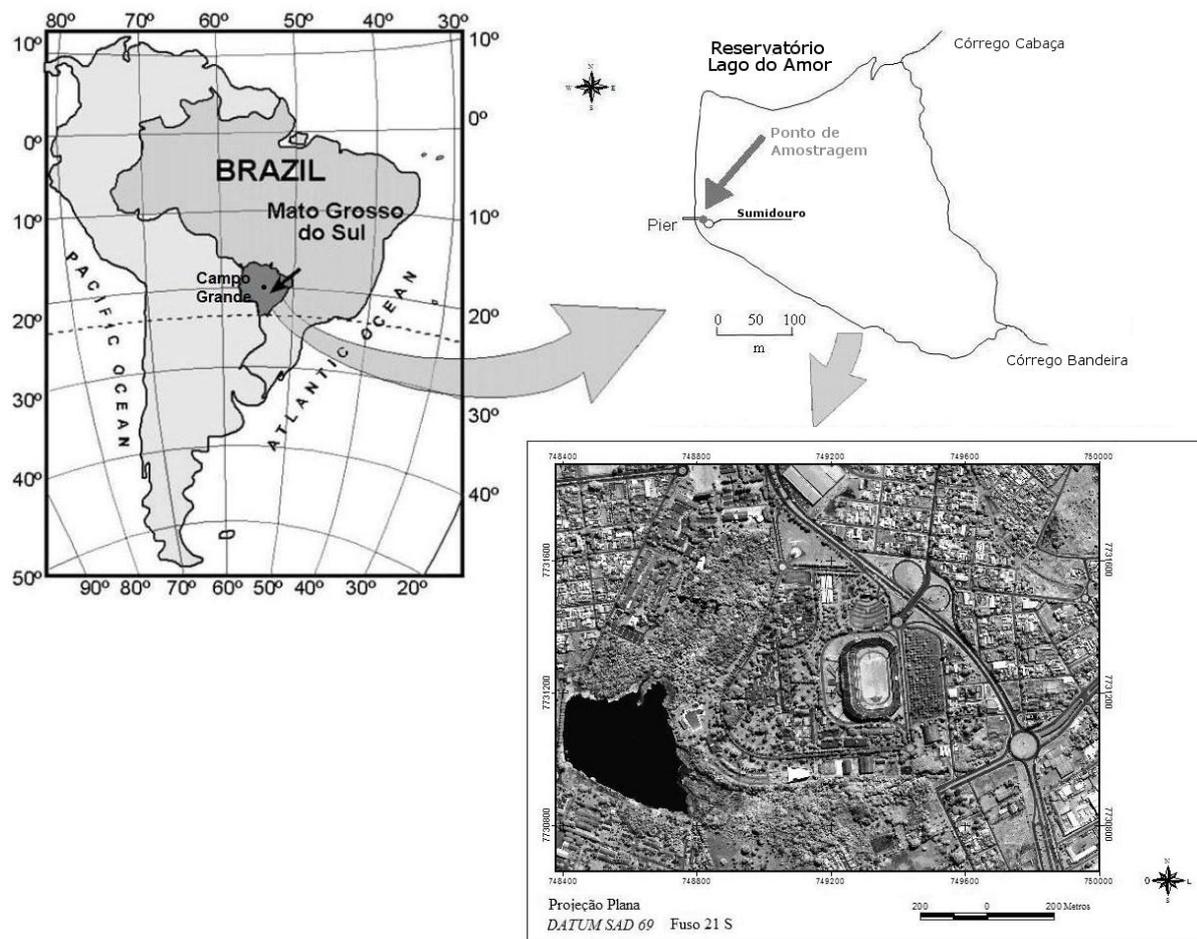
283

284 A Bacia do Bandeira, que faz parte da bacia do rio Paraná, está inserida na zona urbana
285 da cidade de Campo Grande, no Estado de Mato Grosso do Sul. Esta microbacia, com uma
286 área aproximada de 19,5 km² (PLANURB, 2007), é composta pelos córregos Bandeira e
287 Cabaça, sendo que no ponto de confluência destes, em 1968, foi construído o reservatório
288 "Lago do Amor" (20°30'12.07''S, 54°37'0.15''W) (Figura 1).

289 O "Lago do Amor" está situado dentro do *campus* da Universidade Federal de Mato
290 Grosso do Sul (UFMS) e é parte integrante da sua Reserva Biológica - RBI/UFMS. O
291 reservatório tem forma trapezoidal, com área de aproximadamente 11 hectares, profundidade
292 média de 2 metros, volume de cerca de 240.000 m³ e tempo de residência hidráulica em torno
293 de 2 meses (CREA- RJ e CREA-MS, 2002).

294 Atualmente, por estar inserida em uma área urbanizada, toda a bacia de drenagem do
295 "Lago do Amor" encontra-se em processo de deterioração ambiental e os córregos Bandeira e
296 Cabaça recebem drenagem pluvial, efluentes domésticos e industriais. Diversos autores já
297 demonstraram que o reservatório recebe diferentes tipos de efluentes, tanto de fontes pontuais

298 como difusas, incluindo esgoto doméstico, apresentando-se com altos graus de contaminação
 299 fecal (Toledo, 1988; Righi, 2003; Pitaluga, 2003; Oliveira, 2006).
 300



301

302

Figura 16 - Localização do Lago do Amor.

303

304

Dados de campo e Imagens CBERS

305

306 Entre julho de 2005 e julho de 2009, dentro do programa de estudos limnológicos e
 307 monitoramento do Lago de Amor, amostras de água para determinação da concentração de
 308 clorofila *a* foram coletadas mensalmente em um ponto na região limnética do reservatório
 309 (Figura 1), próximo ao seu sumidouro. As amostras foram coletadas usando uma garrafa de
 310 Van Dorn, retirando 5 litros de cada uma das profundidades de 30% e 60% da coluna d'água,
 311 e depois misturando, formando amostras compostas que eram homogêneas antes de serem
 312 acondicionadas nos recipientes de coleta. Em cada data, 2 réplicas foram coletadas.

313 O método para determinação da concentração de clorofila *a* (em $\mu\text{g.L}^{-1}$) foi o
 314 espectrofotométrico, com extração usando etanol 80% a quente e posterior choque térmico
 315 (Nusch, 1980). As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade
 316 Ambiental (LAQUA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

317 A partir de 2008, a amostragem foi programada de modo a coincidir, ou ser o mais
 318 próximo possível, com as datas de passagem do satélite CBERS, calculadas a partir da
 319 resolução temporal do sensor CCD de 26 dias. A tabela 1 detalha as características do sensor
 320 CBERS/CCDB.

321 As imagens de satélite para a órbita/ponto 163/123 referente à Campo Grande, MS,
 322 foram adquiridas através do catálogo do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). A escolha de
 323 quais imagens seriam usadas baseou-se nos seguintes parâmetros:

- 324 ➤ Na diferença de tempo entre a coleta e a passagem do satélite, fixada em um
 325 máximo de 3 dias;
- 326 ➤ Na existência ou não de cobertura de nuvens sobre a área do reservatório;
- 327 ➤ Na ocorrência de chuvas ou mudanças climáticas bruscas entre o registro da
 328 imagem e a amostragem (apurada usando dados históricos do Centro de
 329 Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE da plataforma de
 330 coleta de dados - PCD de Campo Grande);
- 331 ➤ Na ausência de problemas radiométricos nas imagens CBERS, como o
 332 bandeamento e a presença de artefatos sobre a área do reservatório.
 333

334 **Tabela 12 – Características do sensor CCD dos satélites CBERS-2 e 2B**
 335 **(modificado de INPE, 2010).**

Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD		
<i>Bandas espectrais</i>	1	0,45 - 0,52 μm (azul)
	2	0,52 - 0,59 μm (verde)
	3	0,63 - 0,69 μm (vermelho)
	4	0,77 - 0,89 μm (infra-vermelho próximo)
	5	0,51 - 0,73 μm (pancromática)
<i>Campo de Visada</i>	8,3°	
<i>Resolução espacial</i>	20 x 20 m	
<i>Largura da faixa imageada</i>	113 km	
<i>Capacidade de apontamento do espelho</i>	$\pm 32^\circ$	
<i>Resolução temporal</i>	26 dias com visada vertical/ (3 dias com visada lateral)	
<i>Frequência da portadora de RF</i>	8103 MHz e 8321 MHz	
<i>Taxa de dados da imagem</i>	2 x 53 Mbit/s	
<i>Potência Efetiva Isotrópica Irradiada</i>	43 dBm	

336
 337 A grande maioria das imagens entre julho de 2005 e fevereiro de 2008 foi descartada
 338 para uso por apresentarem uma diferença de mais de 3 dias entre a coleta e a passagem do
 339 satélite. Sobraram 11 imagens, das quais 2 foram descartadas devido a cobertura de nuvens e
 340 5 devido a bandeamento e ruídos sobre a área do reservatório, restando 4 imagens para
 341 utilização (imagens dos dias 19/08/06, 14/09/06, 09/01/08, 04/02/08), as duas primeiras do
 342 satélite CBERS-2, e as posteriores do CBERS-2B. Porém, as imagens CBERS-2 e CBERS-
 343 2B foram consideradas como equivalentes para o processamento, pois o sensor CCD dos dois
 344 satélites apresenta exatamente as mesmas características.

345 A imagem de 13/06/08 apresentava algumas interferências radiométricas, sendo
 346 efetuada então uma normalização dos seus valores de refletância com base nas imagens de
 347 09/01/08 e 04/02/08, esta imagem foi utilizada apenas para validação do modelo encontrado.

348 As imagens foram georreferenciadas utilizando como base imagem do Sistema de
 349 Licenciamento Ambiental do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul –
 350 SISLA/IMASUL, em seguida, procedeu-se com a correção atmosférica e conversão para

351 reflectância através do modelo 6S – *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar*
 352 *Spectrum*, utilizando software para o CBERS-2 disponibilizado por Antunes (2003). O
 353 programa foi aplicado satisfatoriamente para o satélite CBERS 2B, ocorrendo a normalização
 354 das imagens. Para confirmação, foi feito um teste comparando os valores de reflectância das
 355 imagens em pontos de controle que teoricamente deveriam apresentar a mesma resposta ao
 356 longo do ano (Exemplo: telhado de supermercado próximo).

357 Utilizando o software Geomatica 9.1 (PCI, 2004) foram realizadas as operações para
 358 calcular os índices de vegetação, conforme fórmulas da Tabela 2, onde NIR representa a
 359 Banda 4 (Near Infrared - Infravermelho Próximo), RED a Banda 3 (Vermelho), e GREEN a
 360 banda 2 (Verde) da câmera CCD dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B. Usando a razão entre
 361 as Bandas 2 e 3 e sua correspondente normalização, dois novos índices são propostos: RAVI
 362 e NRAVI (*Ratio Aquatic Vegetation Index* e *Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index*).

363

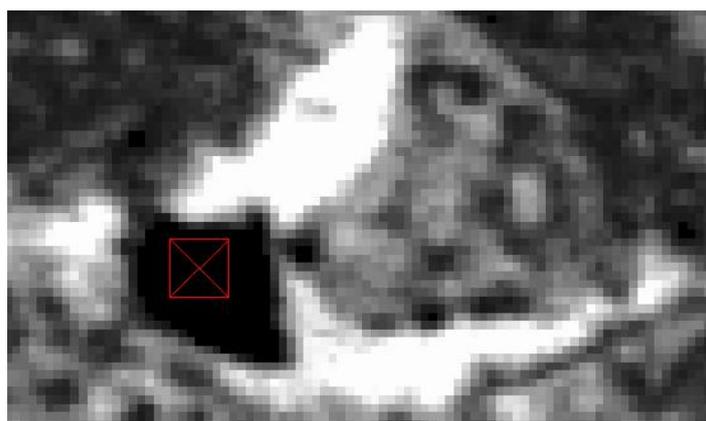
364 **Tabela 13 - Índices de Vegetação, fórmulas utilizadas para cálculo e resposta para**
 365 **vegetação.**

Índice	Fórmula	Resposta do índice para vegetação
RATIO	NIR/RED	Alto
RVI	RED/NIR	Baixo
NDVI	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$	Alto
NRVI	$(\text{RED} - \text{NIR}) / (\text{RED} + \text{NIR})$	Baixo
RAVI	GREEN/RED	Alto
NRAVI	$(\text{GREEN} - \text{RED}) / (\text{GREEN} + \text{RED})$	Alto

366

367 Para a extração dos valores dos índices de cada pixel, foi desenhada uma área de
 368 interesse (AOI – *area of interest*) em uma região do lago próxima ao ponto de coleta, com
 369 área de 7 x 7 pixels, o que equivale a 140 x 140 metros nas imagens analisadas, visando
 370 manter a representatividade do ponto de amostragem na região limnética do reservatório e
 371 evitar interferência das margens ou das áreas mais rasas (Figura 2).

372



373

374 **Figura 17 – Área de interesse (AOI) desenhada sobre o reservatório Lago do Amor**
 375 **(Lago em preto, vegetação em branco – imagem de 14/09/06 com índice RATIO).**

376

377 Para cada imagem, os valores dos índices para cada pixel da AOI foram extraídos e
 378 tabulados, de modo a se obter valores médios para cada índice para posterior análise
 379 estatística de correlação com os valores de clorofila *a* determinados *in situ*. O mesmo

380 procedimento foi realizado para as reflectâncias das bandas 2, 3 e 4 (regiões do verde,
381 vermelho e infra-vermelho próximo respectivamente) do sensor CCD-CBERS.

382

383 **Desenvolvimento de um modelo**

384

385 Para as imagens de 19/08/06, 14/09/06, 09/01/08, 04/02/08, usando os valores de
386 clorofila *a* determinados *in situ*, os valores médios de cada índice (NDVI, NRVI, RVI,
387 RATIO, RAVI e NRAVI) e os valores de reflectâncias das bandas 2, 3 e 4 (regiões do verde,
388 vermelho e infra-vermelho próximo respectivamente) do sensor CCD-CBERS foram
389 realizados os seguintes passos:

- 390 ➤ Cálculo da Média, Desvio Padrão e Análise de correlação de Pearson (*r*);
- 391 ➤ Regressão linear para obter as equações relacionando índices e clorofila *a*, e
392 reflectâncias e clorofila *a*;
- 393 ➤ Escolha das equações com melhor ajuste para cálculo da clorofila *a* estimada;
- 394 ➤ Gráfico comparando clorofila *a* estimada pelas equações e clorofila *a* medida *in situ*,
395 onde foi incluída a imagem normalizada datada de 13/06/08 para validação da
396 equação escolhida;
- 397 ➤ Aplicando as equações obtidas ao valor de reflectância e/ou de índice de cada pixel do
398 reservatório, gerou-se um mapa de distribuição espacial da clorofila *a* estimada;
- 399 ➤ A classificação trófica do reservatório foi realizada usando o esquema proposto por
400 Salas & Martino (1991).

401

402 **Tabela 14 - Limites do esquema para classificação de reservatórios em níveis de**
403 **trófia de Salas & Martino (1991).**

	<i>Classificação</i>				
	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Cl <i>a</i> (mg/m³)	<2,0	2,0 -5,0	5,0 – 11,0	11,0 – 31,0	> 31,0

404

405 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

406

407 O resultado do teste para confirmação de que o software 6S para o CBERS-2 poderia
408 ser aplicado também para o CBERS-2B demonstrou que as reflectâncias dos pontos de
409 controle escolhidos nas imagens corrigidas apresentaram menor desvio ao longo do ano, em
410 comparação com as imagens sem correção.

411 Os resultados demonstram que todos os índices possuem correlação relativamente alta
412 com as concentrações de clorofila *a* (tabela 4). Os índices NRVI e RVI apresentaram
413 correlação negativa, enquanto RATIO, NDVI, NRAVI e RAVI apresentaram correlação
414 positiva. A menor correlação foi de -0,56 para a Banda 4 (infra-vermelho próximo), enquanto
415 a Banda 2 (verde) apresentou correlação de 0,93 e a 3 (vermelho) de -0,93, esta oposição é
416 explicada pelas características espectrais do pigmento clorofila *a*, que absorve a luz na região
417 do vermelho e reflete na região do verde, ou seja, quanto maior a concentração de clorofila *a*
418 maior a sua absorção da luz na faixa do vermelho e reflexão na faixa do verde, o que gera
419 valores baixos de reflectância na banda 3 e altos na banda 2 (Duan *et al.*, 2007).

420 A maior correlação encontrada foi de 0,96 para o índice NRAVI, que também
421 registrou o segundo melhor ajuste linear com a clorofila *a*, com r^2 igual a 0,91. O melhor
422 ajuste linear foi encontrado para a Banda 2 com r^2 igual a 0,94 (tabela 4).

423 Nas correlações e regressões lineares, as concentrações de clorofila *a* foram as
424 variáveis dependentes, enquanto os índices e reflectâncias das bandas foram utilizados como

425 variáveis independentes. Neste estudo, o inverso não seria possível, pois o objetivo é obter um
 426 modelo para calcular a clorofila *a* a partir das imagens de satélite. A correlação de Pearson foi
 427 utilizada para avaliar o grau de correlação linear entre o parâmetro indicador (clorofila *a*) e as
 428 variáveis espectrais (índices e reflectâncias das bandas) (Novo *et al.*, 1995).
 429

430 **Tabela 15 - Resumo estatístico dos resultados de clorofila *a*, índices (NDVI, NRVI,
 431 RVI, RATIO) e reflectância das Bandas 2, 3 e 4.**

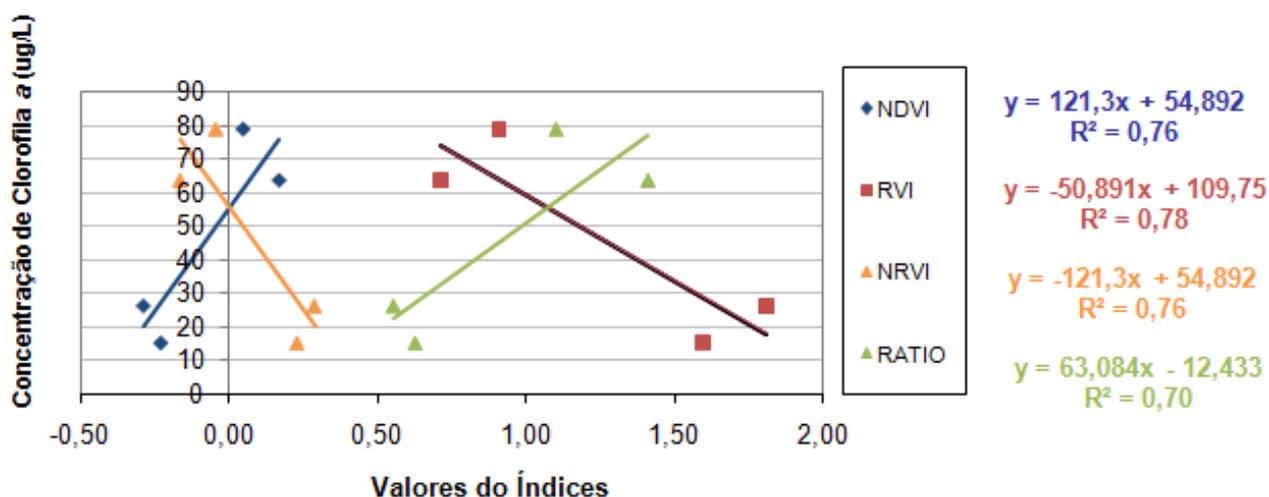
Data imagem	Cl-a (µg/L)	NDVI	NRVI	RVI	RATIO	Banda 2	Banda 3	Banda 4	NRAVI	RAVI
19/08/2006	63,54	0,17	-0,17	0,71	1,41	32,88	14,51	20,39	0,39	2,27
14/09/2006	78,84	0,05	-0,05	0,91	1,10	37,9	19,98	21,96	0,31	1,9
09/01/2008	14,80	-0,23	0,23	1,59	0,63	20,57	47,0	29,49	-0,39	0,44
04/02/2008	25,95	-0,29	0,29	1,81	0,55	18,47	36,29	20,1	-0,33	0,51
<i>Média</i>	45,78	-0,09	0,09	1,26	0,86	26,72	28,13	21,17	-0,008	1,20
<i>Desvio Padrão</i>	30,34	0,22	0,22	0,53	0,40	9,43	14,9	4,41	0,41	0,94
r_{cl-a}^*		0,87	-0,88	-0,89	0,84	0,93	-0,93	-0,56	0,96	0,93
r^{2**}		0,76	0,76	0,78	0,70	0,94	0,86	0,31	0,91	0,85

432 * r_{cl-a} é o coeficiente de correlação de Pearson entre clorofila *a* e variáveis (índices e bandas).

433 ** r^2 é o coeficiente de determinação das regressões lineares entre clorofila *a* e variáveis (índices e bandas).

434

435 Foi observado que tanto nas correlações, como nos ajustes das regressões lineares, o
 436 NRVI e o NDVI, e o RVI e o RATIO apresentaram resultados iguais, porém opostos, o que
 437 ocorre devido as suas fórmulas serem exatamente o inverso uma da outra (figura 3). O que
 438 explica também as respostas desses índices para a vegetação serem opostas, no NDVI e
 439 RATIO a vegetação é realçada em branco, e no NRVI e RVI em preto.

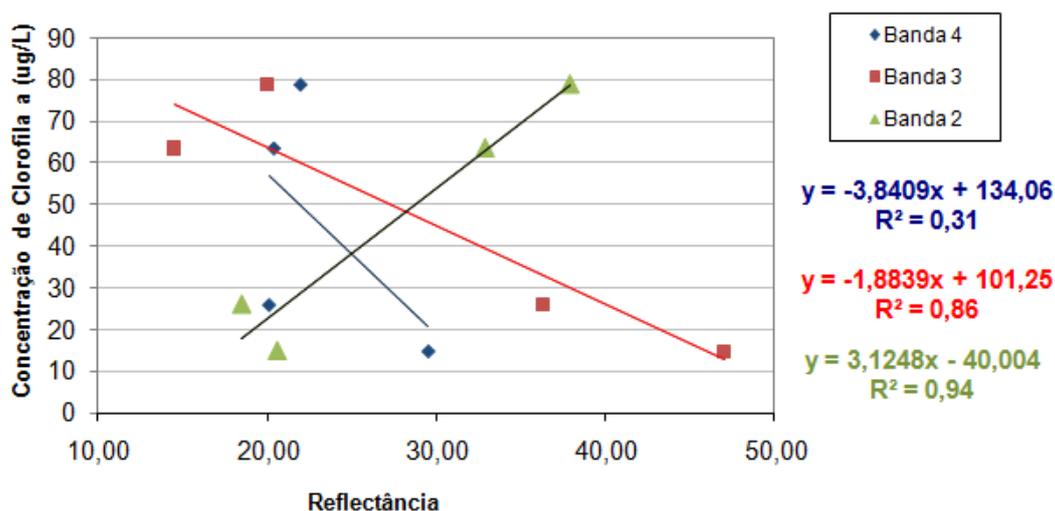


440

441 **Figura 18 - Regressões entre concentração de clorofila *a* e os índices NDVI, NRVI,
 442 RVI e RATIO.**

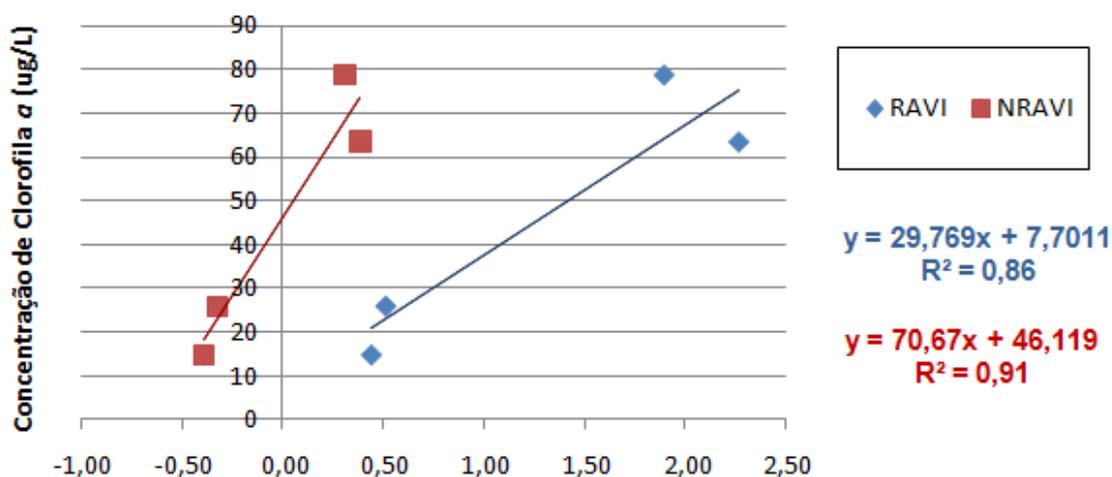
443

444 A figura 4 demonstra o resultado das regressões entre as concentrações de clorofila *a* e
 445 as reflectâncias das imagens nas bandas 2, 3 e 4 do sensor CCD-CBERS (verde, vermelho e
 446 infra-vermelho próximo respectivamente). Observa-se que o melhor ajuste foi encontrado
 447 para a banda 2 ($r^2 = 0,94$), seguido pela banda 3 ($r^2 = 0,86$), enquanto o pior ajuste foi o da
 448 banda 4 ($r^2 = 0,31$).
 449



450

451 **Figura 19 - Regressões entre concentração de clorofila *a* e reflectâncias das Bandas**
 452 **2, 3 e 4 do sensor CCD-CBERS .**



453

454 **Figura 20 - Regressões entre concentração de clorofila *a* e os índices RAVI e**
 455 **NRAVI.**

456

457 Observa-se que a banda 2 e o índice NRAVI (tabela 4, figuras 4 e 5) apresentam as
 458 duas melhores correlações e ajuste com as concentrações de clorofila *a*. Assim, neste estudo,
 459 ambos foram escolhidos para a estimativa das concentrações de clorofila *a* a partir das
 460 imagens de satélite, através das seguintes equações (1) e (2):

461

$$462 \text{Cl}_a (\mu\text{g.L}^{-1}) = 3,1248.R_{B2} - 40,004 \quad (1)$$

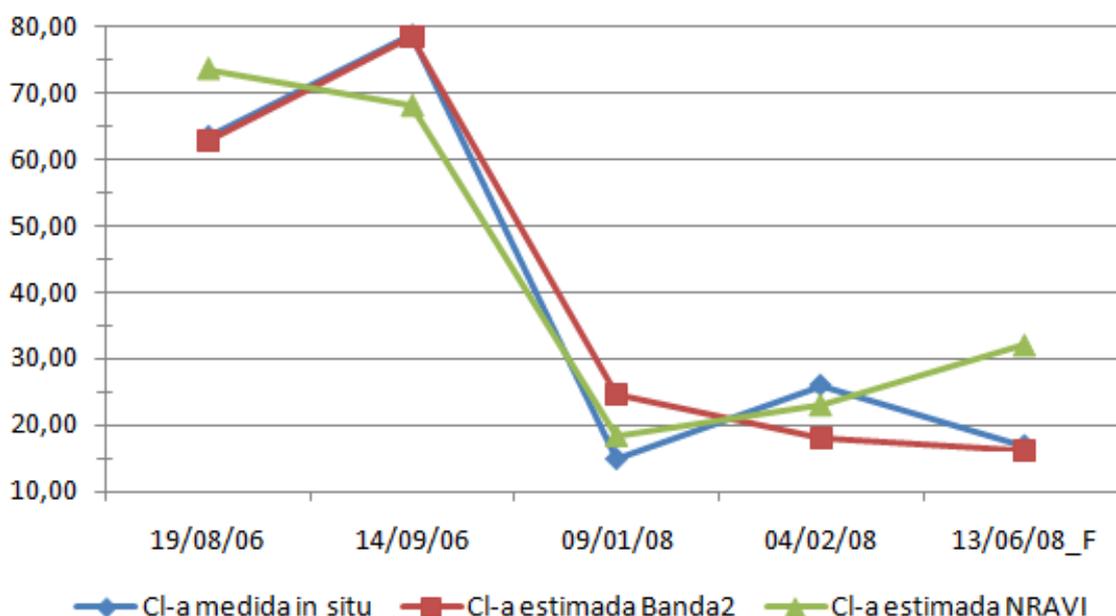
463

464 (onde $r^2 = 0,94$ e onde Cl_a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) corresponde a concentração de clorofila e R_{B2}
 465 corresponde a reflectância na banda 2 CCD-CBERS para cada pixel).

$$467 \quad Cl_a (\mu\text{g.L}^{-1}) = 70,67.NRAVI + 46,119 \quad (2)$$

468
 469 (onde $r^2 = 0,91$ e onde Cl_a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) corresponde a concentração de clorofila e NRAVI
 470 corresponde aos valores deste índice para cada pixel).

471
 472 A figura 6 compara a clorofila *a* medida *in situ* e a clorofila *a* estimada através das
 473 equações (1) e (2). A imagem normalizada de 13/06/08 não foi usada na regressão que
 474 originou as equações, e sim para a validação das mesmas.
 475



476
 477 **Figura 21 – Comparação entre clorofila *a* medida *in situ* e clorofila *a* estimada.**
 478 **Legenda: _F: Imagem na qual foi aplicado filtro manual para normalização.**

479
 480 O teste de qui-quadrado foi aplicado para comparar os dados observados (cl-a
 481 estimada) com os dados esperados (cl-a *in situ*) (tabela 5), retornando o valor do nível de
 482 significância entre as relações.

483 O erro relativo entre a clorofila *a* medida *in situ* e a clorofila *a* estimada pelas
 484 equações (1) e (2) foi calculado usando a fórmula demonstrada na equação (3), e seus
 485 resultados encontram-se resumidos na tabela 5.

$$487 \quad e = (Cl_a \text{ in situ} - Cl_a \text{ estimada}) / Cl_a \text{ estimada} \quad (3)$$

488
 489 (onde Cl_a *in situ* corresponde a concentração de clorofila *in situ* em $\mu\text{g.L}^{-1}$ e Cl_a estimada
 490 corresponde a concentração de clorofila estimada pelas equações (1) e (2) em $\mu\text{g.L}^{-1}$).

491
 492 Verifica-se que apesar de ambas as equações possuírem alto valor do coeficiente de
 493 determinação r^2 a estimativa da clorofila *a* usando a equação (1) resultante da Banda 2 foi
 494 mais precisa do que usando a equação (2) resultante do NRAVI (figura 6, tabela 5).
 495

496

497

Tabela 16 – Valores clorofila *a* medida *in situ* e clorofila *a* estimada.

Data da imagem	Cl-a <i>in situ</i> (µg/L)	Cl-a estimada Banda 2 (µg/L)	e (erro relativo)	Cl-a estimada NRAVI (µg/L)	e (erro relativo)
19/08/06	63,54	62,77	0,01	73,53	-0,14
14/09/06	78,84	78,34	0,01	68,01	0,16
09/01/08	14,80	24,59	-0,40	18,48	-0,20
04/02/08	25,95	18,07	0,44	23,12	0,12
13/06/08_IN	16,81	16,18	0,04	32,04	-0,48
<i>Média</i>	34,10	34,30	0,02	35,41	-0,10
<i>p</i> *		0,064		0,001	

* *p* é o nível de significância.

498

499

500

501

502

503

504

Os valores de nível de significância encontrados são pequenos (0,064 e 0,001), enquanto os coeficientes de determinação e correlação são altos (0,94 e 0,91; 0,93 e 0,94), o que indica que a relação entre as variáveis não ocorreu por acaso, demonstrando que a análise de regressão foi um método válido para mensurar a concentração de clorofila *a* no reservatório.

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

Comparando as composições coloridas 432, na qual a vegetação apresenta resposta em cor vermelha e as imagens resultantes do índice proposto NRAVI, observa-se que para estas últimas nas datas com menor concentração de clorofila *a* (09/01/08 e 04/02/08) o reservatório possui coloração preta, enquanto a vegetação ao seu entorno apresenta resposta branca (figura 7). Já na data com maior concentração de clorofila *a* (19/08/06) o reservatório aparece em branco, enquanto na data de 14/09/06 (segunda maior concentração de clorofila *a*) o reservatório aparece em tons de cinza, no entanto em ambas as imagens a vegetação do entorno continua branca. A mesma diferença nas respostas para o reservatório também foi observada para as imagens RAVI. A razão banda 3 e banda 2 e sua correspondente normalização não foi testada, pois apresentaria resposta exatamente oposta a do NRAVI e RAVI, assim como são o NDVI e NRVI, e RVI e RATIO.

516

517

518

519

520

521

522

Contudo, apesar da indicação visual da concentração de clorofila *a* proporcionada pelas imagens NRAVI, a relação entre o valor do índice e a concentração deste pigmento só pode ser estabelecida a partir de amostragens *in situ*. Como o NRAVI é calculado a partir da razão normalizada entre a banda 2 e a banda 3, os valores das respostas deste índice variam entre -1 e 1, sendo que de -1 a 0 os pixels retornam pretos na imagem e de 0 a 1 brancos, novamente o ponto em que o índice passa a dar a resposta para a cor branca só pode ser estimado através da correlação com os dados *in situ*.

523

524

525

526

527

528

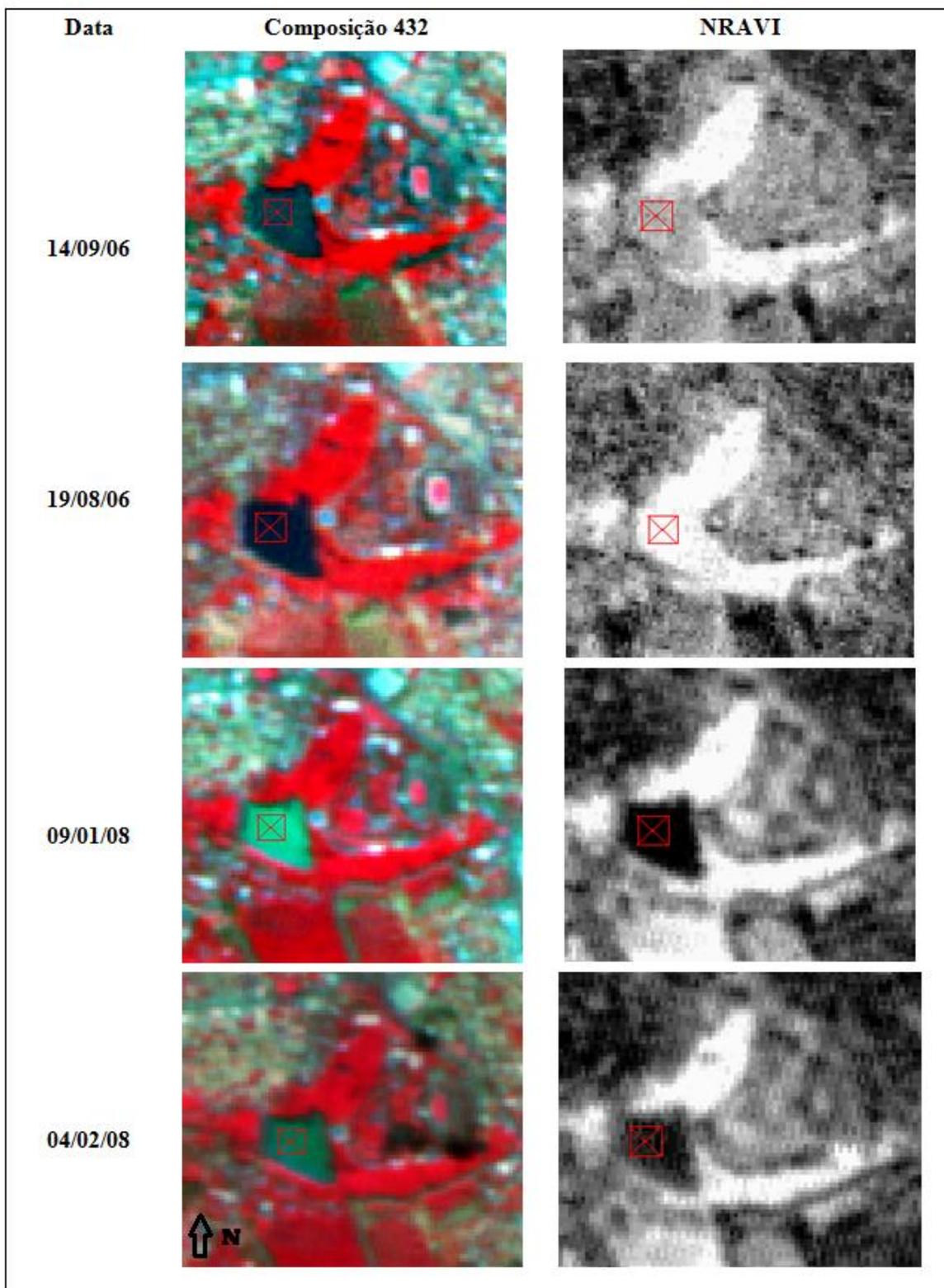
Constata-se que o ajuste linear com a banda 2 foi melhor para estimar a concentração de clorofila *a* (figura 6 e tabela 5), porém não gera contraste visual nas imagens, enquanto os índices propostos NRAVI e o RAVI apresentaram como vantagem mudanças na coloração das imagens, gerando uma indicação visual da presença de clorofila *a*. Contudo, mais estudos são necessários para confirmar a viabilidade de uso e entender melhor as respostas dos dois novos índices propostos.

529

530

531

532



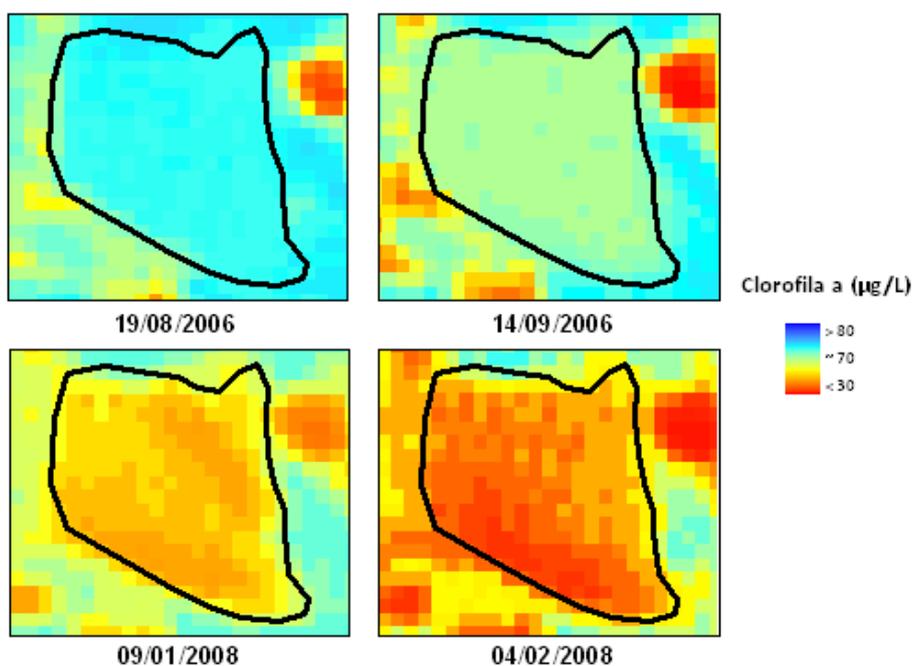
533

534 **Figura 22 – Comparação entre as composições coloridas 432 e as imagens**
535 **resultantes do índice NRAVI (AOI – Área de interesse sobre o reservatório em**
536 **vermelho, tamanho 140 X 140 metros).**

537

538 Os diferentes índices de vegetação (NDVI, NRVI, RVI, RATIO) foram testados para
 539 avaliar a correlação entre eles e as concentrações de cl *a*. Os resultados de coeficiente de
 540 correlação r maiores que 0,8 e r^2 maiores do que 0,7 demonstram que foi encontrada uma
 541 correlação, no entanto, a determinação da concentração de clorofila mostrou-se mais eficiente
 542 utilizando os dados de refletância da Banda 2 do satélite CBERS e os índices propostos RAVI
 543 e NRAVI.

544 As equações escolhidas (1) e (2) com r^2 igual a 0,94 e 0,91, respectivamente, podem
 545 ser consideradas satisfatórias quando comparadas a outros autores que realizaram o mesmo
 546 procedimento para imagens Landsat TM, como Duan *et al.* (2007) que encontraram r^2 igual a
 547 0,67, enquanto Zhengjun *et al.* (2008) encontraram r^2 igual a 0,91 e 0,82. Já Pereira (2007)
 548 trabalhando com uma imagem do sensor CCD-CBERS para cinco lagoas no Rio Grande do
 549 Sul afirmou que a clorofila *a* não apresentou correlação significativa com nenhuma banda.
 550 Fato este diretamente relacionado à essência das técnicas de análise de regressão, que geram
 551 equações baseadas em conjuntos de dados e, portanto, válidas apenas para o local da sua
 552 aplicação. Assim, este tipo de estudo é específico para o corpo d'água ou região a qual se
 553 estuda e, portanto, as equações originadas devem ser adaptadas para os usos em outros
 554 ambientes. Portanto, para o monitoramento de grandes regiões seria necessário que o modelo
 555 fosse calibrado para uma diversidade de corpos d'água, o que requereria um grande esforço
 556 amostral.
 557

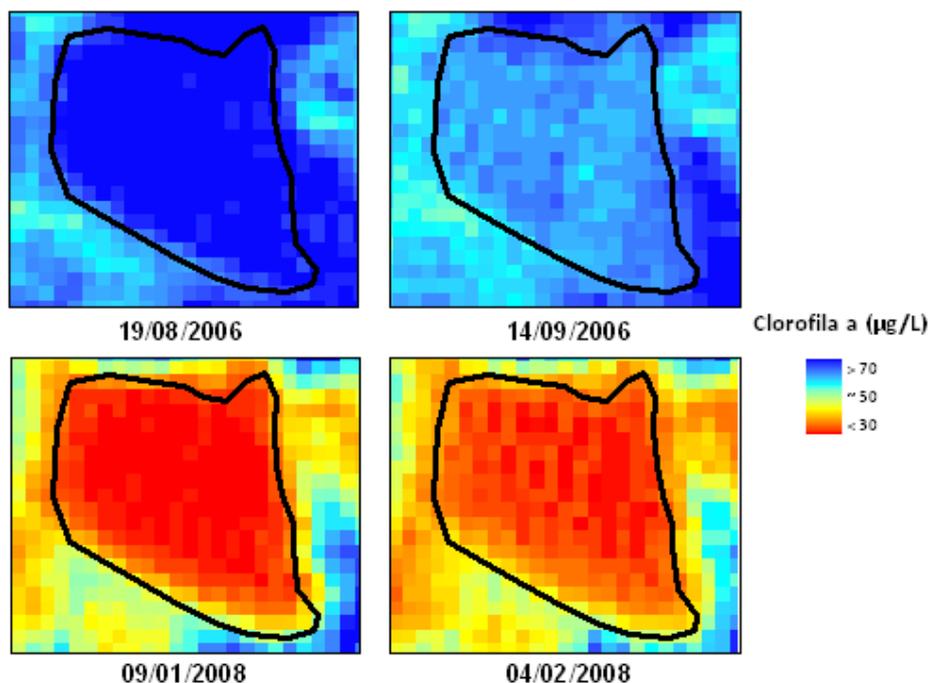


558
 559 **Figura 23 – Distribuição espacial da clorofila *a* estimada no reservatório a partir**
 560 **equação (1) (banda 2 CCD-CBERS).**

561
 562 As equações derivadas do ajuste da clorofila *a in situ* com a banda 2 (equação 1) e
 563 com o NRAVI (equação 2) foram aplicadas para cada pixel do reservatório nas respectivas
 564 imagens gerando os mapas de distribuição espacial das figuras 8 e 9. O esquema proposto por
 565 Salas & Martino (1991) para classificação trófica de reservatórios tropicais foi aplicado aos
 566 mapas de distribuição espacial da clorofila *a* estimada, resultando nas seguintes constatações:

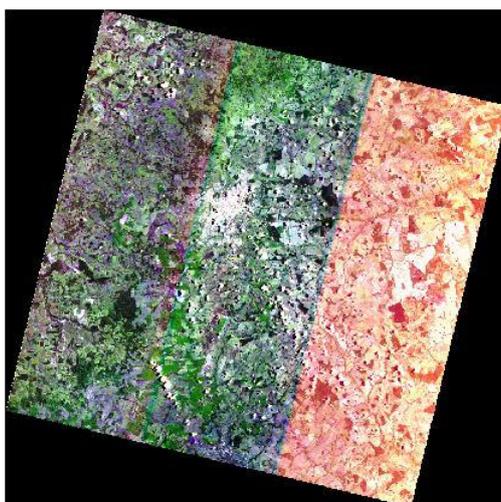
- 567 • Nas imagens de 19/08/06 e 14/09/06 o reservatório encontra-se eutrófico;
- 568 • Nas imagens de 09/01/08 e 04/02/08 o reservatório encontra-se mesotrófico, com
 569 pequenas áreas eutróficas.

570 Uma das vantagens da utilização do sensoriamento remoto neste estudo foi a
 571 possibilidade de se gerar mapas de distribuição espacial (figuras 8 e 9), o que seria de difícil
 572 realização sem o auxílio desta tecnologia, devido ao grande número de amostras e análises
 573 necessárias.
 574



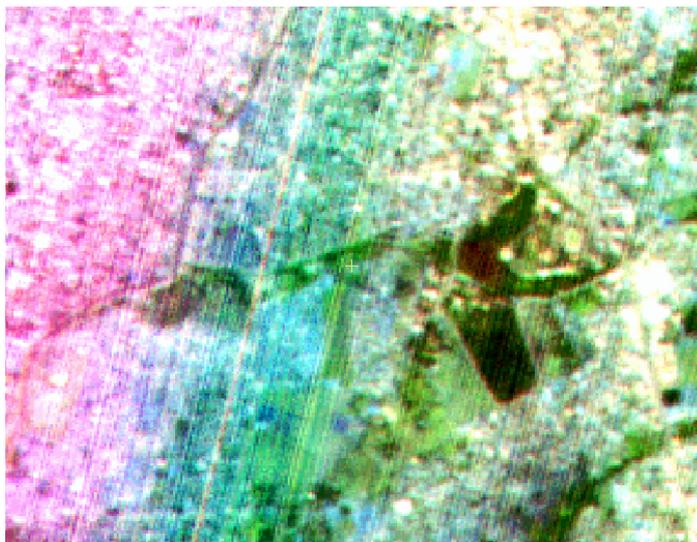
575
 576 **Figura 24 - Distribuição espacial da clorofila *a* estimada no reservatório usando**
 577 **equação (2) (NRAVI).**

578 Alguns fatores externos que dificultaram este trabalho foram à ocorrência de cobertura
 579 de nuvens, os problemas radiométricos, como bandeamento e artefatos nas imagens CBERS
 580 (vide exemplos nas figuras 10 e 11), e problemas técnicos do satélite CBERS-2B que geraram
 581 interrupções no fornecimento regular de imagens entre 30/08/08 e 31/08/09.
 582



583
 584 **Figura 25 - Bandeamento. Composição 123, imagem de 04/02/2008, do satélite**
 585 **CBERS-2B.**

586



587
588 **Figura 26 – Artefatos sobre a área do reservatório “Lago do Amor”. Composição**
589 **123, imagem não utilizada de 09/07/2008, do satélite CBERS-2B.**

590
591 Devido a estes fatores externos seria necessário um extenso período de coleta em
592 sincronia com as imagens, para possibilitar o uso de um grande número de imagens e também
593 imagens para a validação do modelo desenvolvido. No entanto, para reservatórios com grande
594 série histórica e com monitoramentos freqüentes, isso pode não ser um problema.

595 Um fator interno que também dificulta a realização do estudo é a necessidade de
596 planejamento para sincronização das coletas com as imagens, que nem sempre é possível
597 devido a questões como disponibilidade de laboratório, equipamento e equipe.

598 A soma dos fatores externos à necessidade de sincronia das coletas é apontada por
599 diversos autores (Braga *et al.*, 1993; Martini *et al.*, 2006; Pereira, 2007; Duan *et al.*, 2007
600 Zhengjun *et al.*, 2008) como uma das principais dificuldades para a obtenção de grande
601 número de imagens e portanto de resultados confiáveis e significativos estatisticamente.
602 Dentre estes, nenhum conseguiu utilizar mais de duas imagens para o desenvolvimento das
603 análises de regressão entre as variáveis espectrais e os parâmetros indicadores, porém, todos
604 utilizaram mais de um ponto de amostragem *in situ*.

605 Neste estudo, não foi possível avaliar o nível de interferência de outros parâmetros
606 relacionados a constituintes da água opticamente ativos, como sólidos suspensos e matéria
607 orgânica, devido à inexistência de dados dos mesmos para as datas analisadas. Estudos
608 futuros são necessários para avaliar as possíveis relações e interferências destes parâmetros
609 com os dados de reflectância das diversas bandas e índices.

610 CONCLUSÕES

611
612
613 Dois novos índices são propostos: NRAVI e RAVI (*Ratio Aquatic Vegetation Index* e
614 *Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index*). A principal diferença entre os índices propostos
615 e os outros índices de vegetação testados (NDVI, NRVI, RATIO e RVI) é que os propostos
616 foram calculados a partir de operações entre as faixas espectrais do vermelho e do verde, nas
617 quais está contida a maior variação de respostas espectrais para a clorofila *a*, enquanto os
618 outros índices são calculados usando as faixas espectrais do vermelho e infravermelho
619 próximo, nas quais está contida a maior variação de respostas espectrais para a vegetação
620 terrestre; fato que explica a determinação da concentração de clorofila ter se mostrado mais
621 eficiente utilizando os índices propostos RAVI e NRAVI.

622 A principal vantagem dos índices propostos é fornecer uma indicação visual da
623 concentração de clorofila *a* nas imagens, contudo a relação entre o valor do índice e a
624 concentração deste pigmento só pode ser estabelecida a partir de amostragens *in situ*.

625 O uso do sensor CCD-CBERS neste trabalho foi avaliado como positivo devido à
626 disponibilização gratuita e de fácil acesso das imagens. A grande desvantagem da utilização
627 deste sensor foram os ruídos e problemas radiométricos, o que impossibilitou o uso de 45%
628 das imagens previstas para utilização.

629 Verifica-se que é possível utilizar tecnologias de sensoriamento remoto, em especial, o
630 sensor CBERS-CCD, para estimar o estado trófico de corpos d'água, contudo, fatores
631 externos, como cobertura de nuvens, problemas radiométricos das imagens de satélite, são as
632 principais limitações a estes estudos. Dentre os fatores internos a necessidade de
633 planejamento para sincronização das coletas com as imagens é a principal dificuldade,
634 principalmente na etapa de desenvolvimento e calibração dos modelos.

635 Mais estudos, principalmente relacionando outros parâmetros opticamente ativos além
636 da clorofila *a* como, por exemplo, matéria orgânica e sólidos em suspensão, ainda são
637 necessários para avaliar as possíveis relações e interferências dos mesmos com os dados de
638 reflectância das diversas bandas e índices.

639

640 REFERÊNCIAS

641

642 AHMED, M. H. *et al.* (2009). *Application of remote sensing to site characterisation and*
643 *environmental change analysis of North African coastal laggons. Hydrobiologia*, v. 622, p.
644 147-171.

645

646 AHN, Y. *et al.* (2006). *Satellite detection of harmful algal bloom occurrences in Korean*
647 *waters. Harmful Algae*, v. 5, p. 213–231.

648

649 ANTUNES, M. A. H. (2003) Modelo 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar
650 Spectrum adaptado para correções atmosféricas de imagens de sensoriamento remoto para
651 CCD do CBERS 2. Disponível em:
652 <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/mauro/downloads.htm>> Último acesso em 07 de
653 fevereiro de 2010.

654 ANTUNES, M. A. *et al.* (2003). *Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o*
655 *modelo 6S*. Em: *XXI Congresso brasileiro de cartografia*. Anais do XXI Congresso brasileiro
656 de cartografia, Belo Horizonte, MG.

657

658 ASSIREU, A. *et al.* (2007). *Existe relação entre a complexidade geométrica do entorno dos*
659 *reservatórios e a variabilidade espacial dos parâmetros limnológicos?* Em: *XIII Simpósio*
660 *Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento
661 Remoto, Florianópolis, SC: p. 3263-3269.

662

663 BICUDO, D. C. *et al.* (2006). *Remoção de Eichhornia crassipes em um reservatório tropical*
664 *raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago*
665 *das Graças, São Paulo, Brasil*. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; GALLI,
666 C.S. (Org.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de*
667 *gerenciamento e controle*. São Carlos: ed. IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, 2006. p. 413–
668 438.

669

- 670 BRAGA, C. Z. F.; SETZER, A. W.; LACERDA, L. D. (1993). *Water Quality Assesment with*
671 *Simultaneous Landsat-5 TM Data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. Remote Sensing*
672 *of Environment*, v. 45, p. 95–106.
- 673
- 674 BREUNIG, F. M. *et al.* (2007). *Análise das propriedades ópticas da água do reservatório*
675 *Rodolfo Costa e Silva – Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens*
676 *orbitais multiespectrais. Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied*
677 *Science*, v. 2, n. 2.
- 678
- 679 CPTEC/INPE - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de
680 Pesquisas Espaciais. Banco de Dados Climáticos. *Dados da estação 2054001 Campo Grande,*
681 *MS, BRA de 07/2005 a 07/2009.* Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>>. Último
682 acesso em 07 de fevereiro de 2010.
- 683
- 684 CESTARI, A. C.; KRUG, T.; NOVO, E. (1996). *Modelo Empírico para a Estimativa de*
685 *Concentração da Clorofila na Zona Eufótica em função da Concentração de Clorofila na*
686 *Superfície.* Em: *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais VIII Simpósio*
687 *Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, BA:* p. 93-98.
- 688
- 689 COSKUN, H. G. *et al.* (2008). *Determination of Environmental Quality of a Drinking Water*
690 *Reservoir by Remote Sensing, GIS and Regression Analysis. Water Air Soil Pollution*, v. 194, p.
691 275–285
- 692
- 693 CREA- RJ & CREA-MS. (2002). *Carta Náutica do Lago do Amor. Campo Grande, MS.*
- 694
- 695 DEKKER, A. G. *et al.* (1996). *Remote sensing, ecological water quality modelling and in situ*
696 *measurements: a case study in shallow lakes. Hydrological Sciences - Journal - des Sciences*
697 *Hydrologiques* , v. 41 (4), p. 531-547.
- 698
- 699 DIAS, N. W. *et al.* (2005). *Sensoriamento remoto para a caracterização do aporte de*
700 *sedimentos e compostos orgânicos da Represa de Paraibuna, São Paulo. Ciências Agrárias*
701 *(Ciências Espaciais)*, p. 1-18.
- 702
- 703 DUAN, H. *et al.* (2007). *Assessment of Chlorophyll-a Concentration and trophic state for*
704 *lake Chagan using Landsat TM and field Spectral Data. Environ Monit Assess*, v. 129, p. 295-
705 308.
- 706 ESTEVES, F. A. (1998). *Fundamentos de limnologia.* 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência.
- 707
- 708 FERRAZ, S. F. B. *et al.* (2005). *Uso de imagens CBERS2 (sensor CCD) para identificação de*
709 *habitats aquáticos de crocodilianos no reservatório da usina Luiz Eduardo Magalhães,*
710 *Tocantins.* Em: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XII Simpósio Brasileiro*
711 *de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO,* p. 937-944.
- 712
- 713 GIRALDELLI, G. R; FILHO PARANHOS, A. C. (2006). *Relação entre as variáveis*
714 *estruturais do habitat e o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em três tipos*
715 *de habitat de cerrado na fazenda Diamante, Coxim, MS.* Em: *1º Simpósio de Geotecnologias*
716 *no Pantanal. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS,* p.341-
717 350.
- 718

- 719 HADJIMITSIS, D. G., & CLAYTON, C. (2008). *Assessment of temporal variations of water*
720 *quality in inland water bodies using atmospheric corrected satellite remotely sensed image*
721 *data. Environ Monit Assess, v. 159, p. 281-292.*
722
- 723 HUNTER, P. D. *et al.* (2008) *Spectral discrimination of phytoplankton colour groups: The*
724 *effect of suspended particulate matter and sensor spectral resolution. Remote Sensing of*
725 *Environment, v. 112, p.1527–1544.*
726
- 727 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2. Sensor CCD. Canais 1,
728 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de Satélite*
729 *de 19 de Agosto de 2006.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
730 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
731
- 732 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2. Sensor CCD. Canais 1,
733 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de Satélite*
734 *de 14 de Setembro de 2006.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
735 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
736
- 737 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2. Sensor CCD. Canais 1,
738 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de Satélite*
739 *de 10 de Outubro de 2006.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
740 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
741
- 742 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2. Sensor CCD. Canais 1,
743 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de Satélite*
744 *de 10 de Outubro de 2006.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
745 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
746
- 747 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
748 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
749 *Satélite de 27 de Setembro de 2007.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
750 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
751
- 752 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
753 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
754 *Satélite de 09 de Janeiro de 2008.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
755 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
756
- 757 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
758 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
759 *Satélite de 04 de Fevereiro de 2008.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
760 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
761
- 762 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
763 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
764 *Satélite de 22 de Abril de 2008.* Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
765 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
766
- 767 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
768 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*

- 769 *Satélite de 13 de Junho de 2008*. Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
770 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
771
- 772 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
773 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
774 *Satélite de 09 de Julho de 2008*. Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
775 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
776
- 777 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
778 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
779 *Satélite de 04 de Agosto de 2008*. Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
780 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
781
- 782 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem CBERS-2B. Sensor CCD. Canais
783 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de*
784 *Satélite de 21 de Abril de 2009*. Órbita 163 Ponto 123. Disponível em:
785 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Último acesso em 15 de Outubro de 2009.
786
- 787 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Sobre o Satélite CBERS 1, 2 e 2-B.
788 Disponível em: <<http://www.cbers.inpe.br/?content=cameras1e2e2b>>. Último acesso em 27
789 de Janeiro de 2010.
790
- 791 INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. Sistema de
792 Licenciamento Ambiental do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Disponível
793 em: <<http://sisla.imasul.ms.gov.br/>> Último acesso em 05 de Fevereiro de 2010.
794
- 795 LAMPARELLI, M. C. (2004). *Grau de trofia em corpos d'água do Estado do São Paulo:*
796 *Avaliação dos métodos de monitoramento*. São Paulo. 207 p. Tese (Doutorado em Ciências na
797 área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Departamento de Ecologia, Instituto de
798 Biociências da Universidade de São Paulo.
799
- 800 LIU, Y.; ISLAM, M. A.; GAO, J. (2003). *Quantification of shallow water quality parameters*
801 *by means of remote sensing*. *Progress in Physical Geography*, v. 27, p. 24–43.
802
- 803 LONDE, L. R. *et al.* (2007). *Identificação dos comprimentos de onda que apresentam as*
804 *maiores correlações com diferentes concentrações de clorofila a e c no Reservatório de*
805 *Ibitinga (SP)* Em: *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais XIII Simpósio
806 Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, p. 3413-3420.
807
- 808 MARTINI, L. C. P. *et al.* (2006). *Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da*
809 *distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC*. Engenharia
810 Sanitária e Ambiental vol.11, no.4, p. 318–324.
811
- 812 MATSUMOTO, M. H. & BITTENCOURT, M. D. (2001). *Correlação Entre Algumas*
813 *Fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e Classes de Índices de Vegetação Obtidos*
814 *Espectralmente*. Em: *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais X Simpósio
815 Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, p. 1665-1672.
816
- 817 MENDES *et al.* (2006) *Expansão de Áreas Agrícolas com análise da variabilidade intra-*
818 *anual de NDVI na bacia hidrográfica do Pantanal*. (no prelo)

- 819
820 NOGUEIRA, V. P. Q. (1991). “Qualidade da água em lagoas e reservatórios”. Em:
821 *Hidrologia Ambiental*. Org. Porto, M. et al., p. 165–210.
822
- 823 NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F.; TUNDISI, J. G. (1993). *Remote Sensing estimation*
824 *of total chlorophyll pigment distribution in Barra Bonita Reservoir, Brazil*. Em: *Comparative*
825 *Reservoir Limnology and Water Quality Management*. Org. por Straskraba, M., Tundisi, J. G.
826 & Duncan, A., ed. Kluwer Academic Publishers, Holanda, p. 147–152.
827
- 828 NOVO, E. M. L. M.; LOBO, F.; CALIJURI, M. C (1995). *Remote Sensing and Geographical*
829 *Information System Application to Inland Water Studies*. Em: *Limnology in Brazil*. Org. por
830 Tundisi, J.G., Bicudo, C.E.M. & Matsumura-Tundisi, T., ed. ABC/SBL, Rio de Janeiro - RJ,
831 p. 283–303.
832
- 833 NUSCH, E. A. (1980). *Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment*
834 *determination*. *Arch. Hydrobiologie*, v. 14, p. 14-36.
835
- 836 OLIVEIRA, A. S. et al. (2006). *Uso do sensoriamento remoto na análise da migração de*
837 *lagoas (baías e salinas) do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil*. Em: *1º Simpósio de*
838 *Geotecnologias no Pantanal*. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo
839 Grande, MS, p. 210-218.
840
- 841 OLIVEIRA, L. G. et al. (2007). *Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de*
842 *imagens do ETM+/LANDSAT 7*. Em: *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.
843 Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, p. 5995-6002.
844
- 845 OLIVEIRA, P. A. (2006). *Mudanças diárias na qualidade da água do reservatório “Lago do*
846 *Amor” (Campo Grande – MS)*. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
847 Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
848
- 849 PCI - Geomatica 9.1 – 2004
850
- 851 PEREIRA, R. (2007). *Aplicabilidade de métodos de sensoriamento remoto na avaliação e*
852 *monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul - Brasil*.
853 Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Ecologia) - Universidade Federal
854 do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências.
855
- 856 PEREIRA, R.; SCHAFER, A. E. & WURDIG, N. L. (2007) *Aplicabilidade de métodos de*
857 *sensoriamento remoto na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do*
858 *Rio Grande do Sul (RS)*. Em: *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais XIII
859 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, p. 3513-3520.
860
- 861 PITALUGA, G. M. (2003). *Estudo comparativo entre a qualidade da água e a comunidade*
862 *zooplânctonica da represa “Lago do Amor” (CAMPO GRANDE, MS)*. Dissertação (Mestrado
863 em Tecnologias Ambientais). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
864
- 865 PLANURB – Instituto Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente. (2007). Perfil
866 socioeconômico de Campo Grande 2007 - 2008. 14º ed. rev. Campo Grande, PMCG.

- 867
868 PONZONI, F. J.; ZULLO JUNIOR, J. & LAMPARELLI, R. A. (2006). *Transformações*
869 *radiométricas dos dados dos sensores do satélite CBERS-2*. Em: *Anais 1º Simpósio de*
870 *Geotecnologias no Pantanal*, p. 912-921.
871
- 872 RADIARTA, N.; SAITOH, S. (2008). *Satellite-derived measurements of spatial and temporal*
873 *chlorophyll-a variability in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan*. *Estuarine, Coastal*
874 *and Shelf Science*, v. 79, p. 400–408.
875
- 876 RIGHI, K.O. (2003). *Utilização de macroinvertebrados na análise da qualidade da água: o*
877 *caso do Córrego Cabaça*. Monografia de Bacharelado em Biologia, Universidade Federal de
878 Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
879
- 880 ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A. M. & FLORENZANO, T. G. (2005). *Análise comparativo*
881 *dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana*. Em:
882 *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais XII Simpósio Brasileiro de
883 Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO, p. 1075-1082.
884
- 885 RUDORFF, C. M. *et al.* (2007) *Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível*
886 *de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na*
887 *Amazônia*. *Acta Amazonica*, v. 37, p. 269 – 280.
888
- 889 SASS, G. Z. *et al.* (2007). *Understanding variation in trophic status of lakes on the Boreal Plain:*
890 *A 20 year retrospective using Landsat TM imagery*. *Remote Sensing of Environment*, v. 109, p.
891 127–141.
892
- 893 SCHALLES, J. F. *et al.* (1998). *Estimation of Chlorophyll a from time series measurements*
894 *of high spectral resolution reflectance in an eutrophic lake*. *J. Phycol*, v. 34, p. 383-390.
895
- 896 TOLEDO, M.R.S. (1988). *Análise microbiológica da água do Lago do Amor*. *Dissertação de*
897 *mestrado*. (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais) Universidade Federal
898 de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
899
- 900 TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (2008). *Limnologia*. São Paulo: Oficina de
901 Textos, 2008.
902
- 903 UNEP-IETC. (2001). *Planejamento e Gerenciamento de Lagos e Reservatórios: Uma*
904 *abordagem integrada ao Problema da Eutrofização*. São Carlos, SP: UNEP - PNUMA.
905
- 906 VERMOTE, E. F. *et al.* (1997). *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar*
907 *Spectrum, 6S: An overview*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, n.
908 3, p. 675– 686.
909
- 910 VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos*.
911 Vol. 1. Belo Horizonte: DESA, UFMG.
912
- 913 WACHHLOZ, F. & PEREIRA FILHO, W. (2005). *A limnologia em relação ao ambiente*
914 *terrestre, identificado com o uso de imagens CBERS-2, em distintas áreas de captação da*
915 *bacia hidrográfica do arroio Barriga, RS-Brasil*. Em: *XII Simpósio Brasileiro de*

- 916 *Sensoriamento Remoto*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia,
917 GO, p. 1135-1141.
918
- 919 WALDRON, M. C.; STEEVES, P. A.; FINN, J. T. (2001) *Use of Thematic Mapper Imagery*
920 *to Assess Water Quality, Trophic State, and Macrophyte Distributions in Massachusetts*
921 *Lakes*. *Water-Resources Investigations Report 01-4016*. U.S. Department of the Interior. U.S.
922 Geological Survey.
923
- 924 WU, M. *et al.* (2009). *Application of MODIS satellite data in monitoring water quality*
925 *parameters of Chaohu lake in China*. *Environ Monit Assess* , v. 148, p. 255-264.
926
- 927 ZHENGJUN, W.; JIANMING, H.; GUISEN, D. (2008). *Use of satellite imagery to assess the*
928 *trophic state of Miyun Reservoir, Beijing, China*. *Environmental Pollution* v. 155, p. 13–19.

III – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo desenvolvido possui grande importância para a área de avaliação de qualidade de água e também para o campo do sensoriamento remoto, pois é um exemplo de aplicação prática da união destas duas áreas do conhecimento. Almeja-se que os resultados deste trabalho sirvam como subsídio a tomada de decisões no planejamento de programas de monitoramento de reservatórios, em especial, do “Lago do Amor”.

O uso do sensoriamento remoto, em especial das imagens do sensor CCD-CBERS, para a avaliação de estado trófico foi considerado como uma alternativa eficiente, rápida e de baixo custo, porém possui limitações como a possibilidade de ocorrência de cobertura de nuvens, ruídos e problemas radiométricos das imagens de satélite, e o fato de que não dispensa amostragens *in situ* convencionais e análises de laboratório, principalmente no início, quando é necessária a calibração dos modelos, e também em eventuais checagens dos mesmos.

Entretanto, o uso de sensoriamento remoto para avaliação de estado trófico se torna mais interessante ainda se combinado a técnicas de geoprocessamento, principalmente ao mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do corpo d’água em questão. Combinados, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento permitem uma análise mais profunda dos fatores que estão causando a eutrofização e que interferem na dinâmica do corpo d’água. Pois se sabe que a qualidade de água de reservatórios e rios está fundamentalmente relacionada com os sistemas integrados que atuam na bacia hidrográfica, incluindo as múltiplas atividades humanas e seus impactos. Assim, têm-se que o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é ideal para acompanhar a dinâmica do uso da terra e analisar, espacialmente, componentes ambientais ao longo do tempo, sobretudo as intervenções antrópicas no ambiente natural.

Mais estudos são recomendados para melhor compreensão e continuidade dos testes dos dois novos índices propostos no artigo 2: RAVI e NRAVI (*Ratio Aquatic Vegetation Index* e *Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index*). Recomendam-se também mais estudos relacionando os dados de reflectância das imagens de satélite a outros parâmetros opticamente ativos, como a turbidez, visando principalmente avaliar o potencial de interferência dos mesmos nas análises de regressão linear.

A existência de séries históricas de dados obtidos através de monitoramento, tanto *in situ*, como através do sensoriamento remoto, e sua interpretação permitem uma melhor

compreensão da variação temporal da qualidade ambiental de reservatórios e sua correlação com outros fenômenos, climáticos e hidrológicos, indicando prioridades para elaboração de ações de controle, fiscalização, investimentos ou de legislações específicas, que levem à melhoria de sua qualidade ambiental. Contudo, diversos fatores atrapalham a existência de programas de monitoramento, como falta de recursos financeiros, mão de obra especializada, equipamentos e dificuldades de logística.

Comparando os resultados do artigo 1 da presente dissertação aos estudos anteriores da qualidade da água do “Lago do Amor” (2000/2001) (Pitaluga, 2003), verifica-se que não houve melhoria nos aspectos ambientais do reservatório, que este já se encontrava em estágio avançado de eutrofização, ambiente eutrófico-hipereutrófico, antes da proliferação das macrófitas aquáticas, e mesmo após sua remoção ainda continua. Sugerindo que a remoção das macrófitas foi apenas uma medida paliativa, e que o aporte de nutrientes e matéria orgânica ao reservatório não vem diminuindo ao longo dos anos. Ressalta-se então a urgente necessidade do levantamento das fontes poluidoras existentes na microbacia de drenagem do “Lago do Amor” para fiscalização e tomada de providências, pois enquanto não forem tomadas medidas efetivas para o controle do aporte externo de nutrientes, o problema da eutrofização e seus conseqüentes efeitos não serão resolvidos.

Visando aumentar o envolvimento da população com a recuperação do “Lago do Amor” recomenda-se a criação de uma placa informativa do índice de estado trófico do “Lago do Amor” pelo Programa Córrego Limpo da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano e Campo grande (MS) – SEMADUR, cujo objetivo é democratizar os dados dos monitoramentos dos córregos urbanos do município através de placas, próximas ao leito dos córregos, que mostram a graduação do nível de qualidade da água, que é indicada por cores, na escala de ótima a péssima.

IV – REFERÊNCIAS

BARZAN, P. J. *et al.* Monitoramento do Sistema Barragem do Rio São Bento (Siderópolis/SC) – Avaliação da qualidade das águas superficiais utilizando o Índice de IET CETESB. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 24º, 2007, Belo Horizonte. **Anais.**

BEM, C. C.; BRAGA, M. C. B. Determinação do estado de eutrofização de um lago raso – Estudo de Caso do Lago Barigui: Curitiba. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 25º, 2009. **Anais.**

BEZERRA-NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 2, p. 285-290, 2002.

BICUDO, D. C. *et al.* Remoção de *Eichhornia crassipes* em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Graças, São Paulo, Brasil. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; GALLI, C.S. (Org.). **Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.** São Carlos: ed. IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, 2006. p. 413–438.

BRAGA, B.; ROCHA, O.; TUNDISI, J.G. Reservoir management in South America. **Water Resources Development**, n. 14, p. 141–155, 1998.

BRAGA, C. Z. F.; SETZER, A. W.; LACERDA, L. D. Water Quality Assesment with Simultaneous Landsat-5 TM Data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, n. 45, p. 95–106, 1993.

CALIJURI, M. C.; OLIVEIRA, H. T. Manejo da qualidade da água: uma abordagem metodológica. Em: CASTELLANO, E. G.; CHAUDHRY, F. H. (Ed.). **Desenvolvimento Sustentado: problemas e estratégias.** São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 39-58.

CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G. Limnologia comparada das represas do lobo (Broa) e Barra Bonita – Estado de São Paulo: Mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 50, n 4, p. 893-913, nov. 1990.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, n. 22, p. 361-369. 1977.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índices para Rios e Reservatórios**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp>>. Acesso em: 07 fevereiro 2010.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, Anexo V, Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo, 2006.

DUAN, H. *et al.* Assessment of Chlorophyll-a Concentration and Trophic State for Lake Chagan Using Landsat TM and Field Spectral Data. **Environmental Monitoring Assessment**, n. 129, p. 295–308, 2007.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FIA, R. *et al.* Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. *et al.* Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n 4, p. 399-409, out./dez. 2007.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D.C.O.; LEITE, M.A. Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de Ilha Solteira. Em: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007, Caxambu. **Anais**.

GONZÁLEZ, E. J. *et al.* Eutrofização na América do Sul: Síntese. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; GALLI, C.S. (Org.). **Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle**. São Carlos: ed. IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, 2006. p. 521–523.

HONG, H. C. *et al.* Trophic state, natural organic matter content, and disinfection by-product formation potential of six drinking water reservoirs in the Pearl River Delta, China. **Journal of Hydrology**, n. 359, p. 164– 173, 2008.

HUNTER, P. D. *et al.* Spectral discrimination of phytoplankton colour groups: The effect of suspended particulate matter and sensor spectral resolution. **Remote Sensing of Environment**, n. 112, p. 1527–1544, 2008.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado do São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento.** São Paulo, 2004. 207 p. Tese (Doutorado em Ciências na área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

LONDE, L. R. *et al.* Identificação dos comprimentos de onda que apresentam as maiores correlações com diferentes concentrações de clorofila a e c no Reservatório de Ibitinga (SP). Em: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis, 2007. **Anais.** p. 3413-3420.

MARTINI, L. C. P. *et al.* Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n. 4, p. 318–324, 2006.

MASON, C. F. **Biology of Freshwater Pollution.** 3rd Edition. England: Logman Ed., 1996.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; LUZIA, A.P.; TUNDISI, J.G. Estado trófico dos reservatórios em cascata do médio e baixo Tietê (SP) e manejo para o controle da eutrofização. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. & GALLI, C.S. (Org.). **Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.** São Carlos: IIEGA, 2006. p. 141-160.

MOSS, G.; MOSS, M. **Brasil das Águas – O panorama atual de nossas águas.** Disponível em: <http://www.brasildasaguas.com.br/bda_conclusao.php>. Acesso em: 11 novembro 2009.

NOGUEIRA, V. P. Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. Em: PORTO, M. *et al.* (Org.) **Hidrologia Ambiental.** 1991. p. 165–210

NOVO, E. M. L. M. *et al.* Remote Sensing and Geographical Information System Application to Inland Water Studies. Em: TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Org.) **Limnology in Brazil.** Rio de Janeiro: ed. ABC/SBL, 1995. p. 283–303.

NOVO, E. M. L. M. *et al.* Remote Sensing estimation of total chlorophyll pigment distribution in Barra Bonita Reservoir, Brazil. Em: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (Org.) **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management.** Holanda: ed. Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 147–152.

OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT). **Eutrophication of water: monitoring, assessment and control.** Paris: OECD. 1982.

PEREIRA, R. *et al.* Aplicabilidade de métodos de sensoriamento remoto na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul (RS) Em: XIII

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais**. p. 3513-3520.

PINTO-COELHO, R. M. *et al.* Origens e Efeitos do Aporte Externo de Nutrientes em um Reservatório Tropical de Grande Porte: Reservatório de São Simão (MG/GO). Em: **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascatas**. NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). São Carlos: RiMa, 2005. p. 128-164.

RESA – ABES - Revista Engenharia Sanitária e Ambiental da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Regulamento para apresentação de contribuições**. Disponível em: <<http://www.abes-dn.org.br/?public=regulamento>>. Acesso em: 09 fevereiro 2010.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. **Metodologías simplificadas para evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales**. 2001. Relatório CEPIS.

SASS, G. Z.; CREED, I. F. .; BAYLEY, S. E.; DEVITO, K. J. Understanding variation in trophic status of lakes on the Boreal Plain: A 20 year retrospective using Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 127–141, 2007.

SEMADUR – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano de Campo Grande, MS. Programa Córrego Limpo. Disponível em: <<http://www.pmcg.ms.gov.br/index.php?s=2&location=2&idNot=12573>> Acesso em: abril de 2009.

SILVÈRIO, P. F. O Processo de Regulamentação do uso de Fósforo em detergente em pó no Brasil. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. & GALLI, C.S. (Org.). **Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle**. São Carlos: IIEGA, 2006. p. 507-523.

SPECCHIULLI *et al.* Environmental heterogeneity patterns and assessment of trophic levels in two Mediterranean lagoons: Orbetello and Varano, Italy. **Science of the Total Environment**, n. 402, p. 285 – 298, 2008.

TOLEDO JR., A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de regiões quentes tropicais**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1990. (Relatório Interno CETESB)

TOLEDO JR., A. P. T.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Em: 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1983, Balneário Camboriú. **Anais**. p. 22 -34.

TUNDISI, J. G. *et al.* Reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo: Conseqüências e Impactos da Eutrofização e Perspectivas para o Gerenciamento e Recuperação. Em: TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. & GALLI, C.S. (Org.). **Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.** São Carlos: IIEGA, 2006. p. 161-181.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP - IETC. **Planejamento e Gerenciamento de Lagos e reservatórios: Uma abordagem integrada ao problema de Eutrofização.** São Carlos: 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. **Diretriz para elaboração de projeto de pesquisa e dissertações.** Campo Grande, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos.** Vol. 1. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2005.

ZHENGJUN, W. *et al.* Use of satellite imagery to assess the trophic state of Miyun Reservoir, Beijing, China. **Environmental Pollution**, n. 155, p. 13–19, 2008.

IV – ANEXOS

ANEXO A – Norma de Formatação da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – RESA da Associação Brasileira de Engenharia Ambiental e Sanitária – ABES. Disponível em: <<http://www.abes-dn.org.br/?public=regulamento>>. Acesso em: 09 fevereiro 2010.

REGULAMENTO RESA

ÓRGÃO OFICIAL DE INFORMAÇÃO TÉCNICA DA ABES - RIO DE JANEIRO - BRASIL

REGULAMENTO PARA APRESENTAÇÃO DE CONTRIBUIÇÕES

1. OBJETIVO

O presente regulamento objetiva uniformizar a apresentação das contribuições a serem encaminhadas para publicação na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.

2. FORMAS DE CONTRIBUIÇÃO

2.1 As formas de contribuição são:

- Artigo Técnico
- Nota Técnica
- Revisão de Literatura
- Discussão acerca de Nota Técnica, Artigo Técnico ou Revisão da Literatura

2.2. Artigo Técnico é uma exposição completa e original, totalmente documentada e interpretada, de um trabalho de relevância.

2.3. Nota Técnica corresponde a um trabalho sumário podendo corresponder a:

- artigo com resultados ainda parciais
- considerações sobre aspectos pouco abrangentes da área
- desenvolvimento de considerações técnicas relativas a algum aspecto da engenharia sanitária e ambiental
- alguma outra abordagem sumária pertinente, a juízo dos Editores.

2.4. Revisão da Literatura corresponde a um artigo no qual é levantado o estado da arte de algum tema relevante e inovador na área de engenharia sanitária e ambiental, cuja abordagem deve ser suficientemente crítica e capaz de identificar avanços, lacunas e desafios científicos no tema, à luz da literatura nacional e internacional. Trabalhos de revisão sistemática e meta- análise podem ser incluídos nessa categoria de artigo.

2.5. Discussão é uma avaliação crítica ou ampliação do conteúdo de uma Nota Técnica , Artigo Técnico ou Revisão da Literatura publicado na Revista. As discussões serão publicadas, sempre que possível, conjuntamente com a resposta do(s) autor(es). A Revista tem como linha editorial o incentivo à publicação de artigos de discussão.

2.6. Não serão aceitos relatórios, traduções e nem artigos já publicados ou submetidos a publicação em outros veículos, ou que impliquem em promoção comercial de determinada

marca, produto ou empresa.

3. ENCAMINHAMENTO DAS CONTRIBUIÇÕES

O sistema está temporariamente fora do ar. Por favor aguarde sua normalização para enviar o artigo, o que acontecerá dentro em breve.

3.1. A inscrição de contribuições será feita unicamente pelo Sistema *on line* disponível no Portal da Revista, no endereço <http://www.abes-dn.org.br/>. Não serão aceitas inscrições de artigos por fax, e-mail ou correio.

3.2. Autores devem usar o acesso “Submeter Artigo” constante do menu do Portal da Revista quando da submissão de suas contribuições.

3.3 Para cada contribuição submetida, deverá ser preenchida a Ficha com os dados da Contribuição que se abre automaticamente quando do acesso em Submeter Artigo. Todos os campos da Ficha devem ser criteriosamente preenchidos, sem exceção. Recomenda-se o fornecimento de endereço eletrônico pessoal e que não solicite visualização de senha para envio.

3.4. As contribuições podem ser submetidas em português ou em inglês.

3.5. Autores poderão acompanhar o processamento das suas contribuições pelo Portal da Revista, acessando “Meus Artigos” no menu do Portal.

4. FORMATO DAS CONTRIBUIÇÕES

4.1. As contribuições devem ser preparadas pelos autores no formato “.doc” usando o recurso de numeração de linhas do Microsoft Word (Arquivo – Configurar página – Layout – Números de linha – Numerar linhas – Contínua - OK – OK).

4.2. Em seguida, as contribuições devem ser convertidas para o formato “.PDF” e então submetidas ao Sistema de envio de artigos. Todos os demais formatos de arquivos, inclusive os compactados, serão bloqueados.

4.3. Após o processo avaliativo as contribuições aprovadas para publicação deverão sofrer correções e ser enviadas em sua versão final no formato “.doc” para diagramação.

4.4. Poderão ser incluídos figuras, gráficos e ilustrações, desde que o tamanho do arquivo não ultrapasse 2 MB.

4.5. O texto integral do artigo não poderá exceder 12 (doze) páginas para Artigo Técnico e Revisão da Literatura e 8 (oito) páginas para Nota Técnica e Discussão, atendendo ao formato estabelecido nos itens a seguir.

4.6. O Artigo Técnico e a Nota Técnica deverão seguir a seguinte sequência de apresentação:

- Título do artigo em português e em inglês
- Nome do(s) autor(es)

- Currículo resumido(s) do(s) autor(es) em no máximo três linhas
- Endereço para correspondência (profissional)
- Resumo em português (10 linhas) e em inglês (10 linhas)
- Palavras-chave em português e em inglês
- Título resumido do artigo em português (até 60 caracteres) para o cabeçalho
- Texto do artigo (sem divisão em colunas)
- Referências
- Anexos (se houver)

4.6.1 – Agradecimentos, se houver, deverão ser incluídos somente na versão final do artigo aprovado para publicação.

4.7. O texto deverá ser formatado para um tamanho de página A-4, com margens superior, inferior, esquerda e direita de 2,5cm. As páginas deverão ser devidamente numeradas. Deve ser empregada fonte Times New Roman, corpo 12, exceto no título que deverá ter corpo 16. O espaçamento entre as linhas deverá ser simples.

4.8. Após o título deverão aparecer o nome, formação e cargo atual do(s) autor(es), centralizados. No caso de mais de um autor, cada nome deverá iniciar em uma nova linha. Em seguida deverão constar endereço, telefone, fax e endereço eletrônico do primeiro autor.

4.9. O corpo do artigo deve ser organizado segundo um encadeamento lógico, segundo subtítulos "Introdução", "Metodologia", "Resultados", "Discussão", "Conclusões" e "Referências". Na redação não deve ser empregada a primeira pessoa e o estilo a ser adotado deve ser objetivo e sóbrio, compatível com o recomendável para um texto científico.

4.10. Deverá ser evitada a subdivisão do texto em um grande número de subtítulos ou itens, admitindo-se um máximo de cabeçalhos de terceira ordem. Termos grafados em itálico ou negrito poderão ser utilizados no corpo do artigo.

4.11. O conteúdo do trabalho deve ser submetido a criteriosa revisão ortográfica.

4.12. Termos grafados em itálico ou negrito poderão ser utilizados no corpo do artigo.

4.13. As discussões deverão ser submetidas no máximo até 6 (seis) meses após a publicação do Artigo, Nota Técnica ou Revisão da Literatura.

5. FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

As figuras e ilustrações devem observar os seguintes critérios:

5.1. Os arquivos das figuras e ilustrações, sem bordas ao redor, devem ser inseridas no arquivo do texto, de maneira que possam ser editados através do MS Word for Windows.

5.2. Os textos e legendas não devem ficar muito pequenos ou muito grandes em relação à figura.

5.3. As figuras devem ser intercaladas nos locais apropriados, e apresentar um título.

5.4. A inclusão de fotografias não é aconselhável; porém se os autores julgarem que são importantes para esclarecer aspectos relevantes do artigo, deverão ser inseridas em resolução mínima de 300 dpi.

5.5. Todos os gráficos, desenhos, figuras e fotografias devem ser denominados de "Figura", e numerados sequencialmente em algarismos arábicos. Toda figura deve ser mencionada no texto.

5.6 O número e título da Figura deve ser colocado imediatamente abaixo da figura. O título deve ser claro e autoexplicativo.

5.7. As páginas internas da Revista são impressas em uma só cor, não sendo permitida portanto a adoção de cores na diferenciação das variáveis nos gráficos e diagramas.

6. QUADROS E TABELAS

Os quadros e tabelas deverão atender os seguintes critérios:

6.1. Os quadros e tabelas devem ser claros e objetivos, sem linhas de grade. As unidades correspondentes a todos os termos usados devem ser claramente identificadas.

6.2. Todos os quadros ou tabelas devem ser denominados “Quadro” ou “Tabela”, numerados sequencialmente em algarismos arábicos e mencionados no texto.

6.3. Cada quadro e tabela, além da numeração, deve possuir um título. O número e o título devem ser colocados imediatamente acima do quadro ou tabela. O título deve ser claro e autoexplicativo.

6.4. Um quadro e uma tabela não poderão ser maiores do que uma folha A-4.

6.5. Quadros e tabelas devem aparecer, preferencialmente, intercaladas nos locais apropriados do texto, a critério do autor.

6.6. As páginas internas da Revista são impressas em uma só cor, não sendo permitida portanto a adoção de cores na diferenciação das variáveis nos quadros e tabelas.

7. EQUAÇÕES

As equações podem ser editadas pela equipe responsável pela diagramação. Portanto, os seguintes critérios devem ser satisfeitos:

7.1. As equações devem ser claras e legíveis, e serem escritas com a mesma fonte do corpo do texto, sem a utilização de itálico ou negrito.

7.2. As equações e fórmulas devem ser denominadas de “Equação” e numeradas sequencialmente em algarismos arábicos. A numeração à direita da equação deve ser entre

parênteses. Todas as equações devem ser mencionadas no texto.

7.3. Todos os símbolos usados devem ser definidos imediatamente após a equação (caso não tenham sido definidos anteriormente), incluindo as suas unidades ou dimensões.

8. UNIDADES

8.1 Todas as unidades mencionadas no texto, tabelas, quadros e figuras devem ser expressas de acordo com o Sistema Internacional de unidades (SI).

8.2 Deve-se evitar o uso da barra de fração na expressão das unidades. Exemplo: Ao invés de mg/L ou m³/s, deve-se utilizar mg.L⁻¹ e m³.s⁻¹.

9. REFERÊNCIAS

As referências citadas no texto e listadas ao final do artigo deverão estar de acordo com a norma NBR 6023/2002. A título de esclarecimento são apresentadas algumas diretrizes:

9.1. As referências citadas no texto devem conter o sobrenome do (s) autor (es), em caixa baixa, seguido pelo ano da publicação, observando-se os seguintes critérios:

9.1.1. Quando houver mais de um trabalho, as citações devem ser em ordem alfabética.

9.1.2. Trabalhos com mais de três autores devem ser referenciados ao primeiro autor, seguido por “*et al.*” (em itálico e com ponto).

9.1.3. Quando houver mais de uma publicação do mesmo autor, no mesmo ano, o ano da publicação deve ser seguido dos componentes “a, b, c...”, em ordem alfabética. Exemplos: ... estudos efetuados por Silva (1994a, 1994b) e por Machado *et al.* (1995a) revelaram...; ... estudos recentes (Souza, 1993; Silva, Wilson e Oliveira, 1994; Machado *et al.*, 1995b) revelaram..

9.2. Ao final do trabalho deverá ser apresentada uma lista de todas as referências citadas no texto, de acordo com os seguintes critérios, entre outros:

9.2.1. As referências devem ser relacionadas em ordem alfabética, de acordo com o sobrenome do primeiro autor.

9.2.2. Devem ser referenciados todos os autores (independentemente do número de autores), pelo sobrenome seguido pelas iniciais de cada autor, separados por vírgulas. Exemplo: SMITH, P.J.; WATSON, L.R.M.; GREEN, C.M..

9.2.3. O título do periódico referenciado deverá ser apresentado em itálico. As indicações de volume, número e página deverão ser identificados pela letra inicial (“v”, “n” ou “p”), seguida de ponto. Não devem ser utilizadas aspas antes e depois do título do trabalho. Exemplo: JEWELL, W.J.; NELSON, Y.M.; WILSON, M.S. (1992) *Methanotrophic bacteria for nutrient removal from wastewater: attached film systems*. *Water Environment Research*, v. 64, n. 6, p. 756-65.

9.2.4. O título do livro deve ser apresentado em itálico. Devem ser incluídos a edição, o local, a editora, o número de páginas e a data: Exemplo: FRANÇA, J.L.; VASCONCELOS A. C. (2007) *Manual para Normalização de Publicações Técnico-Científicas*. 8 ed. Belo Horizonte. Ed. UFMG, 255 p.

9.2.5. Em capítulos de livros e trabalhos de congressos, a obra principal (título do livro ou denominação do congresso) é referenciado em itálico e vem precedida da expressão “In”. Exemplos: Anais - CAIXINHAS, R.D (1992). *Avaliação do impacto ambiental de empreendimentos hidro-agrícolas*. In: *V Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Anais... Lisboa: APRH, p, 203-11.

Capítulo de Livro - KUKOR, J.J.; OLSEN, R.H.; IVES, K. (1989). Diversity of toluene degradation following exposure to BTEX in situ. In: KAMELY, D.; CHAKABARTY, A.; OLSEN, R.H. (EDS.) *Biotechnology and Biodegradation*. Portfolio Publishing Company, The Woodlands, E.U.A., 405-421.

10. JULGAMENTO

10.1. Após avaliação prévia realizada pelos Editores da Revista, se considerado pertinente, cópias da contribuição, sem identificação dos autores, serão enviadas a pelo menos dois avaliadores, especialistas da área, indicados pelos Editores.

10.2. Em qualquer etapa de julgamento do trabalho, serão levadas em consideração a obediência às disposições regulamentares, o relacionamento do tema à Engenharia Sanitária e Ambiental, adequação do título, do resumo e das palavras-chave, existência de encadeamento lógico, ineditismo, e qualidade da contribuição.

10.3. Na análise dos editores e dos avaliadores a contribuição será classificada segundo uma das seguintes categorias:

- Aceito, sem modificações;
- Aceito, com sugestão de revisões;
- Devolvido, com sugestões de revisões e incentivo a nova submissão e Recusado.

11. COMUNICAÇÃO AOS AUTORES

O autor principal será comunicado do resultado da avaliação. Os autores dos artigos recusados receberão as devidas explicações.

12. RESPONSABILIDADE E DIREITOS

O conteúdo dos artigos são de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es). Os autores que encaminharem seus artigos cedem à ABES os respectivos direitos de reprodução e/ou publicação. Os casos omissos serão resolvidos pelos editores do periódico.