



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Biológicas



Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

## AVALIAÇÃO LIMNOLÓGICA DA LAGOA CENTRAL (MUNICÍPIO DE LAGOA SANTA – MG): UMA ABORDAGEM ESPACIAL

Ludmila Silva Brighenti

Belo Horizonte – MG

2009

AVALIAÇÃO LIMNOLÓGICA DA LAGOA CENTRAL  
(MUNICÍPIO DE LAGOA SANTA – MG): UMA ABORDAGEM  
ESPACIAL

Ludmila Silva Brighenti

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do grau de mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Orientador: Dr. Ricardo Motta Pinto Coelho  
Coorientador: Dr. José Fernandes Bezerra Neto

Belo Horizonte – MG  
2009

Ludmila Silva Brighenti

**Avaliação Limnológica da Lagoa Central (Município de Lagoa Santa – MG):  
Uma abordagem espacial**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do grau de mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Lauro Antonio Saint Pastous Madureira  
Membro titular – Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

---

Prof. Dr. Eduardo Von Sperling  
Membro titular – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

---

Prof. Dra. Alessandra Giani  
Membro suplente – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

---

Prof. Dr. Ricardo Motta Pinto Coelho  
Orientador – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Belo Horizonte - MG, 27 de abril de 2009

## **Agradecimentos**

Agradeço ao Prof. Dr. Ricardo Motta Pinto Coelho por ter aceitado a orientação de minha dissertação, e por ter desempenhado muito bem este papel, colaborando sempre para o meu amadurecimento profissional. Espero retribuir, com a seriedade de meu trabalho, a confiança em mim depositada. E ao Dr. José Fernandes Bezerra Neto pela enorme contribuição como coorientador do projeto, pela constante paciência e capacidade nata de ensinar.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Lagoa Santa, em particular a ex-secretária Junia Lott, pelo apoio ao estudo na Lagoa Central.

Aos convênios 8713 – Delimitação (a) 8713 – Delimitação dos Parques Aquícolas nos Reservatórios de Furnas e Três Marias SECTES/SEAP/FUNDEP e (b) 10195 – Hidroacústica em lagos e reservatórios de Minas Gerais – FAPEMIG/FUNDEP pelo apoio na aquisição das sondas essenciais ao desenvolvimento desse estudo.

Ao convênio 3443-14 – Curso à distância Fundamentos em Ecologia e Gestão Ambiental pela aquisição dos aparelhos de GPS e pelo auxílio financeiro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, aos professores e aos funcionários, em especial à Joyce pela disposição em ajudar-nos. Aos coordenadores Dr. Marcos Callisto e Dr. Flávio Rodrigues pelas oportunidades e apoio concedidos.

Agradeço, acima de tudo, a meus pais e irmãos, por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me a importância da construção e coerência de meus próprios valores. Em especial ao meu irmão Augusto, e nesta última etapa a Dani e a Isadora, por terem me acolhido em sua casa em Belo Horizonte. Ao Paulo, meu companheiro de sempre, que foi durante tantas vezes meu “porto seguro”, meu “anjo” – gostaria de expressar, carinhosamente, minha profunda e eterna gratidão. A tia Maia, com grande saudade, pela constante preocupação e pelo apoio.

Aos colegas do Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios: Fabrícia, Alan, Cid e Alessandra, pela convivência prazerosa, pela troca de experiências, pela amizade e pelo auxílio nas análises físico-químicas e no entendimento dos *softwares* utilizados nessa dissertação.

Aos amigos: Luziana, Suellen, Leonardo Cardoso, Aletheia e Raoni pelas valiosas contribuições e por tornarem tudo mais fácil, com conselhos, palavras amigas e muitas vezes por simplesmente estarem lá. E aos demais amigos da ECMVS pelas sérias discussões que abrangiam problemas sociais e econômicos; teorias ecológicas e políticas ambientais e pelos momentos de descontração no sofá, pelas risadas sem fim e pelas boas lembranças dos cursos de campo e dos churrascos. E a todos aqueles amigos, não ecólogos que direta ou indiretamente contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho.

## Resumo

A preocupação em estudar e avaliar o estado dos ecossistemas aquáticos é cada vez maior, gerando a necessidade de utilização de novas tecnologias no desenvolvimento de metodologias mais rápidas e precisas para os estudos limnológicos, principalmente nos trópicos. Assim, a aplicação de novas tecnologias, como SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e ferramentas hidroacústicas é muito promissora. O presente projeto foi desenvolvido na Lagoa Central (Lagoa Santa, MG, Brasil) na região metropolitana de Belo Horizonte. Com o intuito de 1. realizar a caracterização morfométrica e limnológica da Lagoa Central; 2. avaliar a qualidade de água na lagoa e verificar se existe uma heterogeneidade espacial nos padrões de variação dessa qualidade; 3. avaliar a viabilidade da aplicação da técnica de ecocontagem e ecointegração no estudo de estoques pesqueiros; 4. gerar dados que possam contribuir para a elaboração de um plano de manejo, controle e mitigação da eutrofização da lagoa bem como da recuperação da sua ictiofauna. A caracterização morfométrica foi realizada através da comparação de dois protocolos usados para a confecção de uma carta batimétrica e estimativa dos parâmetros morfométricos primários e secundários desse ambiente. Os protocolos foram baseados no uso de dois sistemas distintos usados para o levantamento batimétrico: uma ecosonda Biosonics DT-X (Biosonics Inc.) e um Ecobatímetro SonarLite (Ohmnex Ltda), ambos acoplados a um D-GPS (Differential Global Positioning System) para a obtenção das coordenadas geográficas de cada profundidade medida. A ecosonda Biosonics DT-X foi utilizada também para o estudo da distribuição, densidade e estrutura de tamanho de ecos associados a peixes no corpo d'água. Já a caracterização limnológica do ecossistema foi estudada com ênfase na variação horizontal dos parâmetros de qualidade de água. O estudo da variação longitudinal de parâmetros limnológicos mostrou que a lagoa não apresenta padrões claros e comuns para as variáveis físico-químicas analisadas. Mas permitiram inferir a presença de dois possíveis focos de entrada de material alóctone, extremidades sudeste e norte da lagoa. As correlações entre os parâmetros abióticos e a variação da densidade de ecos associados a peixes não foram relevantes e sugeriram que a distribuição espacial desses organismos seja influenciada por outros fatores. A Lagoa Central de Lagoa Santa é um pequeno lago natural, raso ( $Z_{\max} < 7,5$  m), com profundidade relativa baixa ( $Z_r = 0,5\%$ ) e formato côncavo. A pesquisa hidroacústica mostrou que a densidade média encontrada foi de 0,89 eco associado a peixes por  $m^2$ , valor caracterizado por grandes variações na densidade dos peixes em áreas particulares do lago. A estimativa de tamanho dos ecos associados a peixes variou de 2,7 a 15,9 cm (média = 5,3 cm).

**Palavras-chave:** batimetria, biosonics, ecobatímetro, hidroacústica, distribuição espacial, recurso pesqueiro, variação horizontal, gradientes, nutrientes, caracterização físico-química.

## Abstract

The concern about the decrease of ecological health of freshwater resources has been increasing dramatically in recent years. Therefore, there is a huge demand of finding new technologies aimed at the recovery and conservation of freshwater resources specially in the tropical belt. Accordingly, the application of new technologies such as GIS (Geographic Information System), automated sensors and hydroacoustics tools is very promising. This project was developed in the Lagoa Central lake (Lagoa Santa, MG, Brazil) in the metropolitan area of Belo Horizonte and it has the following objectives: 1. perform the morphometric and limnological characteristics of Lagoa Central, 2. develop an intensive limnological survey with special emphasis on horizontal patterns; 3. assess the feasibility of applying the technique of single target analysis and echo integration in the study of fish stocks; 4. generate data that can contribute to the development of a management, control and mitigation of eutrophication and the recovery of the lake ichthyofauna. The morphometric characterization was performed by comparing two protocols used for obtain a bathymetric chart and the estimation of morphometric parameters of primary and secondary environment. The tested tools were the echosounder Biosonics DT-X (Biosonics Inc.) and the echobathymetry SonarLite (Ohmnex Ltda), both coupled to a Differential Global Positioning System (DGPS) to acquire the geographic coordinates associated with the depth in each point. The echosounder Biosonics DT-X was also used to study the distribution, density and size structure of echoes associated with fish in the pond. The limnological characterization of the ecosystem was studied with emphasis on the horizontal variation of the parameters of water quality. The study of longitudinal variation of limnological parameters showed that the lake does not present clear and common standards for the physical-chemical variables analyzed. But have inferred the presence of two possible points of entry of allochthonous material, north and southeast ends of the lagoon. The correlations between abiotic parameters and the variation of the density of echoes associated with fish were not relevant and suggested that the spatial distribution of these organisms is influenced by other factors. The Lagoa Central is a small natural lake, shallow ( $Z_{max} < 7.5$  m) with low relative depth ( $Z_r = 0.5\%$ ) and concave shape. The hydroacoustics survey showed that the average density found was 0,89 echo associated with fish per  $m^2$ , indicating large variations in the density of fish in particular areas of the lake. The size estimated for the echoes associated with fish range from 2.7 to 15.9 cm (mean = 5.3 cm).

**Keywords:** bathymetry, biosonics, echobathymetry, hydroacoustics, spatial distribution, fisheries, horizontal variations, gradients, nutrients, physico-chemical.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	08
<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	12
Aspectos Climatológicos e Físicos	
Variáveis Físicas e Químicas e Diversidade da Biota	
<b>CAPÍTULO 1</b>	21
Parâmetros Morfométricos da Lagoa Central (Lagoa Santa – MG): comparação de duas metodologias	
<b>CAPÍTULO 2</b>	37
Avaliação Limnológica da Lagoa Central, Lagoa Santa – MG	
<b>CAPÍTULO 3</b>	57
Aplicação do Método Hidroacústico na Avaliação Rápida da Distribuição Espacial e Vertical de Peixes em um Lago Tropical Cárstico – Lagoa Santa, Minas Gerais	
<b>ANEXO I</b>	77
Detalhes da calibração da ecosonda	
<b>ANEXO II</b>	79
Dados de distribuição vertical dos alvos-peixes insonificados	
<b>ANEXO III</b>	83
Obtenção dos dados para a confecção da carta temática da densidade de peixes	
<b>ANEXO IV</b>	86
Ecogramas	

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso crítico para todas as formas de vida no planeta Terra e sua disponibilidade influencia o desenvolvimento social e econômico. O terceiro relatório do desenvolvimento da água no mundo (*World Water Development Report 3* – UNESCO, 2009) relata que a disponibilidade dos recursos aquáticos e seu manejo são determinantes de uma estratégia de crescimento nacional. Evidência disso está nos benefícios econômicos diretos do investimento em água. Por exemplo, na Índia o investimento em recursos aquáticos igualou a demanda por trabalho, resultando em maiores ganhos para o país; em países desenvolvidos da Europa, o fortalecimento do acesso à água com estoque confiável e irrigação levantou o crescimento econômico e na Ásia, através da revolução verde, permitiu a transformação de economias baseadas na agricultura para economias de mercado industrial e emergente (UNEP, 2009).

A despeito disso, a disponibilidade dos recursos hídricos tem diminuído como resultado da retirada das águas subterrâneas e superficiais, bem como da redução da precipitação e aumento da evaporação devido ao aquecimento global. A falta de água foi avaliada como moderada ou severa em mais da metade das regiões estudadas no *Global International Waters Assessment* (UNEP-GIWA, 2006). Na bacia do Azraq na Jordânia, por exemplo, a retirada média de água subterrânea cresceu gradualmente para 58 milhões  $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  (35 para agricultura e 23 para fornecimento de água potável). Isso diminuiu o nível da água em 16 m entre 1987 e 2005. Em 1993 nascentes e piscinas do oásis de Azraq secaram completamente. Muitas partes do mundo como no oeste da Ásia, na planície norte da China e nas planícies altas da América do Norte o uso da água pelo homem excede a média anual de reposição. E prevê-se que a retirada de água aumente em 50% até 2025 em países em desenvolvimento e 18% nos desenvolvidos (WWAP, 2006). Sendo assim, até 2025 1,8 bilhões de pessoas estarão vivendo em países ou regiões com escassez absoluta de água e 2/3 da população mundial pode estar sob condições de estresse aquático, impedindo o desenvolvimento sócio-econômico, reduzindo a capacidade de providenciar água potável, alimento e outros serviços como atenuação de contaminantes (UN Water, 2007).

Além disso, as atividades humanas nas bacias hidrográficas (como agricultura e urbanização) mudam a cobertura do solo, a estratificação dos lagos e as características dos rios. Dessa forma, estudos que sirvam como base para a conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos são cada vez mais importantes (Dodson, 2005).

Segundo Straškraba & Tundisi (1999), a maior parte dessas pesquisas tem focado na quantificação do estado trófico dos ecossistemas lênticos, o qual é baseado principalmente na razão N:P (nitrogênio:fósforo) e na concentração de clorofila-*a*.

Sabe-se, no entanto, que as concentrações de nutrientes em lagos e reservatórios flutuam naturalmente dependendo das características físicas, químicas e biológicas de suas bacias (Cole, 1994). Isso leva a dificuldades significativas na avaliação do estado de lagos. O fato de essas variáveis serem determinados por medidas pontuais, enquanto, na verdade, eles possuem variações horizontais e verticais, agrava ainda mais essas dificuldades, já que essas medidas pontuais nem sempre são representativas do estado trófico de todo o ecossistema aquático (Godlewska & Swierzowski, 2003).

Todavia, os diferentes métodos para se determinar o estado trófico de um ecossistema, baseados em parâmetros químicos, físicos e biológicos (Carlson, 1977; Salas & Martino, 1991; Vollenweider *et al*, 1998) não são ainda suficientes para um efetivo monitoramento e manejo de um corpo d'água, sendo que novos métodos para a sua avaliação deveriam ser desenvolvidos. Este diagnóstico completo dos ecossistemas aquáticos impactados depende da compreensão de seus processos e funcionamento, que, por sua vez, podem ser entendidos através da análise da variabilidade dos padrões espaciais e temporais do sistema (Pinto-Coelho, 1998).

A abordagem da variável “espaço” em pesquisas ecológicas foi durante muito tempo negligenciada, havendo preocupação apenas com a dimensão temporal, mas nos últimos dez anos tem sido apontada com um avanço central no sentido de tornar a ecologia uma ciência mais robusta (Pinto *et al*, 2003).

A este respeito, os métodos hidroacústicos e trabalhos com enfoque nos gradientes horizontais das variáveis limnológicas merecem uma atenção maior da que têm sido alvo até então. Em contraste com as medidas pontuais convencionais, esses métodos disponibilizam dados de alta resolução, compatíveis com um

posterior tratamento por sistemas de informação geográfica – SIG e possibilitam a visualização, avaliação e comparação dos resultados entre diferentes reservatórios ou em diferentes momentos no tempo (Krumme, 2004). Além disso, as duas abordagens permitem relacionar as estimativas das densidades de peixes em escalas espaciais com outras medidas limnológicas, possibilitando uma comparação direta entre peixes, características físicas e químicas da água e morfometria do ambiente (Swierzowski *et al*, 2000; Taylor & Maxwell, 2007).

A Lagoa Central de Lagoa Santa (MG) é o maior lago do sistema cárstico situado na porção norte da região metropolitana de Belo Horizonte. Localizada praticamente no centro do município de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brasil), nome pela qual a lagoa também é conhecida, não somente é um belo elemento da paisagem local, mas também é um ambiente que carrega tradições históricas importantes (Fig. 1). É na região deste ecossistema que se iniciaram estudos paleontológicos, arqueológicos e espeleológicos no Brasil (Prous *et al*, 1998). Entretanto, a Lagoa Santa e todo o sistema de lagos cársticos da região, constitui-se ainda em um ambiente pouco explorado do ponto de vista limnológico. A pequena quantidade de registros referentes à qualidade de água da lagoa dificulta a avaliação do verdadeiro grau de deterioração em que este ecossistema se encontra, embora seja reconhecido que degradação acentuada tem ocorrido nas últimas décadas (Figueredo, 2007).

O presente trabalho objetivou realizar a caracterização morfométrica, limnológica e ictiológica da Lagoa Central. A ênfase desse estudo foi dada na aplicação de uma nova metodologia para avaliação em tempo real de estoques pesqueiros e examinar a relação da distribuição espacial (horizontal e vertical) de peixes, usando-se técnicas de ecossondagem.

Esse trabalho está estruturado ao longo dos três capítulos. O primeiro capítulo refere-se a aspectos morfométricos da lagoa onde pretende-se estimar as principais características morfológicas da Lagoa Central e discutir suas implicações na limnologia deste ambiente além de realizar uma comparação de dois protocolos para obtenção desses parâmetros. Os protocolos foram baseados no uso de dois sistemas distintos usados para o levantamento batimétrico: uma ecossonda Biosonics DT-X (Biosonics Inc.) e um Ecobatímetro SonarLite (Ohmnex Ltda).



**Figura 1:** Fotos da Lagoa Central (Lagoa Santa – MG).

O segundo capítulo está voltado ao estudo limnológico, com ênfase na  
 105 variabilidade espacial dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da represa.  
 Através da confecção de mapas temáticos das variáveis limnológicas objetivou-se  
 estudar a variação horizontal desses parâmetros na Lagoa Central (Lagoa Santa –  
 MG) na tentativa de encontrar sinais de degradação ecológica do ambiente que  
 possam estar associados a atividades humanas, bem como, fornecer informações  
 110 sobre o meio que podem servir como base para futuros planos de manejo e  
 monitoramento da lagoa.

O terceiro capítulo é relativo à aplicação de sonda hidroacústica, visando  
 prospectar um ambiente raso a fim de avaliar a viabilidade da aplicação da técnica  
 de ecocontagem e ecointegração, a partir das análises do dados de TS (*target*  
 115 *strength*) e de energia acústica e da interpretação dos mesmos frente a parâmetros  
 ambientais e a bibliografia disponível.

120

## ÁREA DE ESTUDO

125

130

A Lagoa Central, também conhecida como Lagoa Santa, faz parte de um dos principais sistemas lacustres do Brasil: o sistema de lagos na região calcárea, “Karst”, localizada ao norte na região metropolitana de Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil). Essa importância decorre não somente das características limno-ecológicas desses ambientes lacustres, mas também dada a sua íntima associação com importantes formações geológicas, ocorrências paleontológicas de vulto, comunidades e biótopos vegetais do entorno hoje muito ameaçados pela ação do homem, além de inúmeros aspectos histórico-culturais da região e sua grande beleza cênica. (Prefeitura Municipal de Lagoa Santa, 2008)

135

140

145

Conta-se que em 1713 Felipe Rodrigues abandonou a extração de ouro em Sabará e seguiu para se instalar na confluência do Rio das Velhas com o Ribeirão da Mata e parou provisoriamente às margens da então Lagoa Grande das Congonhas de Sabará. As ulcerações que apresentava foram curadas após alguns dias de banhos e ingestão da água da lagoa. Assim instalou-se ali mesmo e tornou-se agricultor. Ao retornar para Sabará espalhou que havia se curado pelas águas da tal lagoa. Pessoas com a saúde debilitada começaram a se deslocar para a lagoa em busca da cura. Casas de banho foram improvisadas e tornaram-se um negócio lucrativo. Em 1747, frei Antônio de Miranda, muito doente, curou-se rapidamente utilizando-se da água da lagoa e o Bispo de Mariana determinou, dois anos depois, a construção de uma capela em louvor a Nossa Senhora da Saúde, marcando a povoação do entorno da lagoa, que, neste mesmo ano, foi renomeada como Lagoa Santa. A água da lagoa chegou a ser exportada, no passado para a metrópole colonial, Lisboa, por se acreditar possuir propriedades medicinais importantes (Figueredo, 2007).

150

155

Lagoa Santa foi o berço dos estudos ecológicos já em meados do século XIX, pois ali viveu o naturalista dinamarquês Eugene Warmming que pode ser considerado o verdadeiro criador do estudo de ecologia de comunidades em todo o mundo (Aguiar, 2001). Além disso, a região recebeu em 1834 outro naturalista importante, Peter Lund que explorou a hoje gruta de Maquiné e encontrou pinturas rupestres e fósseis de animais que viveram entre 2 milhões e 10 mil anos atrás (Lund, 1840; Lund, 1863). Este fato tornou Lagoa Santa por até meados do século XX o único ponto de referência arqueológica do Brasil nos manuais de arqueologia mundial.

Localizada sobre um afloramento de filitos (Grupo Bambuí, Super-grupo São Francisco), durante muitos anos acreditou-se que a Lagoa Central originou-se da dissolução do calcário subjacente ao filito, sendo classificada por Kohler (1978) como sendo um lago pseudo-cárstico. Porém estudos palinológicos realizados por Parizzi *et al* (1998) demonstraram que a lagoa é recente, 6100 a 5000 anos, formada a partir do barramento de água resultante de um deslizamento de terra.

A Lagoa Central (Lagoa Santa, MG) era um ecossistema muito rico em diversidade da vida aquática, com “famosas” populações de macrófitas submersas, alta riqueza da ficoflórula e vegetação litorânea formada por ciperáceas. Todas essas características conferiam à lagoa alta qualidade de água, baixos índices de nutrientes e elevada transparência (Prefeitura Municipal de Lagoa Santa, 2008).

Entretanto, desde o final da década de 70 a região vem sofrendo crescentes transformações como resultado do processo de urbanização que tem ocorrido de forma não orientada e incompatível com a utilização racional de seus recursos naturais (Coutinho & Barbosa, 1986). Entre os impactos pode-se citar: alterações no talude com conseqüente retirada de macrófitas da região litorânea (Santos *et al*, 1998); criação de praia artificial; dragagem; (Barbosa *et al*, 1993); paliteiros abandonados remanescentes de plataformas usadas pelos antigos moradores para a prática da natação e da pesca, focos de assoreamento, entrada não controlada de drenagem urbana, presença de aves (patos) exóticas (Fig. 2).

Esse aumento na ocupação humana levou ao aparecimento de problemas não só na qualidade de água, mas também ao aparecimento de vetores de doenças de veiculação hídrica e outros problemas sanitários. Houve um aumento da turbidez e diminuição da diversidade biológica e freqüentes florescimentos de cianobactérias. Paralelamente, o lago foi palco de diversas introduções de espécies exóticas de peixes, sendo uma delas a tilápia e a outra o tucunaré (Pompeu & Alves, 2003).



185 **Figura 2:** Fotos de impactos observados na Lagoa Central. Presença de espécies exóticas (patos e tilápia); paliteiros abandonados, entrada não controlada de drenagem urbana e erosão das margens.

### Aspectos climatológicos e físicos

190 O carste do planalto de Lagoa Santa abrange uma área de 400 km<sup>2</sup>, com altitude média de 750 m situada entre os paralelos 19°44' e 19°33' latitude sul e os meridianos 44°05' e 43°50' longitude oeste (Fig. 3). A leste, é limitado pelo Rio das Velhas, e a oeste é cortado pelo Ribeirão da Mata. Ao sul, o limite localiza-se no contato do gnaisse pré-cambriano (Super Grupo Minas) com o calcário do grupo Bambuí (Super-grupo São Francisco) próximo à cidade de Vespasiano – MG. Ao norte estende-se até as vizinhanças dos municípios de Fidalgo e Matozinhos – MG. 195 (Coutinho & Barbosa, 1986).

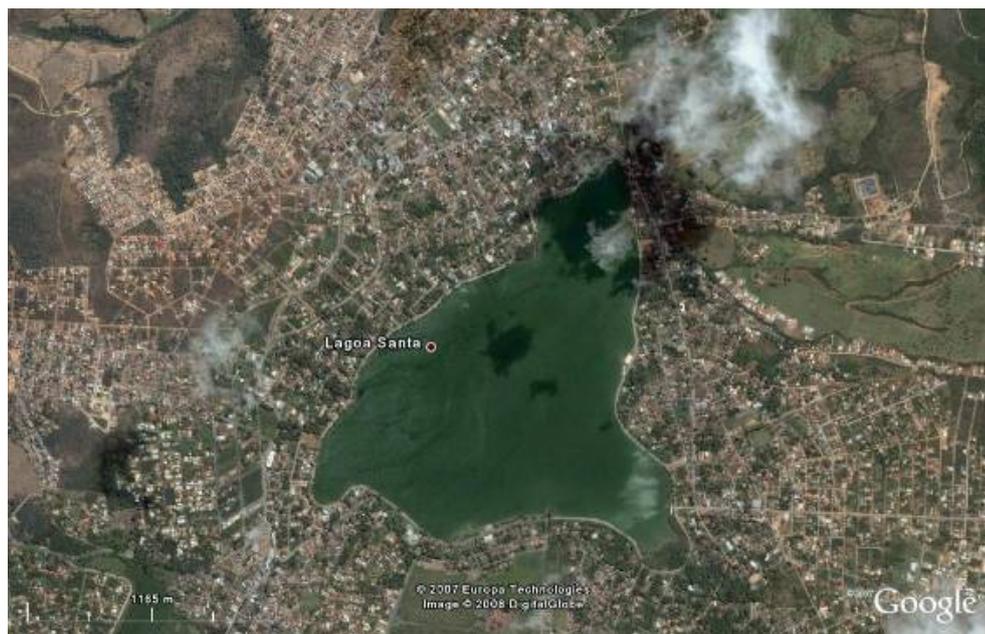
O clima local é caracterizado pela temperatura média anual de 23°C e índice pluviométrico anual médio de 1380 mm. A região apresenta uma marcante sazonalidade, com uma estação seca de maio a setembro, quando é registrado

200 menos que 7% da precipitação anual e uma estação chuvosa de outubro a abril (Figueredo, 2007).



**Figura 3:** Mapa do Estado de Minas Gerais, em destaque a localização da cidade de Lagoa Santa na região metropolitana de Belo Horizonte.

A Lagoa Central (Fig. 4) é exorreica e está a 740m de altitude. De acordo com Parizzi *et al* (1998) a lagoa possui 1,31 km<sup>2</sup> de área total e profundidade máxima entre 6 e 7 m e a área da bacia de drenagem é de 11,34 km<sup>2</sup>. A principal fonte de água da lagoa é a chuva que escorre nos morros ao redor e o córrego Francisco Pereira a sudeste da lagoa. Em 1969, houve a construção de um vertedouro de concreto vertical e o nível do lago foi elevado em até um metro, destruindo a vegetação natural das margens, provocando o solapamento das mesmas e bloqueando a migração de peixes jovens do córrego do Bebedouro para o lago, em busca de refúgio e alimento.



**Figura 4** – Imagem de satélite da Lagoa Santa, município de Lagoa Santa, MG.

#### 220 **Variáveis físicas e químicas e diversidade da biota**

A Lagoa Central foi classificada por Barbosa *et al* (1993) como monomítica. Na época do estudo (1982/1983) o período de estratificação ia de setembro a final de março e a diferença entre a temperatura da superfície e do fundo podia chegar a 4,6 °C, porém Barbosa e colaboradores (1984) relataram que durante algumas  
 225 coletas o gradiente de temperatura era muito suave. Em pesquisas mais recentes, entretanto, sugere-se que a lagoa apresente mistura de toda a coluna d'água durante todo o ano (Figueredo, 2007). Os perfis de pH e oxigênio realizado nestes estudos seguiam o mesmo padrão de estratificação na década de 80 e mistura da  
 230 coluna nos estudos mais recentes sem evidência de condições anóxicas nas maiores profundidades.

Comparando os valores de medidas preliminares realizadas pela equipe do [Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios \(UFMG\)](#) em outubro de 2007, os dados apresentados no capítulo 3 do presente trabalho e os dados levantados por Barbosa e colaboradores (1984), pode-se dizer que o pH tornou-se ligeiramente  
 235 mais alcalino (6,3 a 7,7 em 1982/83 e 7,6 a 8,7 em 2007/08) e os valores de condutividade aumentaram de 89-116  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em 1982/83 para 138 -170  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em 2007/08.

Em relação à concentração de nutrientes na Lagoa Central, Barbosa *et al* (1993) afirmam que não houve mudança significativa dos níveis destas substâncias

240 entre os anos de 1982 a 1993, com exceção de pequenos aumentos principalmente  
na formas de nitrogênio. Porém Figueredo (2007) mostra que em 2005/2006 os  
valores das formas de nitrato eram dez vezes superiores aos encontrados por  
Barbosa *et al* (1993) alcançando em algumas épocas do ano  $90 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

245 As mudanças nas variáveis físicas e químicas foram acompanhadas por  
mudanças na composição das comunidades aquáticas da lagoa. A perda de  
diversidade foi verificada tanto para a fauna bentônica, quanto para a ficoflórula e  
para a ictiofauna. Com eliminação de representantes de *taxa* de organismos  
bentônicos indicadores de água de boa qualidade (Santos, 1998) e do peixe  
*Characidium lagoasanteis*, típico da região (Pompeu & Alves, 2003), e dominada por  
250 cianobactérias (Figueredo, 2007).

255

260

265

270

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

275

AGUIAR, R. **2001**. Um botânico em Lagoa Santa: Lund lança base da ecologia no Brasil com estudo paleontológico de grutas mineiras. *Ciência Hoje Online*. Acesso em 25 de fevereiro de 2009. Disponível em <http://cienciahoje.uol.com.br/materia/view/1664>

280

BARBOSA, F. A. R.; COUTINHO, M. E.; ARAÚJO, L. M.; MENENDEZ, R. M.; BARBOSA, P. M. M.; FIGUEIRA, J. E. C. & ESTEVES, F. A. **1984**. Estudos Limnológicos na Região Cárstica Central de Minas Gerais. I. Caracterização preliminar da Lagoa Santa, MG. *In: IV Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, SP, 399-437*.

285

BARBOSA, F.A.R.; RYLANDS, A.B. & OLIVEIRA, S.J. **1993**. Drastic decrease in algal diversity caused by human impact on an urban lake in south-east Brazil. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische un angewandte Limnologie*, 25: 939-941

290

CARLSON, R. E. **1977**. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22: 361-369.

COLE, G. A. **1994**. *Textbook of Limnology*. 4 ed. Illinois: Waveland Press.

295

COUTINHO, M. E. & BARBOSA, F.A.R. **1986**. Distribuição Vertical de Matéria Orgânica, Nitrogênio Orgânico Total, Fósforo Total e Algumas Formas Iônicas dos Sedimentos Recentes de 3 Lagos de Minas Gerais. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1: 401-429.

DODSON, S. I. **2005**. *Introduction to limnology*. 1 ed. McGraw Hill: New York.

300

FIGUEREDO, C. C. **2007**. *Dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju na lagoa central de Lagoa Santa (MG)*. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GODLEWSKA, M. & SWIERZOWSKI, A. **2003**. Hydroacoustical parameters of fish in reservoirs with contrasting levels of eutrophication. *Aquatic Living Resources*, 16 (3): 167-173.

305

KOHLER, H. C. **1978**. A evolução morfogenética da Lagoa Santa – MG. *In: Anais XXX Congresso de Geologia, Recife*. 1:147-153.

- KRUMME, U., **2004**. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder. *Fisheries Research*, 70 (1): 1-15.
- LUND, P. W. **1840**. Nouvelles recherches sur la faune fossile du Brésil. *Annales des Sciences Naturelles Zoologie*, 2(13).
- 310 LUND, P. W. **1863** *apud* MATTOS, A. 1939. *Peter Wihelm Lund no Brasil: problemas de paleontologia brasileira*. Brasiliana série 5ª vol. 148. Cia Ed. Nacional – São Paulo.
- PARIZZI, M. G.; SALGADO-LABOURIAU, M. L. & KOHLER, H. C. **1998**. Geneses and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. *The Holocene* 8: 311-321.
- 315 PINTO, M. P.; BINI, L. M. & DINIZ-FILHO, J. A. F. **2003**. Análise quantitativa da influência de um novo paradigma ecológico: autocorrelação espacial. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, Maringá, 25(1): 137-143.
- 320 PINTO-COELHO, R. M. **1998**. Effects of eutrophication on seasonal patterns of mesozooplankton in a tropical reservoir: a 4-year study in Pampulha Lake Brazil. *Freshwater Biology*, 40: 159-173.
- POMPEU, P. S. & ALVES, C. B. M. **2003**. Local fish extinction in a small tropical lake in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 1(2): 133-135.
- 325 PREFEITURA MUNICIPAL DE LAGOA SANTA-MG. Secretaria do Meio Ambiente. **2008**. *Programa Lagoa Viva Revitalização e gestão compartilhada da bacia da Lagoa Central*. p. 68.
- PROUS, A.; FOGAÇA, E. & RIBEIRO, L. **1998**. Patrimônio arqueológico. *In: APA Carste de Lagoa Santa – Patrimônio Espeleológico, Histórico e Cultural*. Belo Horizonte, CPRM/ IBAMA. 22 p., anexos e mapas. (Série APA Carste de Lagoa Santa, volume III).
- 330 SALAS, H. J. & MARTINO, P. **1991**. A Simplified Phosphorus Trophic State Model for Warm-Water Tropical Lakes. *Water Research*, 25(3): 341-350.
- SANTOS, M.B.L.; ROCHA, L. A. ; MARQUES, M. M. G. S. M. & BARBOSA, F. A. R. **1998**. Diversidade e abundância da fauna bentônica de cinco lagoas do karste do planalto de Lagoa Santa, MG. *In: Nessimian, J.L., Carvalho L. (Org.). Ecologia de Insetos*, Série Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, 1998, 5: 77-89.
- 335

- 340 STRAŠKRABA, M. & TUNDISI, J. G. **1999**. *Reservoir Water Quality Management*.  
Kioto: ILEC.
- SWIERZOWSKI, A.; GODLEWSKA, M. & PÓLTORAK, T. **2000**. The relationship  
between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental  
parameters in the Solina reservoir, Poland. *Aquatic Living Resources*. 13: 373-  
377.
- 345 TAYLOR, J. C. & MAXWELL, S. L. **2007**. Hydroacoustics: Lakes and Reservoirs. In:  
JOHNSON, D. H. *et al* (Org.). *Salmonid Field Protocols Handbook: Techniques  
for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*. Herndon:  
American Fisheries Society in association with State of the Salmon. p. 153-172.
- UN-Water. **2007**. Outcome of Seminar Coping with Water Scarcity. Outcome of the  
350 Seminar on Coping with Water Security, 23 August, Stockholm. Visualizado em  
22 de Janeiro de 2009. Disponível em: [http://www.unwater.org/www-  
seminar2.html](http://www.unwater.org/www-seminar2.html)
- UNEP (United Nations Environment Programme)/ GIWA (Global International Waters  
Assessment). **2006**. *Challenges to International Waters: Regional Assessments in  
a Global Perspective. Global International Waters Assessment Final Report*.  
355 Nairobi: United Nations Environment Programme.
- UNEP (United Nations Environment Programme). **2009**. *Water security and  
ecosystem services: The critical connection*. Nairobi: United Nations Environment  
Programme.
- 360 UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization). **2009**.  
*The United Nations World Water Development Report 3 – Water in a Changing  
World*. Londres: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- VOLLENWEIDER, R. A.; GIOVANARDI, F.; MONTANARI, G. & RINALDI, A. **1998**.  
Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special  
365 reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and  
generalized water quality index. *Environmetrics*, 9: 329–357.
- WWAP (World Water Assessment Programme). **2006**. *The United Nations World  
Water Development Report 2. Water: A Shared Responsibility*. Paris: United  
Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, and New York:  
370 Berghahn Books.

## 1 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA LAGOA CENTRAL (LAGOA SANTA – MG): COMPARAÇÃO DE DUAS METODOLOGIAS

375

---

### Resumo

O presente estudo avaliou a precisão de dois protocolos usados para a confecção de uma carta batimétrica para a Lagoa Central (Lagoa Santa, MG, Brasil). Numa segunda etapa, o estudo estimou todos os parâmetros morfométricos primários e secundários desse ambiente. Finalmente, o estudo

380 avaliou a importância dessas informações na qualidade de água e na ecologia geral do sistema. Os protocolos foram baseados no uso de dois sistemas distintos usados para o levantamento batimétrico: uma ecossonda Biosonics DT-X (Biosonics Inc.) e um Ecobatímetro SonarLite (Ohmnex Ltda), ambos acoplados a um D-GPS (Differential Global Positioning System) para a obtenção das coordenadas geográficas de cada profundidade medida. A Lagoa Central de Lagoa Santa é um

385 pequeno lago natural, raso ( $Z_{\max} < 7,5$  m), com profundidade relativa baixa ( $Z_r = 0,5\%$ ) e formato côncavo. Essas características a tornam menos propensa à formação de estratificação térmica estável e, portanto, menos sensível à formação de gradientes químicos verticais na coluna de água. Essa configuração pode ser vista como um dos fatores principais que impedem o agravamento do processo de eutrofização verificado nesse sistema.

390 **Palavras-chave:** batimetria, biosonic, ecobatímetro

---

### Abstract

The goal of this study was to verify the utility and accuracy of two tools to obtain a bathymetric chart

395 for Lagoa Central (Lagoa Santa, State of Minas Gerais, Brazil) and also to assess the morphometric parameters of the lake and their implications in the ecology of this system. The tested tools were the echosounder Biosonics DT-X (Biosonics Inc.) and the echobathymeter SonarLite (Ohmnex Ltda), both coupled to a Differential Global Positioning System (DGPS) to obtain the geographic coordinates associated with the depth in each point. The Lagoa Central is a small, shallow ( $Z_{\max} < 7.5$  m), with low

400 relative depth value ( $Z_r = 0.5\%$ ) and concave. This makes the water body less prone to thermic stratification and more susceptible to eutrophication. Both investigated equipments demonstrated to be suitable for the survey, user-friendly, low-cost and with sub-metric accuracy.

**Keywords:** bathymetry, biosonics, ecobathymetry.

---

405

## 410 INTRODUÇÃO

Morfologia é a ciência que tem por objetivo o estudo da forma de determinado elemento, organismo ou sistema. Sendo assim, a morfometria de um ecossistema lêntico consiste na medição de vários elementos físicos que definem sua forma ou estrutura e envolve ainda o estudo de sua origem e da influência da forma sobre as  
415 características, físicas, químicas e biológicas do ecossistema (Sperling, 1994 e 1999).

A morfometria dos corpos d'água tem efeitos relevantes sobre quase todas as variáveis físicas, químicas e biológicas dos lagos (Wetzel, 1993). Tais como, o balanço de nutrientes, a estabilidade térmica da coluna d'água, a produtividade  
420 biológica, o consumo de oxigênio (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2002), a distribuição de organismos e de compostos químicos em suas formas dissolvidas e particuladas (Sperling, 1999). Além disso, a análise dos dados morfométricos possibilita a avaliação da capacidade de assimilação de impactos decorrentes da entrada de efluentes, taxas de acumulação e padrões de dispersão de poluentes  
425 (Fantin-Cruz *et al*, 2008).

O conhecimento dos parâmetros morfométricos é de fundamental importância para que se possa entender o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. O volume, por exemplo, é essencial para estimar a capacidade de suporte para a produção de peixes e a área da superfície é um fator determinante para a  
430 profundidade da termoclina (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2008). Segundo Resck *et al* (2008), as cartas batimétricas constituem um importante subsídio para a realização de estudos de evolução de assoreamento. Já Rasmussen *et al* (2007) demonstraram que a morfometria do lago pode ser uma variável importante para se modelar o processo de bioacumulação de mercúrio. Logo, o estudo correto da  
435 morfometria de ambientes lênticos é essencial para o manejo e monitoramento desses sistemas.

O estudo das dimensões de um lago não é recente, mas sempre foi negligenciado pelos limnólogos por ser, na época, um estudo que demandava um longo tempo para ser executado e exigia pessoal altamente especializado para a  
440 sua execução (agrimensores, geógrafos e engenheiros). Esse cenário mudou radicalmente com a evolução dos sistemas digitais de aquisição de dados sobre coordenadas geográficas, com o advento de uma série de programas de georeferenciamento que oferecem interfaces mais amigáveis e com os notáveis

avanços tecnológicos na fabricação de eco sondas. Além disso, a base cartográfica  
445 pode ser substancialmente melhorada com a disponibilização (em muitos casos  
gratuitamente) de fotografias aéreas, imagens de satélites, etc (Sperling, 1999).

Na última década, a capacidade tecnológica deu um salto ainda maior com o  
advento do D-GPS (*Differential Global Positioning Systems*) que permitiu ao usuário  
obter coordenadas geográficas com precisão submétrica. Esses novos sistemas  
450 foram especialmente desenhados para uma pronta exportação de seus dados para  
sistemas de informações geográficas (SIG).

Apesar dos notáveis avanços tecnológicos obtidos nessa área do  
conhecimento, vários autores relatam que essas novas ferramentas não têm sido  
empregadas no Brasil do modo como seria esperado. Esse descompasso pode ser  
455 explicado, em primeiro lugar, pelo alto custo dos equipamentos e pela falta de  
pessoal devidamente capacitado a utilizá-lo (Sperling, 1994; Bezerra-Neto & Pinto-  
Coelho, 2008; Fantin-Cruz *et al*, 2008).

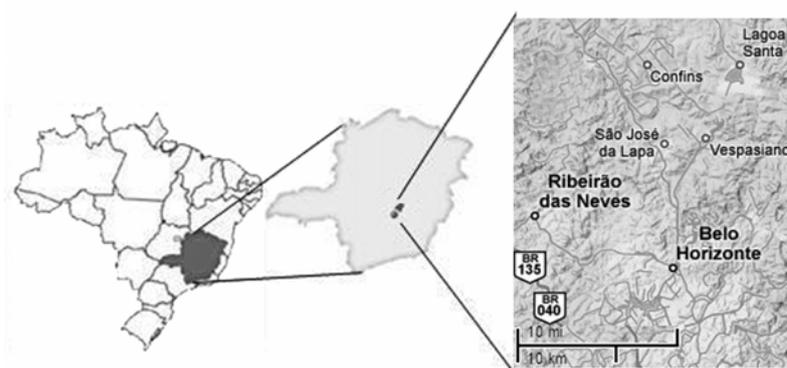
Os estudos sobre as características morfométricas desses ecossistemas e  
sobre as possíveis relações entre morfologia e qualidade de água são de grande  
460 relevância considerando-se, sobretudo, a aplicação imediata dos resultados obtidos  
no desenvolvimento de novas estratégias para a recuperação e preservação desse  
tipo de ecossistema. Dentro desse contexto, o presente estudo tem como objetivo  
estimar as principais características morfométricas da Lagoa Central (Lagoa Santa,  
MG) e discutir suas implicações na limnologia deste ambiente. Usando para tanto  
465 dois equipamentos e avaliando a viabilidade e diferenças no uso de ambos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### *Área de Estudo*

470 A Lagoa Central está localizada no município de Lagoa Santa (Fig. 1), região  
metropolitana de Belo Horizonte, MG. A bacia de captação desse lago está situada  
na área urbana do município que por sua vez insere-se na bacia do alto Rio das  
Velhas. Trata-se de uma região formada por planaltos com relevos pouco  
acentuados, altitude média de 800 m, clima tropical e temperatura média anual de  
475 22°. A Lagoa Central é relativamente recente e foi formada há cerca de 6.100 –  
5.000 anos devido ao deslizamento de terras, causado por chuvas torrenciais, que  
obstruiu a água que corria no vale (Pompeu & Alves, 2003).

Lagoa Santa faz parte de um dos principais sistemas lacustres do Brasil: o sistema de lagos na região calcária, na região metropolitana de Belo Horizonte, MG. Sabe-se que a lagoa central da cidade de Lagoa Santa era um ecossistema muito rico em diversidade da vida aquática, elevada transparência e baixos índices de nutrientes essenciais, além de uma grande beleza cênica. Porém, o aumento indiscriminado do aporte de esgoto, o lançamento de loteamentos mal planejados, o assoreamento e a introdução de espécies exóticas de peixes, principalmente tilápias (*Tilapia rendalii*), causaram uma drástica mudança na paisagem natural da lagoa. Atualmente, a lagoa sofre com florações de cianobactérias, mau cheiro, acúmulo de lixo, baixa transparência de água e eventuais mortandades de peixes. Sendo certa a necessidade de implantação imediata de um programa de recuperação ecológica da lagoa.



490

**Figura 1:** Localização da Lagoa Central, município de Lagoa Santa, MG.

### *Coleta de Dados*

Com o intuito de comparar duas ferramentas para o levantamento batimétrico do lago, realizou-se duas campanhas: uma para a coleta de dados utilizando o ecobatímetro SonarLite (Ohmex Ltda.) e outra utilizando a ecossonda Biosonics DT-X (Biosonics Inc.). As duas campanhas na Lagoa Central foram realizadas no início e ao fim do período de chuva (outubro/2007 e abril/2008 respectivamente).

- Biosonics DT-X

500

A ecossonda Biosonic DT-X estava equipada com um transdutor digital split-beam que emite pulsos na frequência de 200 KHz. Esse transdutor foi posicionado verticalmente a uma profundidade de 0,5 m na lateral do barco. A sonda Biosonics

foi acoplada a um DGPS (*Differential Global Positioning System*) AGPS 132 (Trimble Co.), que é capaz de gerar e enviar - via protocolo NMEA - as coordenadas geográficas pós-processadas *in situ* através da assinatura do serviço de satélite (OmniSTAR Inc.) juntamente com as profundidades a elas associadas. Os dados coletados foram enviados imediatamente pela própria ecosonda a um lap top, devidamente equipado com um *software* de aquisição de dados (Visual Acquisition, Biosonics, Inc.) e para o processamento (Visual Bottom Analyzer, Biosonics, Inc) numa frequência de 01 grupo de registros (X,Y e Z) a cada 02 segundos. Esses equipamentos foram acoplados a um sistema de fornecimento de energia que é composto por uma bateria automotiva (12V, 54 A) que foi conectada a um conversor para energia alternada (127V, 10 A) que confere uma autonomia mínima de 6 horas de operação em uma embarcação.

A obtenção dos dados foi feita seguindo-se transectos tomados em sentidos paralelos procurando cobrir todo o espelho de água (Fig. 2a), perfazendo um percurso de 8,7 km. Esses transectos foram importados para um GPS 76 (Garmin Ltda.) através do programa GPS TrackMaker versão 13.4 (GPS TrackMaker®). Esse GPS também foi utilizado para controlar a velocidade do barco, que foi mantida a aproximadamente 8 km.h<sup>-1</sup> e para a orientação da embarcação no campo. Medidas únicas de profundidade foram feitas onde a navegação não era possível (presença de paliteiros) ou quando a profundidade era menor do que 1m.

Após o processamento dos dados pelo *software* Visual Bottom Typer 2.0 (Biosonics Inc.), foi criado um arquivo texto com dados que incluíam latitude, longitude e profundidade que poderia ser importado por diferentes tipos de aplicativos de georeferenciamento (SIG). Antes de exportar os dados para os *softwares* SIG, todas as coordenadas foram transformadas de coordenadas esféricas para coordenadas planas em UTM *datum* (WGS-84).

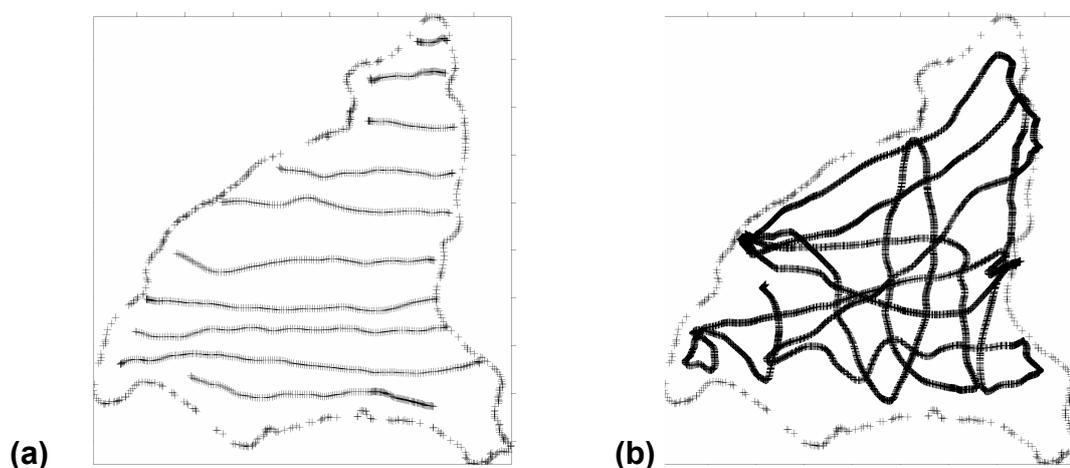
- Ecobatímetro SonarLite

O Ecobatímetro SonarLite (Ohmnex Ltda.) foi acoplado ao D-GPS AgGPS 132 (Trimble Co.) com pós-correção de dados *in situ*, via assinatura de satélite (OmniSTAR Inc.). O *datum* e o sistema de coordenadas utilizado foram o WGS-84 e UTM, respectivamente. O transdutor foi posicionado verticalmente a uma profundidade de 0,5 m na lateral do barco

A forma de cobertura da superfície do lago foi também diferenciada. A embarcação percorreu o lago com velocidade constante (aproximadamente 8 km.h<sup>-1</sup>)

fazendo um caminhamento do tipo zig-zag de modo a cobrir toda a extensão do corpo d'água (Fig. 2b), percorrendo um total de 14,8 km. Para auxiliar nesse percurso e na manutenção da velocidade foi utilizado um GPS convencional (Garmin 540 76).

Através de uma porta serial (RS32) o SonarLite foi conectado ao computador e as coordenadas X e Y e profundidade foram importadas para um arquivo em formato de texto do tipo ASCII utilizando o *software* SonarXP<sup>®</sup> (Ohmnex Ltda). As diferentes estratégias de cobertura da superfície do lago podem ser vistas na figura 545 2.



**Figura 2:** Visualização dos transectos (a) percorridos com a Biosonics DT-X (8,7 km) e (b) com o Ecobatímetro SonarLite (14,8 km).

Um ponto importante para que se possa obter realmente a precisão submétrica das sondagens se refere à consolidação da base cartográfica ou das imagens de satélites usadas para se obter o perímetro da lagoa, que também deve ter precisão submétrica. Isso foi feito com a tomada de uma série de pontos de controle na orla da lagoa. Os dados das coordenadas dos pontos controle foram 555 obtidos com o D-GPS GTR-A<sup>®</sup> (TechGeo Ltda). Eles foram pós-processados e, a seguir, usados para o georeferenciamento do contorno da lagoa, no programa Digger 3.0<sup>®</sup> (Golden Software Inc.) a partir de imagem de alta resolução obtida através do programa Google Earth<sup>®</sup> (Google Inc.). Detalhes dessa metodologia estão descritos em Resck (2007).

560

### *Confecção da Carta Batimétrica e Cálculo de Parâmetros Morfométricos*

565 A confecção da carta batimétrica e as estimativas dos parâmetros morfométricos foram obtidos através dos mesmos procedimentos, descritos logo a seguir.

570 Utilizou-se o programa Surfer 8.0<sup>®</sup> (Golden Software Inc.) para a confecção da carta batimétrica. Antes de iniciar a confecção, incorporou-se na tabela com os dados de coordenadas e profundidades os dados do contorno da lagoa, para os quais foi atribuída a profundidade 0. Em seguida, foi gerado um mapa isobatimétrico com curvas de igual profundidade (isolinhas) através do método de interpolação de dados de *kriging*. Este método foi escolhido por ser bastante utilizado na área de recursos hídricos (Santos & Lucena, 2005).

575 A segunda etapa do levantamento batimétrico consistiu na estimativa dos parâmetros morfométricos primários e secundários. A profundidade máxima ( $Z_m$ ) foi retirada diretamente do banco de dados de campo. O perímetro, o comprimento máximo e a largura máxima foram obtidos através de ferramentas do programa Google Earth<sup>®</sup> (Google Inc.). Volume e área total da superfície foram calculados a partir de sub-rotinas do programa Surfer. Esse programa usa três diferentes métodos para estimar o volume do lago: regra trapezoidal, regra de Simpson e regra de Simpson 3/8. Considerou-se a média dos três métodos para o cálculo do volume da Lagoa Central. Para a construção das curvas hipsográficas de acordo com Cole (1994) foram calculados volumes e áreas entre as camadas de profundidade espaçadas de metro em metro. Os parâmetros secundários – profundidade média (580  $\bar{Z}$ ), profundidade relativa ( $Z_r$ ), índice de desenvolvimento de perímetro ( $D_p$ ), índice de desenvolvimento de volume ( $D_v$ ), largura média ( $L_m$ ) e declividade média ( $\alpha$ ) – foram estimados de acordo com Wetzel (1993) e Sperling (1999).

## 590 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *Comparação de Metodologias*

Um total de 1.036 pontos foi obtido com a ecossonda DT-X. Já o sonar SonarLite da Ohmex capturou 18.794 pontos. Foi gerado então um mapa isobatimétrico com curvas a cada 1 m de profundidade (Fig. 3). De acordo com Cole (1994), a acurácia de cada carta batimétrica é diretamente dependente do número (595 de pontos amostrados. A diferença entre a quantidade de pontos entre as duas

abordagens metodológicas foi de 95% o que não interferiu na qualidade dos resultados, visto que não houve diferença significativa nos parâmetros morfométricos (Tabela 1).

600 Entre os parâmetros primários, o volume total e a profundidade máxima foram ligeiramente maiores quando estimados com o SonarLite (3 e 6% respectivamente). Como eles são usados para calcular alguns parâmetros secundários, essa pequena diferença foi notada entre os valores de outros parâmetros.

605 Visto que em ambas as campanhas (apesar de terem ocorrido em datas diferentes) a cota altimétrica foi a mesma (aproximadamente 809 m) a pequena diferença dos valores de alguns parâmetros pode ser devido ao número de pontos amostrados com cada ferramenta, a diferenças dos equipamentos (e.g. na biosonics DT-X a velocidade do som na água é calculada de acordo com a temperatura e a salinidade da água do ecossistema no dia da coleta –  $1504,16 \text{ m.s}^{-1}$ , o que não  
610 ocorre no ecobatímetro SonarLite, que faz o cálculo da profundidade usando um valor *default* para a velocidade do som -  $1400 \text{ a } 1600 \text{ m.s}^{-1}$ ), as diferentes formas de cobertura, ou ainda, a somatória desse conjunto de variáveis.

#### *Parâmetros Morfológicos: avaliação ecológica*

615 A Lagoa Central pode ser classificada como pequena (área  $1 - 10^2 \text{ Km}^2$  e volume  $10^6 - 10^8 \text{ m}^3$ ) (Straskraba, 1999). O relevo do fundo do reservatório, evidenciado através do mapa batimétrico (Fig. 3), apresenta uma inclinação regular, aumentando da margem para o centro, onde atinge sua profundidade máxima (6,86 - 7,30 m). Nessas figuras, é possível notar com clareza a existência de uma zona  
620 onde possivelmente exista um intenso processo de assoreamento (pequeno braço a SE, onde há uma grande superfície com profundidades iguais ou menores do que 1,0 metro). Segundo informações prestadas pela secretaria do Meio Ambiente do município de Lagoa Santa, é exatamente nessa região que chega um dos tributários mais poluídos à lagoa, com forte contaminação por esgotos não tratados bem como  
625 com elevada carga de sólidos, durante a estação chuvosa.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos da Lagoa Central.

Parâmetros Morfométricos		
Perímetro (P)*	6.467,20 (m)	
Comprimento Máximo (L <sub>e</sub> )*	1.959,76 (m)	
Largura Máxima (W <sub>e</sub> )*	1.573,16 (m)	
Índice de Desenvolvimento de Perímetro (D <sub>p</sub> )*	1,38	
	<b>Biosonics DT-X</b>	<b>Ecobatímetro SonarLite</b>
Volume (V)	6,8x10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> )	7,06 x10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> )
Área (A)	1,7 x10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )	1,7 x10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )
Profundidade Média ( $\bar{Z}$ )	3,89 (m)	4,03 (m)
Profundidade Relativa (Z <sub>r</sub> )	0,50%	0,49%
Índice de Desenvolvimento de Volume (D <sub>v</sub> )	1,70	1,66
Largura Média (L <sub>m</sub> )	893,5 (m)	893,55 (m)
Declividade Média ( $\alpha$ )	0,92%	0,98%
Profundidade Máxima (Z <sub>m</sub> )	6,86 (m)	7,30 (m)

\*esses parâmetros foram obtidos através da imagem de satélite da lagoa, não sendo, portanto estimadas a partir da comparação das duas ferramentas

635

A profundidade do lago ou represa é um dos parâmetros morfométricos de maior relevância limnológica. As diferenças limnológicas são notáveis entre ambientes rasos e profundos (Sperling, 1999). Lagos rasos por estarem mais sujeitos à ação do vento são mais propensos a serem polimíticos enquanto os lagos profundos são em geral monomíticos ou dimíticos. Lagos rasos, em sua maioria, são mais produtivos do que lagos profundos e permitem uma maior colonização por vegetação do tipo macrófitas. Impactos humanos tais como o lançamento de esgotos ou o assoreamento são mais rapidamente visíveis nos ambientes rasos. Já os lagos mais profundos, uma vez afetados pelas atividades humanas são muito mais difíceis de serem recuperados, uma vez que apresentam um quadro típico de eutrofização cultural. Todas essas características, no entanto, dependem do

640

645

entorno, do clima regional e de outras variáveis hidrológicas tais como a vazão dos tributários, por exemplo.

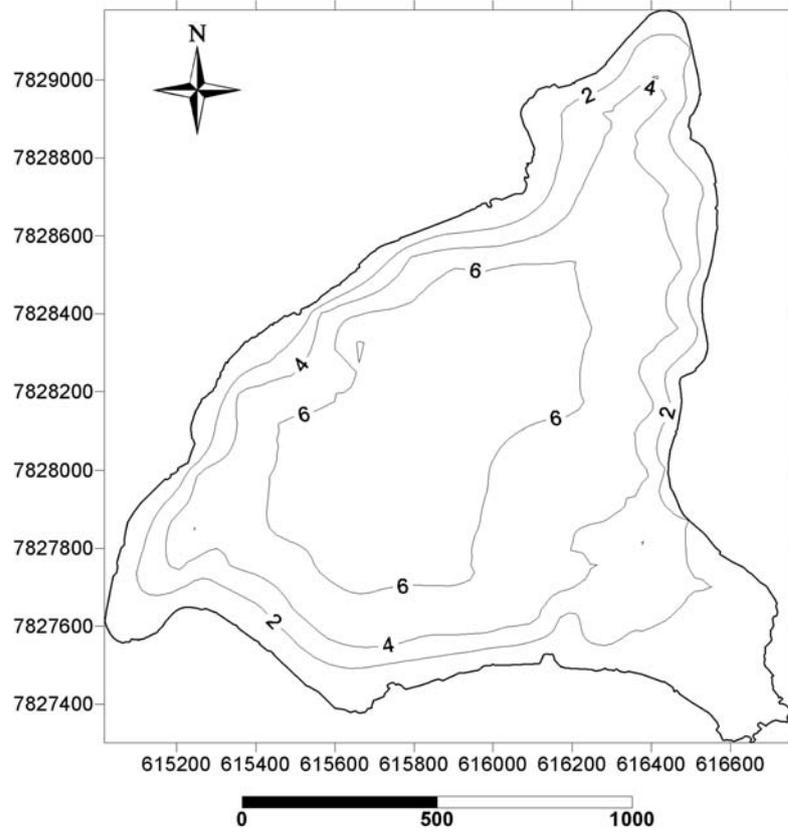
A Lagoa Central apresentou valores baixos para as profundidades máxima, média e relativa (7,3; 4,06 m e 0,50%). Isso sugere uma baixa estabilidade térmica da coluna d'água, uma vez que, a profundidade máxima é um indicativo relevante da formação de perfis térmicos (Sperling, 1994). Já a profundidade média está relacionada ao balanço de massa e conseqüentemente aos processos de mistura que ocorrem num lago ou reservatório (Sperling, 1999). Além disso, o reduzido valor de profundidade relativa podem ser indicativo de que a Lagoa Central é um ambiente caracterizado pela grande exposição do corpo d'água à ação dos ventos predominantes na região (Fantin-Cruz *et al*, 2008).

A conformação da bacia de um sistema lêntico pode ser caracterizada pelo índice de desenvolvimento de volume ( $D_v$ ) (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2002). No caso da Lagoa Central o  $D_v > 1$  indica o seu formato côncavo o que acentua ainda mais a exposição desse lago à ação do vento (Sperling, 1999). Uma visão tridimensional da Lagoa Central (Fig. 4) permite uma boa percepção do formato côncavo da lagoa (em forma de U).

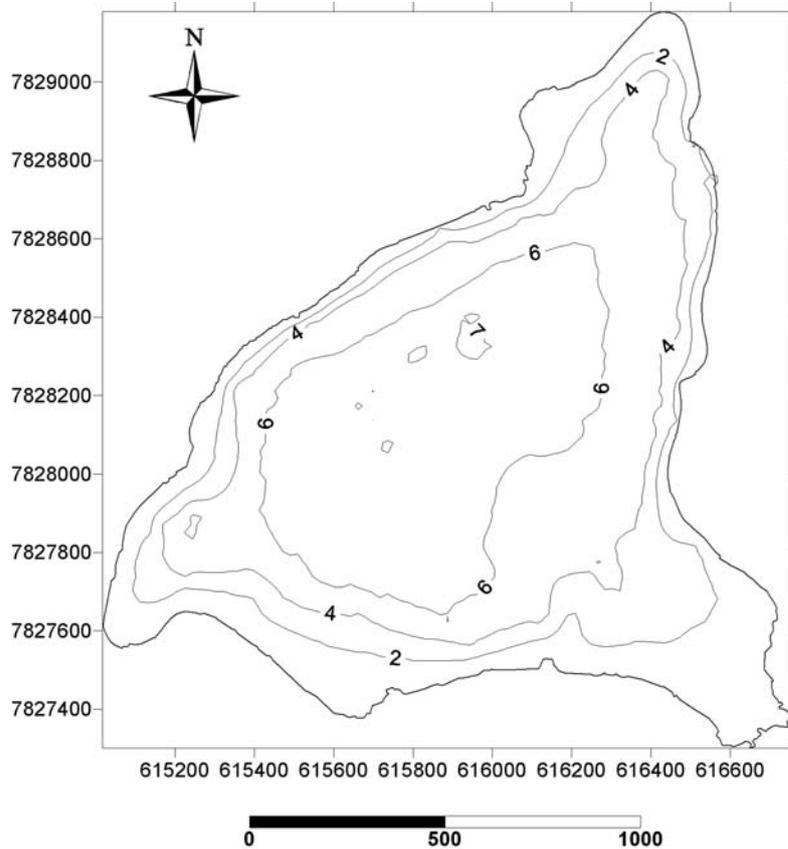
Outra maneira de evidenciar a forma da bacia é através das curvas hipsográficas, profundidade-área e profundidade-volume (Figuras 5 e 6). Essas curvas são importantes nos estudos limnológicos devido à relação entre produtividade biológica e a área e o volume de águas rasas (Wetzel, 1993). Na Lagoa Central, a maior parte da área e do volume (cerca de 80%) se encontra em profundidades menores que 1 m.

O índice de desenvolvimento do perímetro ( $D_p$ ) tem um interesse considerável porque reflete o potencial de colonização das margens por comunidades litorâneas. Quanto maior o  $D_p$ , maior a importância da região litorânea no ecossistema (Wetzel, 1993). Uma vez que, as comunidades litorâneas funcionam como um assimilador de impactos, lagos irregulares com comunidade litorânea bem desenvolvida e diversificada possuem uma maior resistência à eutrofização e ao assoreamento (Sperling, 1999). Esse não é o caso da Lagoa Central, que é considerada aproximadamente circular ( $D_p$  próximo de 1) e, ainda, possui as margens bem modificadas, sem a presença de vegetação litorânea.

(a)

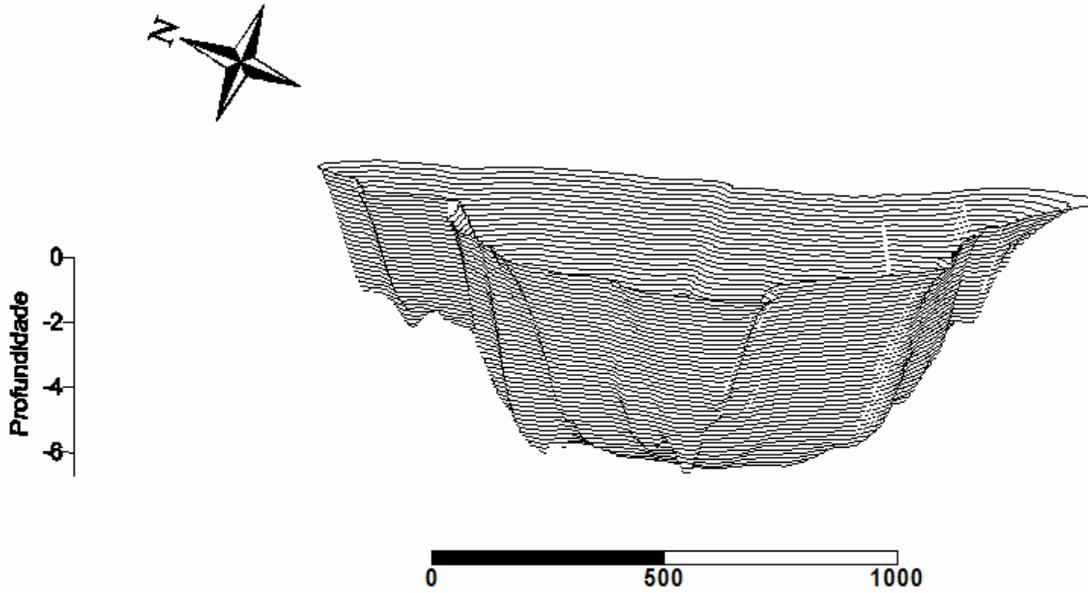


(b)



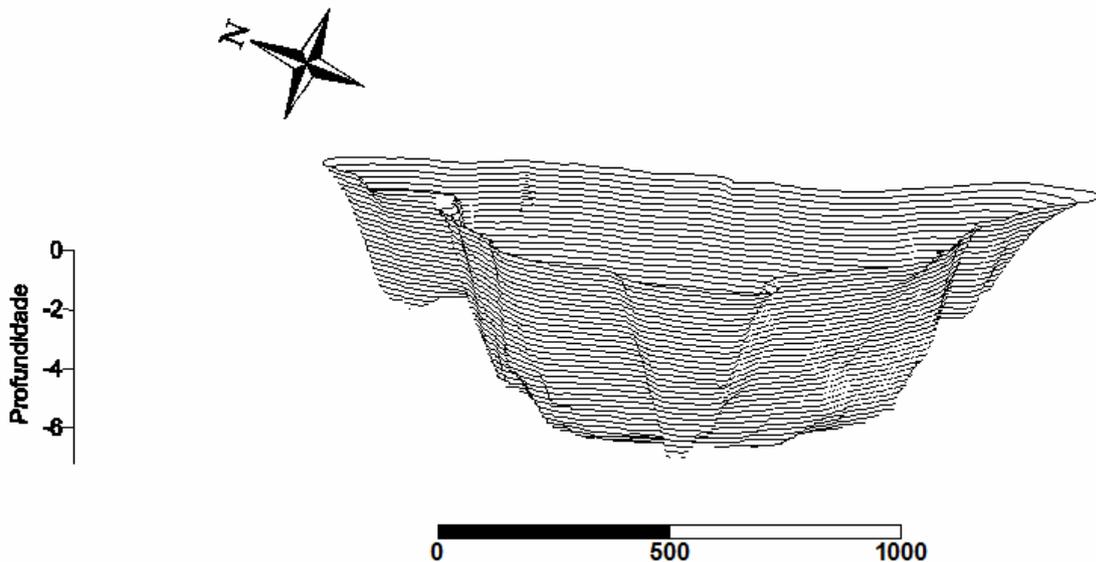
685 **Figura 3:** Batimetria da Lagoa Central (a) Biosonics DT-X e (b) Ecobatímetro Sonar Lite

(a)

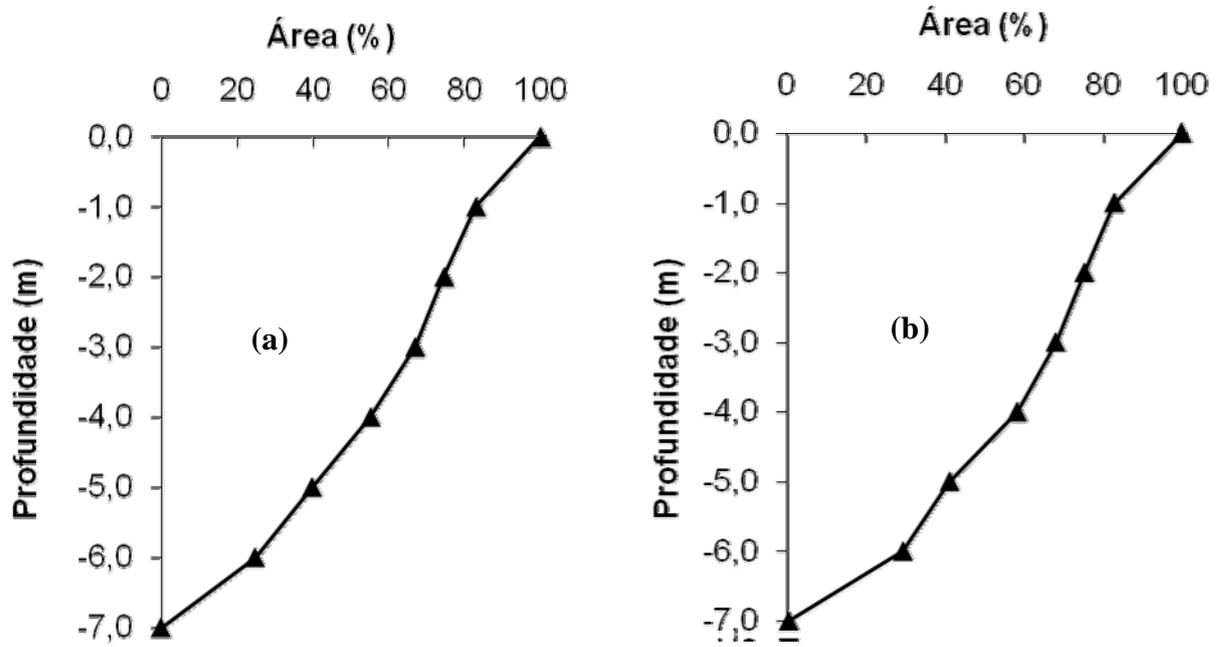


690

(b)

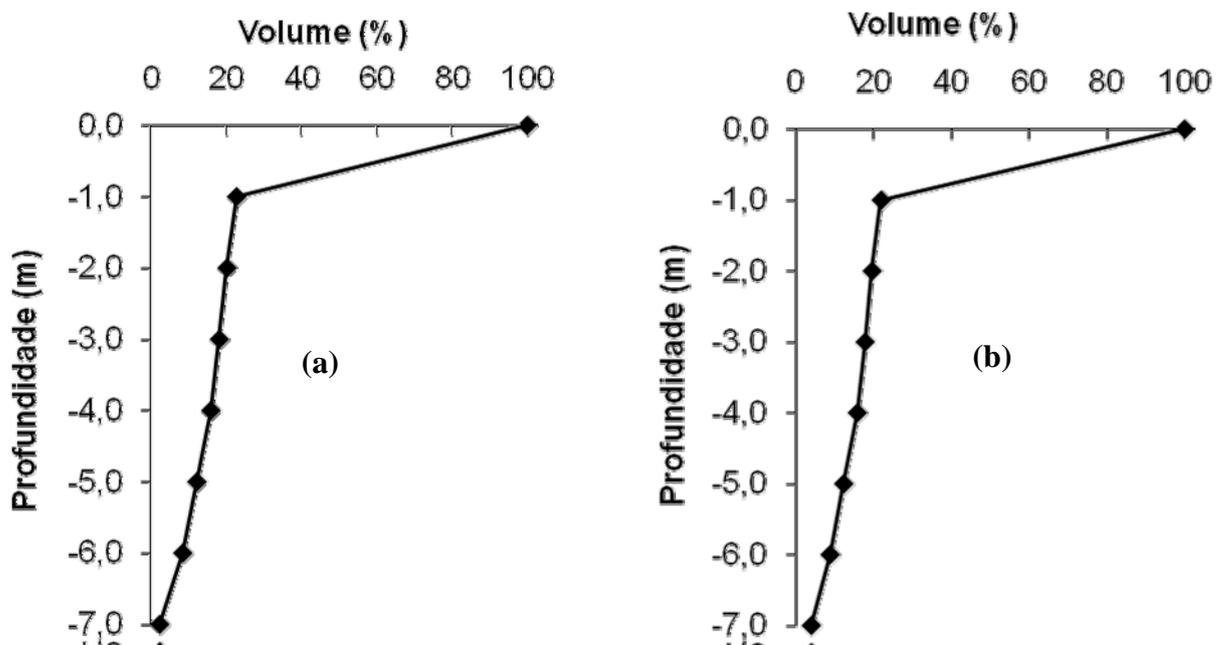


695 **Figura 4:** Perfil batimétrico da Lagoa Central em perspectiva 3D (a) Biosonics DT-X e (b) Ecobatímetro Sonar Lite. Fig. 04. A dimensão vertical foi exagerada tendo em vista uma melhor compreensão da morfometria do lago. Para maiores detalhes sobre a morfometria da lagoa vide a Tabela 01.



700 **Figura 5:** Curvas hipsográficas profundidade-área (a) Biosonics DT-X e (b) Ecobatímetro SonarLite.

705



710 **Figura 6:** Curvas hipsográficas profundidade-volume (a) Biosonics DT-X e (b) Ecobatímetro SonarLite.

## CONCLUSÃO

O presente estudo foi capaz de mostrar que ambas as ferramentas (ecossonda Biosonics DT-X e Ecobatímetro SonarLite) são úteis no levantamento da morfometria de corpos lênticos e providenciam resultados muito similares para os diversos parâmetros. O uso da ecossonda é um procedimento recente, mas, assim como o Ecobatímetro, é um método que permite gerar uma carta batimétrica rapidamente e com precisão submétrica. É um equipamento que permite mudanças na configuração de coletas de dados (velocidade do som, profundidade máxima de estudo, entre outras), podendo ser adequado a diferentes situações e diferentes ecossistemas. Além disso, a ecossonda pode ser utilizada para estudos da ictiofauna e de populações de macrófitas submersas. No entanto, o ecobatímetro é uma ferramenta mais simples, de utilização no campo mais fácil (não exige o acompanhamento de um computador portátil, por exemplo) e tem o custo de aquisição menor do que o custo de aquisição da ecosonda Biosonics DT-X.

As estimativas dos parâmetros morfométricos para a Lagoa Central nesse estudo são de grande importância para gestão ambiental do sistema. A baixa profundidade média e o índice de desenvolvimento de volume estimado são características que impedem o estabelecimento de gradientes químicos muito estáveis ou uma elevada compartimentação da lagoa. Nesse sentido, os valores dessas variáveis obtidos nesse estudo sugerem que eles sejam importantes para a manutenção de uma boa qualidade de água mesmo sob condições de intenso aporte de matéria orgânica, sedimentos e nutrientes que possivelmente chegam hoje ao lago. Por outro lado, a ausência de conexões com outros corpos d'água e o seu volume relativamente reduzido são condições que podem agravar o quadro de eutrofização do sistema. Assim, pode-se generalizar que a Lagoa Central possui uma tendência a instabilidade física e que essa instabilidade tem impedido que o lago sofra uma rápida degradação ecológica como é observado em sistemas urbanos similares do ponto de vista de comprometimento de bacia, mas que possuem outra morfometria (ex: represa da Pampulha). Por outro lado, as características morfométricas aqui apresentadas também explicam porque tem sido extremamente difícil para os gestores do lago recuperarem a zona litorânea que originalmente existia no ambiente.

Outro ponto a ser destacado, é que o estudo foi capaz de identificar claramente a existência de uma região muito rasa, onde possivelmente exista um

745 intenso processo de assoreamento. Os autores sugerem aos gestores municipais que seja feito o monitoramento periódico dessa região com vistas ao seu comprometimento com a entrada de sedimentos.

## 750 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEZERRA-NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. **2002**. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum*. Maringá, 24(2): 285-290.
- BEZERRA-NETO, J. F. & PINTO-COELHO, R. M. **2008**. New morphometric study of  
755 Lake Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais: utilization of advanced methodology for bathymetric mapping. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20: 117-130.
- COLE, G. A. **1994**. *Textbook of Limnology*. 4 ed. Illinois: Waveland Press.
- FANTIN-CRUZ, I.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. & GIRARDI, P. **2008**. Caracterização  
760 morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 30(2): 133-140.
- POMPEU, P. S. & ALVES, C. B. M. **2003**. Local fish extinction in a small tropical lake in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 1(2): 133-135.
- RASMUSSEN, P. W.; SCHRANK, C. S. & CAMPFIELD, P. A. **2007**. Temporal  
765 trends of mercury concentrations in Wisconsin walleye (*Sander vitreus*), 1982–2005. *Ecotoxicology*. 16: 541–550.
- RESCK, R. ; BEZERRA-NETO, J. F. & PINTO-COELHO, R. M. **2008**. Nova batimetria e uma avaliação ecológica de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil). *Revista Geografias*, 5: 10.
- 770 RESCK, R. P. **2007**. *Avaliação morfológica e estudo da variação horizontal de parâmetros limnológicos do reservatório da Pampulha (Belo Horizonte - MG)*. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SANTOS, N. C. F. & LUCENA, L. R. F. **2005**. *Levantamento batimétrico  
775 automatizado das lagoas do Jiqui e Pium, litoral sul de Natal-RN: uma alternativa viável na avaliação de reservas hídricas superficiais*. Natal: EMPARN.

SPERLING, E. V. **1994**. Morphometric features of some lakes and reservoirs in the state of Minas Gerais. *In: PINTO-COELHO et al (Ed.) Ecology and human impact in lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*. Belo Horizonte: SEGRAC p.71-76.

780  
SPERLING, E. V. **1999**. *Morfologia e lagos e represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

STRASKRABA, M. **1999**. Retention time as a key variable of reservoir limnology. *In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Ed.). Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, Backhuys Publishers e Brazilian Academics of Sciences, 1999. cap. 16, p. 385-409.

785  
WETZEL, R. G. **1993**. *Limnologia*. Lisboa: Fundação Calouste.

790

795

800

805

810

## 2 - AVALIAÇÃO LIMNOLÓGICA DA LAGOA CENTRAL, LAGOA SANTA – MG

---

### 815 **Resumo**

Os lagos, como todos os ambientes aquáticos, são fortemente influenciados pela sua área de drenagem e conseqüentemente pelas ações antrópicas no seu entorno. Uma tendência atual nos estudos sobre as características e funcionamento desses ecossistemas consiste em associar os padrões limnológicos aos padrões de uso do solo da bacia. O objetivo desse trabalho é fornecer informações relacionadas à variação horizontal de parâmetros limnológicos. Utilizando para tanto, a krigagem com estudo de semivariograma e análise de componentes principais e correlações simples para procurar inferir possíveis relações entre o meio biótico e abiótico e providenciar informações sobre a estrutura do habitat e daí estabelecer novas estratégias de gestão e manejo do ambiente focado. O estudo da variação longitudinal de parâmetros limnológicos mostrou que a lagoa não apresenta padrões claros e comuns para as variáveis físico-químicas analisadas, apesar de algumas variáveis como condutividade e óleos e graxas terem apresentado uma boa correlação ( $r = -0,67$ ). O índice de Carlson com base nas concentrações de clorofila-*a* caracterizou a lagoa em sua maioria como mesotrófica ou como eutrófica quando baseado na concentração de fósforo total. As correlações entre os parâmetros abióticos e a variação da densidade de peixes não foram relevantes e sugeriram que a distribuição espacial desses organismos seja influenciada por outros fatores.

**Palavras-chave:** variação horizontal, gradientes, nutrientes, caracterização físico química.

---

### **Abstract**

Lakes like all aquatic environments are strongly influenced by human actions occurring over their drainage area. Thus, studies of functional and structural features of these ecosystems can be used to track and monitor the human impact. So the objective of the present investigation is to provide information related to the longitudinal variation of limnological parameters. Using kriging with the study of semivariogram and principal components analysis (PCA) and correlations to infer possible relations between the biotic and non biotic features and provide information of the structure of the habitat. The study of longitudinal variation of limnological parameters showed that the lake does not present clear and common standards for the physical and chemical variables analyzed, although some variables such as conductivity and oils and greases have shown a good correlation ( $r = -0.67$ ). Concentrations of chlorophyll-*a* in the lake characterized it as mesotrophic and as eutrophic when applied Carlson index based on the concentration of total phosphorus. The correlations between non biotic parameters and the variation of the density of fish were not relevant, but those results may be different if analysis for regionalized variables were applied.

**Keywords:** longitudinal variation, gradients, nutrients, physic-chemical characteristics.

---

## INTRODUÇÃO

Os lagos urbanos possuem grande importância sócio-econômica e paisagística. Em geral, são usados para muitos fins tais como abastecimento público de água, recreação, pesca, além de serem fortes atrativos turísticos. E assim como  
855 todos os demais ecossistemas aquáticos, os lagos sofrem grande influência do uso da sua bacia de drenagem (Wetzel, 2001). No caso de corpos d'água localizados em áreas urbanas, a ocupação antrópica sujeita esses ecossistemas a grandes alterações. Entre as modificações da paisagem que podem gerar alterações na qualidade das águas está a impermeabilização do entorno (diminuindo a capacidade  
860 de infiltração das águas), lançamento de dejetos industriais e domésticos, ambos relacionados ao aumento do aporte de materiais seja através do escoamento superficial ou através de fontes pontuais de poluição (Wang & Liu, 2005).

A entrada de material orgânico, nutrientes e poluentes industriais nestes corpos d'água via tributários e/ou águas subterrâneas é a principal responsável pelo  
865 processo de eutrofização e degradação ecológica que atinge grande parte dos ecossistemas aquáticos do mundo. A eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades, sendo responsável pelo “envelhecimento precoce dos lagos” (Cole, 1994). A eutrofização é um processo que  
870 provoca profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio, no nível de produção do sistema, na taxa de sedimentação, na dinâmica de oxigênio e na redução da qualidade da água para fins econômicos e de lazer (Dodson, 2005). A fim de evitar que os corpos d'água urbanos tenham o seu funcionamento e a estrutura ecológica  
875 irreversivelmente alterados e percam sua função sócio-econômica e tornem-se um problema de saúde pública é necessário entender o que está sendo modificado no sistema.

Para Müller (1998), a estrutura e a função dos ecossistemas podem ser entendidas através do estudo dos gradientes de variáveis ecológicas, sendo estes  
880 definidos como as diferenças espaciais ou temporais das variáveis. Por refletirem a ação das forças controladoras para todos os processos ecológicos, integrando aspectos estruturais e funcionais, os gradientes devem ser aceitos como importantes aspectos dos ecossistemas e devem ter a aplicabilidade testada com mais ênfase nos estudos ecológicos.

885 Neste contexto, o gradiente espacial é importante, pois providencia um dos  
pré-requisitos básicos para o desenvolvimento e consolidação dos potenciais  
ecológicos em um ecossistema (Müller, 1998). A variação horizontal, por sua vez, é  
de grande relevância nos estudos limnológicos, pois a biota aquática responde de  
forma previsível à variação dos atributos da qualidade da água (Resck, 2007). Além  
890 disso, o estudo da variação horizontal de parâmetros limnológicos pode ajudar a  
obter um delineamento ótimo de amostragem para o monitoramento do ambiente  
aquático (Pinto *et al*, 2003).

A autocorrelação espacial (forma de dependência estatística entre as  
observações coletadas ao longo do espaço) é uma característica geral das variáveis  
895 ecológicas e podem influenciar os testes estatísticos clássicos (Pinto *et al*, 2003), já  
que estes não necessariamente consideram a localização geográfica dos pontos  
(Wang & Liu, 2005). Sendo assim, a abordagem geoestatística é mais hábil em tratar  
as variáveis de interesse como variáveis regionalizadas e demonstrar seu atual  
padrão de distribuição espacial, pois alivia a hipótese de independência, permitindo  
900 a autocorrelação espacial nos resíduos (Wang & Liu, 2005; Peterson & Urquhart,  
2006).

Tendo em vista o exposto objetivou-se estudar a variação horizontal de  
parâmetros limnológicos na Lagoa Central (Lagoa Santa – MG) na tentativa de  
encontrar sinais de degradação ecológica do ambiente que possam estar  
905 associados à atividades humanas, bem como, fornecer informações sobre o meio  
que podem servir como base para futuros planos de manejo e monitoramento da  
lagoa.

Para tanto utilizou-se as técnicas de krigagem e o estudo do semivariograma  
para gerar mapas temáticos das variáveis limnológicas mensuradas e técnicas de  
910 estatística univariadas (Correlação) para estudar a relação entre as variáveis  
limnológicas.

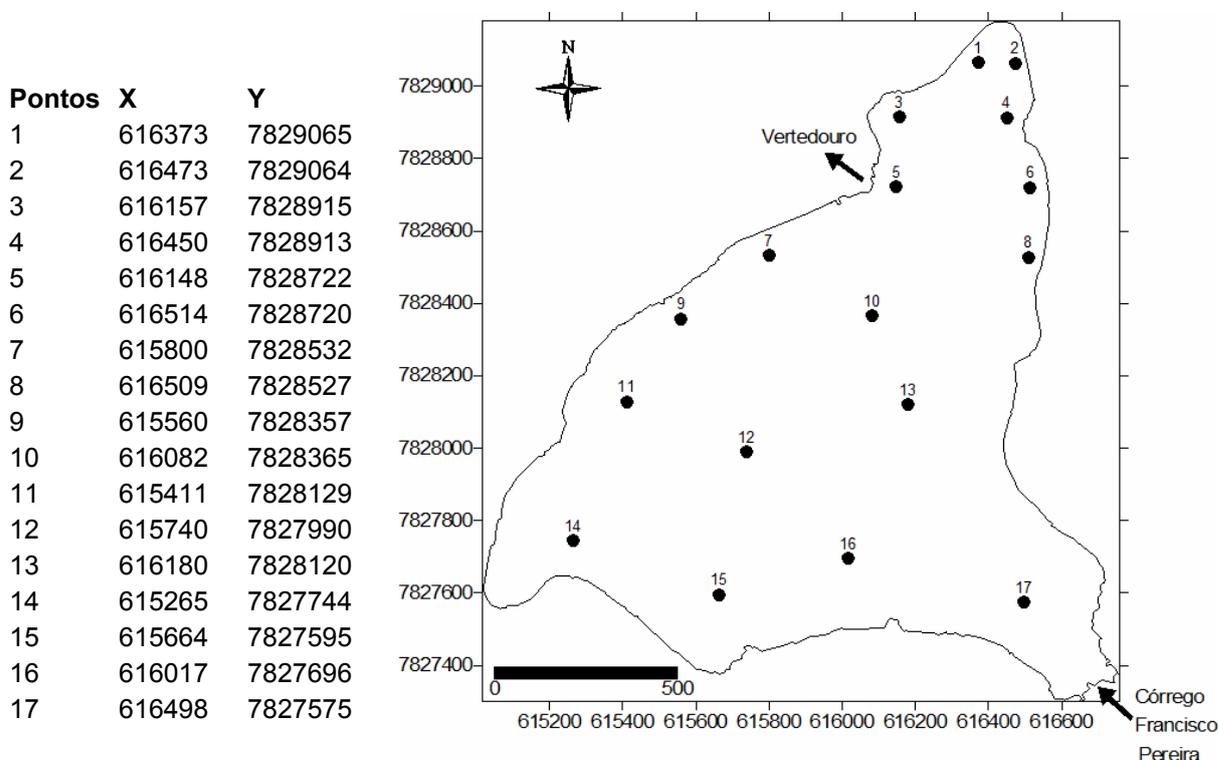
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### 915 *Coleta de Dados e Caracterização Limnológica*

Foram escolhidos 17 pontos de amostragem, visando a uma distribuição  
homogênea, de modo a garantir uma boa representação de toda a superfície do lago  
(Fig. 1). No ponto de maior profundidade fez-se um perfil vertical com coleta de água

também no hipolímnio, nos demais pontos as coletas foram apenas subsuperficiais  
920 (0,5 m de profundidade).

Os dados foram coletados no dia 28 de abril de 2008 entre 10:00 e 14:00,  
início da estação seca. Nesse período há uma crescente deterioração da água de  
lagos tropicais, com a conseqüente formação de gradientes espaço-temporais mais  
estáveis e que refletem de modo mais apropriado as ações antrópicas externas,  
925 como foi demonstrado por Pinto-Coelho (1998) em estudos na represa da Pampulha  
(Belo Horizonte – MG).



930

**Figura 1:** Distribuição dos pontos amostrados. No ponto 10 foi feito o perfil vertical e  
coletadas amostras na subsuperfície e no fundo. Localização em UTM *Datum* WGS  
84

935 As seguintes variáveis foram mensuradas: temperatura da água, pH, oxigênio  
dissolvido, turbidez, sólidos em suspensão, condutividade, série nitrogenada,  
nitrogênio total, fósforo total, clorofila-a e óleos e graxas.

As variáveis oxigênio dissolvido ( $\text{mg.l}^{-1}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade  
elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e pH tanto para as coletas de perfil quanto para os estudos de  
940 compartimentação horizontal foram obtidas com a sonda YSI 556.

O fósforo total (Pt) foi determinado pelo método de Murphy & Riley (1962), após digestão a quente com perssulfato de potássio. O nitrogênio total (Nt) foi determinado pelo método 4500-N<sub>org</sub> (APHA, 2001). O método tem como princípio a conversão do nitrogênio de compostos orgânicos em amônio na presença de sulfato de potássio e ácido sulfúrico.

A clorofila-*a* foi mensurada pelo método de Lorenzen (1967). O método consiste na extração da clorofila-*a* a frio usando a acetona 90% como solvente orgânico. Posteriormente o extrato é lido num espectrofotômetro regulado para um comprimento de onda na faixa do vermelho (663 nm) e com correção para turbidez (750 nm). É feito também a leitura da amostra acidificada para diferenciar as concentrações de clorofila-*a* das concentrações de seus produtos (feopigmentos). Estes últimos não mostram redução na absorbância quando a amostra é tratada com ácido o que ocorre com a clorofila-*a*.

#### 955 *Confecção dos Mapas Temáticos*

Os mapas foram confeccionados através do programa Surfer 8.0<sup>®</sup> (Golden Software Inc.) utilizando-se a krigagem como interpolador. O uso da krigagem em substituição a outros interpoladores é justificado por vários autores devido à ausência de tendências e mínima variância gerada pelo método (Wang & Liu, 2005); e por ser o único a fornecer os erros associados às estimativas (cálculo dos desvios-padrões) (Jakob & Young, 2006).

O método da krigagem utiliza distâncias ponderadas e estimação por médias móveis pelo qual os pesos adequados são obtidos a partir de um variograma, representativo da média das diferenças ao quadrado dos valores irregularmente distribuídos de Zi a intervalos de distâncias especificados (Landim, 2000). Pode ser otimizado através da modelagem do semivariograma. Para Jakob & Young (2006): “O variograma é a descrição matemática do relacionamento entre a variância de pares de observações (pontos) e a distância separando estas observações”, sendo assim o estudo do semivariograma permite utilizar a autocorrelação espacial para fazer melhores estimativas para pontos não amostrados.

Os semivariogramas para cada variável foram construídos através do programa Surfer 8.0<sup>®</sup>. A construção do semivariograma é um processo de tentativa e erro e a escolha do melhor modelo foi feita através da análise de Validação Cruzada, que consiste na comparação dos dados observados com os valores interpolados

975 (Erro = valor observado - valor interpolado) (Silva *et al*, 2008). Adicionalmente foi  
 feita análise dos gráficos de valores interpolados X valores observados e foram  
 gerados mapas dos desvios-padrões resultantes da interpolação.

### *Índice de Estado Trófico*

980 O Índice de Estado Trófico (IET) utilizado foi o de Carlson (1977). Esse índice  
 usa a biomassa algal como base para a classificação do estado trófico, sendo  
 clorofila-*a* (IET-Cla; Eq. 01), fósforo total (IET-Pt; Eq. 02) e transparência as três  
 variáveis representativas dessa biomassa. Segundo Xing *et al* (2005) e o EPA  
 (Environmental Protection Agency, 2008), o índice de Carlson é um dos métodos  
 985 mais aceitos para avaliação do estado de eutrofização dos corpos d'água. Os limites  
 para a classificação do grau de trofia com base no índice de Carlson estão na tabela  
 1.

**Tabela 1.** Valores para classificação do grau de trofia.

<b>Estado trófico</b>	<b>Índice de Estado Trófico</b>
Oligotrófico	< 44
Mesotrófico	44 – 54
Eutrófico	> 54

990

O índice com base no disco de Secchi não foi calculado, pois de acordo com  
 Bezerra Neto & Pinto Coelho (2002), o índice baseado na transparência não pode  
 ser aplicado a lagos com elevado material particulado não-algal, como no presente  
 caso. Quanto a escolha do IET-fósforo (IET-Pt; Eq. 01) em detrimento do IET-  
 995 nitrogênio, foi devido a razão N:P ter sido essencialmente maior do que 7 a 10,  
 tornando o fósforo o fator limitante no ecossistema estudado (Vollenweider, 1989).

$$\text{IET (Cla)} = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln \text{Cla}}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 01}$$

$$IET (Pt) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{Pt}}{\ln 2} \right) \quad \text{Eq. 02}$$

1000

### Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Statistica 8.0. Utilizou-se a análise de correlação (análise univariada) para estudar as relações entre as variáveis limnológicas.

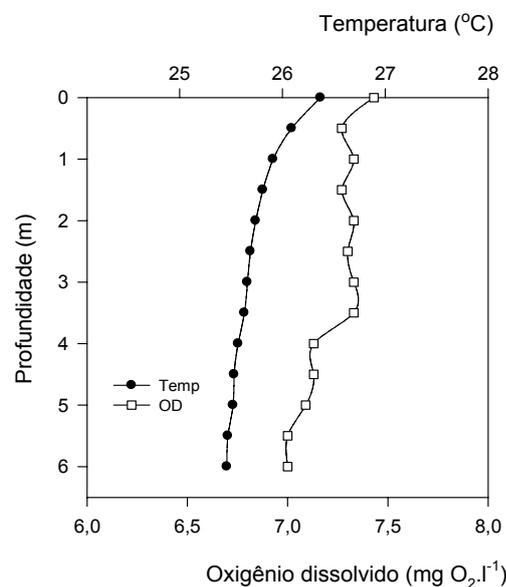
1005

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1010 Caracterização Limnológica

Os perfis verticais da concentração de oxigênio dissolvido e da temperatura indicaram a ausência virtual de estratificação térmica, o que é comum para lagos tropicais, nessa época do ano (Fig. 2). A temperatura variou entre 28 e 26 °C e a coluna d'água permaneceu oxigenada até o fundo (8 a 6,5 mg.l<sup>-1</sup>). Em estudo em três lagoas da região cárstica de Lagoa Santa Coutinho & Barbosa (1986) encontraram padrões de estratificação no verão e isoterмия no inverno, porém Landa & Tôrres (2004) relataram que a estratificação térmica em um desses lagos só ocorreu nos meses de dezembro e janeiro, ocorrendo isoterмия nos demais meses do ano.

1015



1020

**Figura 2:** Perfil vertical da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da concentração de oxigênio dissolvido na água ( $\text{mg O}_2\cdot\text{l}^{-1}$ ) em Lagoa Santa, 28 de abril de 2008.

Os valores das variáveis físico-químicas para cada ponto amostrado estão apresentados na tabela 2 e os mapas temáticos da variação horizontal das variáveis se encontram na figura 3.

**Tabela 2.** Variáveis físicas e químicas da Lagoa Central, Lagoa Santa-MG (28/04/2008).

Ptos	$\text{NH}_3$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	Nt	Pt	N:P	Sól	pH	Cond	Turb	Cl-a	OG	$\text{O}_2$
1	47	0	19	1521	76	20	8,6	7,8	173,5	9,4	2	0,0	-
2	32	1	0	724	43	17	5,7	7,8	176,5	8,1	2	0,0	-
3	0	1	0	812	100	8	6,7	7,9	168,2	11,0	3	9,0	-
4	17	0	16	1102	39	28	7,0	7,8	170,1	8,8	3	0,0	-
5	0	3	0	784	35	22	6,0	7,9	168,4	11,2	1	8,0	-
6	55	0	7	1849	43	43	6,0	7,8	170,6	12,6	1	8,0	-
7	13	0	9	463	24	19	5,8	7,9	165,6	9,0	2	0,0	-
8	0	0	0	868	31	28	6,6	7,9	172,3	10,0	3	7,5	-
9	5	1	29	1339	23	59	5,2	8,2	171,2	9,4	2	0,0	-
10epi	0	4	26	672	61	11	6,9	8,0	164,3	8,7	2	9,5	7,3
10hipo	112	1	2	918	17	54	6,0	8,0	170,0	10,0	2	-	7,1
11	0	0	0	588	30	19	6,9	7,9	167,2	10,6	1	12,5	6,1
12	191	1	0	565	51	11	6,0	7,9	171,8	7,5	2	17,0	6,3
13	13	0	12	799	61	13	7,6	8,1	163,3	7,8	3	9,0	6,3
14	0	0	10	952	30	31	6,2	7,9	171,2	8,8	1	8,0	5,8
15	0	2	18	728	24	31	5,8	7,9	172,5	7,7	1	8,0	6,3
16	0	2	32	812	72	11	6,7	8,0	168,0	8,1	4	15,5	6,2
17	20	1	23	848	51	17	5,8	7,8	138,5	10,0	2	25	5,8

$\text{NH}_3$  – amônia ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ );  $\text{NO}_2^-$  - nitrito ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ );  $\text{NO}_3^-$  - nitrato ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ); Nt – Nitrogênio total ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ); Pt – fósforo total ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ); N:P – razão nitrogênio:fósforo; sólidos em suspensão ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ); Cond – condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ); Turb – turbidez (NTU); Cl-a – clorofila-a ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ); OG – Óleos e graxas ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ );  $\text{O}_2$  – oxigênio dissolvido ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ).

1035

O oxigênio, o pH e a temperatura não apresentaram variações significativas ao longo dos pontos coletados. Os valores de oxigênio dissolvido estiveram entre  $5,0$  e  $7,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , sendo que na maior parte do lago a concentração subsuperficial foi de aproximadamente  $6,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Os valores de pH variaram entre  $7,5$  e  $8,0$  e os de temperatura ficaram em torno de  $26,5$  e  $27,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Comparando os valores de pH e de condutividade com os estimados por Reid *et al* (1988) pode-se notar um ligeiro aumento dos mesmos. O pH se tornou mais alcalino, variando de  $6,3$  a  $7,7$  em 1988 e no estudo atual entre  $7,7$  a  $8,2$ . E a condutividade que variava entre  $89$ - $116 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em 1988, em abril de 2008 variou entre  $138,5$  e  $176,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Esse aumento no valor da condutividade sugere que a lagoa se encontra em processo de eutrofização,

1045

em consonância com o assoreamento já identificado em 1986 por Coutinho & Barbosa.

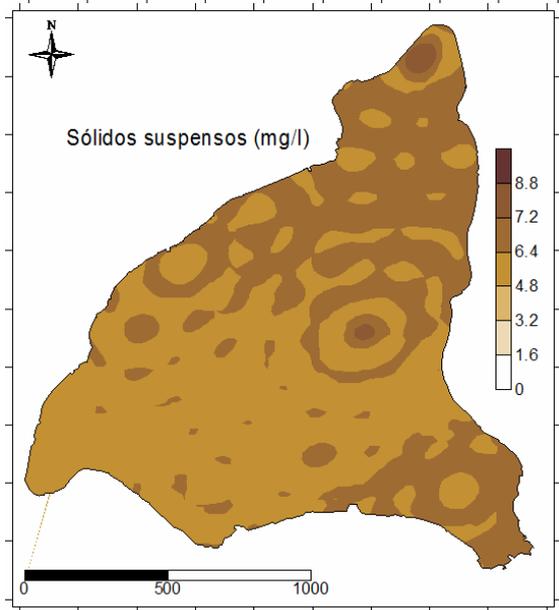
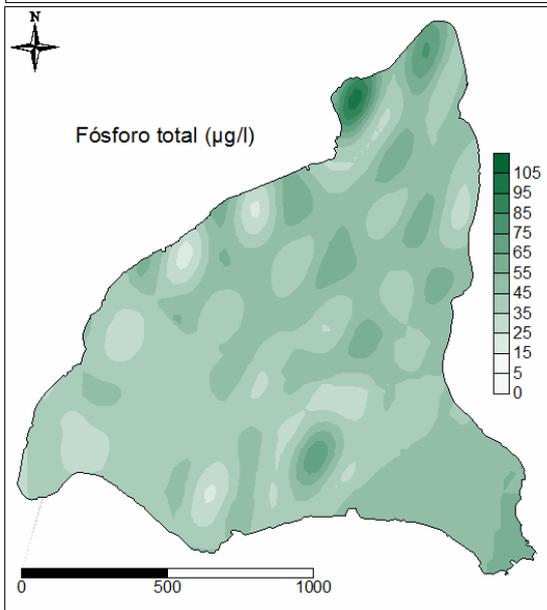
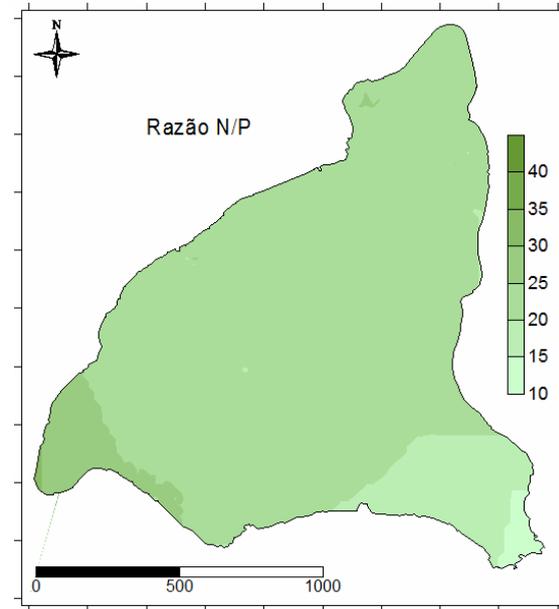
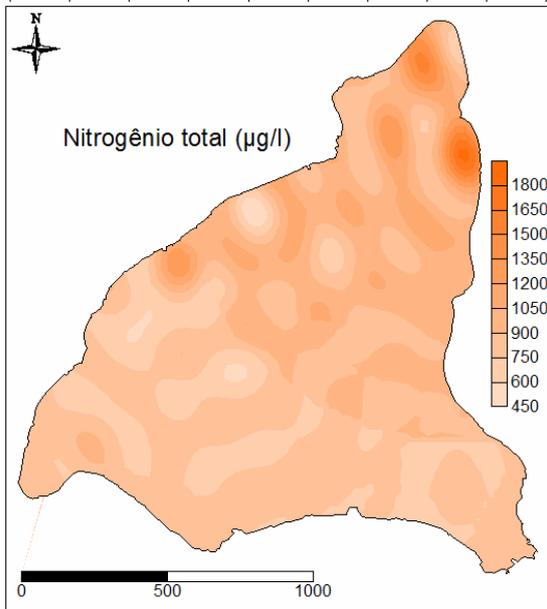
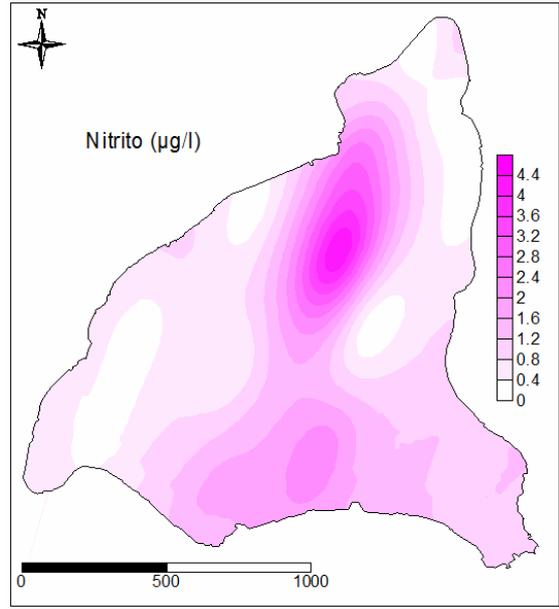
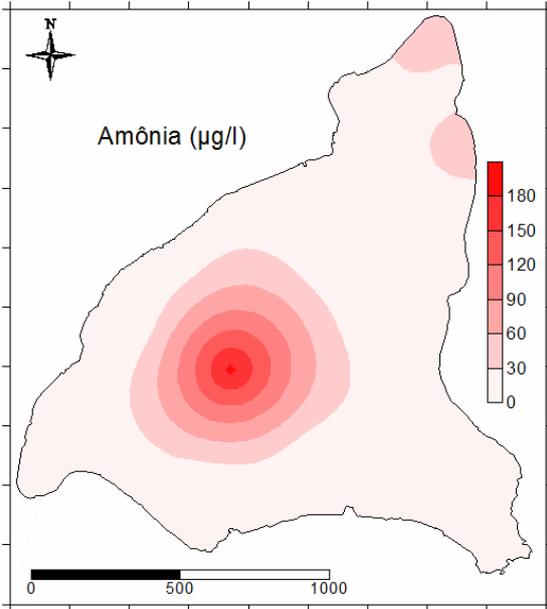
Os mapas da série nitrogenada revelam como os processos metabólicos e padrões são muito complexos em lagos sendo resultantes das influências hidrodinâmicas e morfológicas da bacia, principalmente se o corpo d'água recebe fluxos de nutrientes de vários pontos (Grecco, 2002).

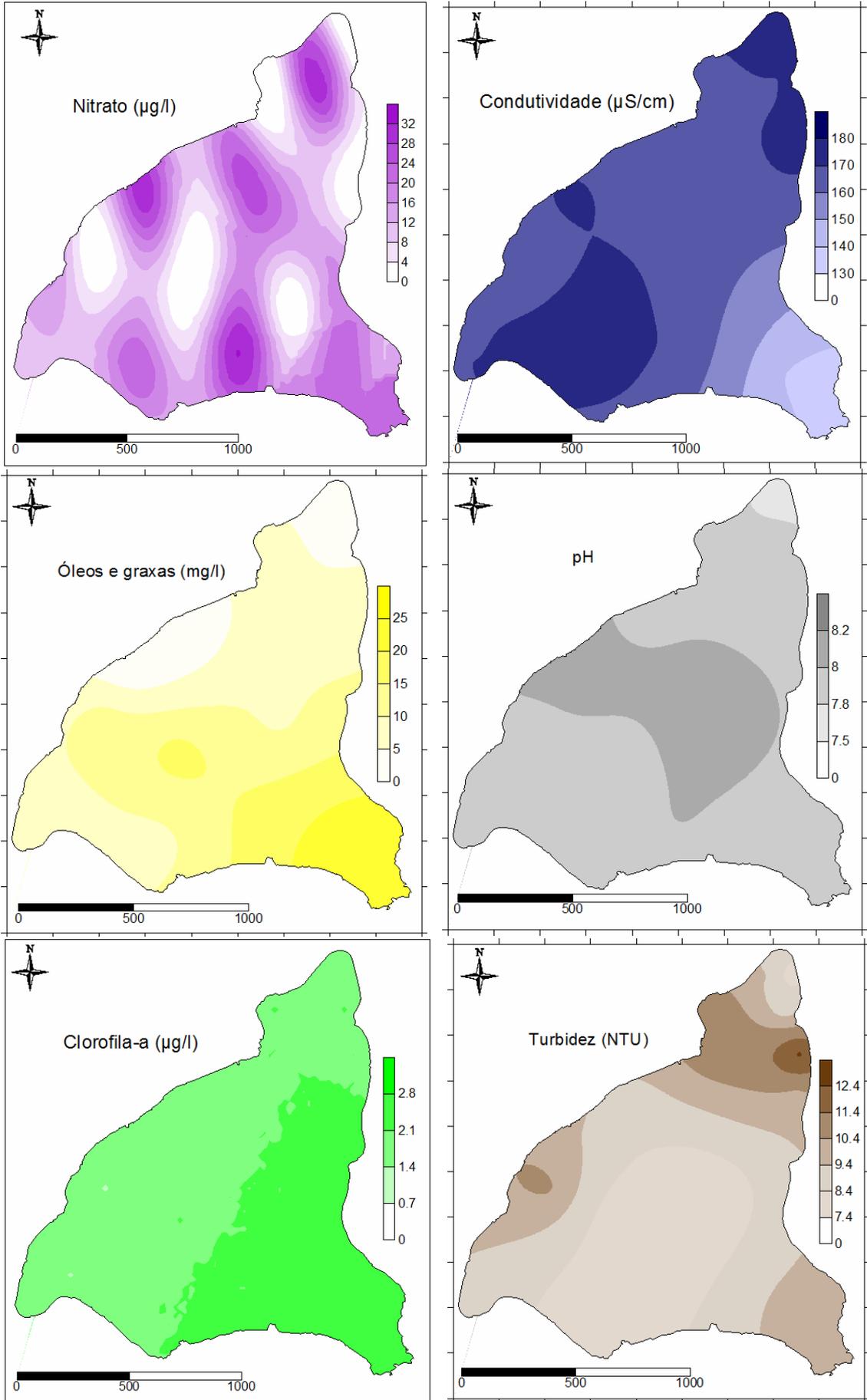
O nitrogênio entra no sistema sob a forma de nitrato, como era esperado, uma vez que a maior parte das entradas de água no sistema são canalizadas. Segundo Torres (1998), em trabalho realizado na Lagoa da Pampulha e seus tributários, as mais altas concentrações de nitrato foram encontradas no tributário que não sofria efeito da radiação solar e que possuía maior concentração de oxigênio dissolvido.

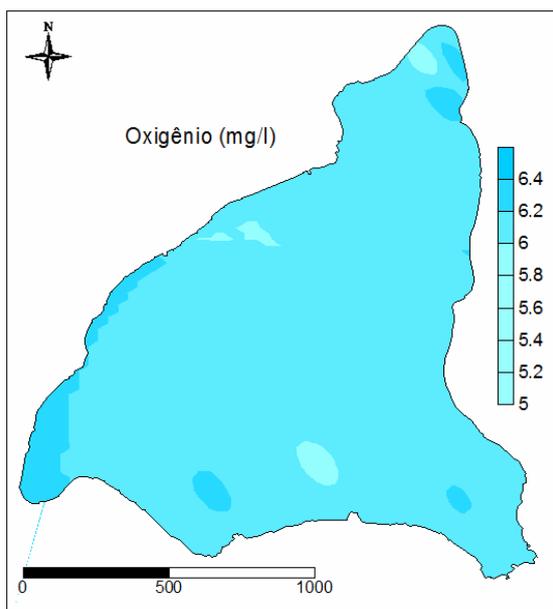
À medida que é transferido para a lagoa o nitrogênio na forma de nitrato vai se transformando em nitrito. A desnitrificação ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$ ) é favorecida pela redução na concentração de oxigênio dissolvido (Seitzinger, 1988). Diante do exposto, a transformação do nitrato em nitrito na Lagoa Central pode ser devido a déficits diurnos de oxigênio dissolvido, que por sua vez, podem ser causados por micro-estratificações próximas à superfície, que ocorrem provavelmente devido à ação dos ventos e à entrada de água das chuvas que foram relatadas por Barbosa *et al* (1984).

Observou-se um pico na concentração de íon amônio no centro do lago indicando o resultado de um processo ontogênico de redução do nitrogênio no sistema. O íon amônio resulta de um delicado equilíbrio que envolve diversas variáveis não somente aquelas ligadas ao processo de oxidação nitrato  $\leftrightarrow$  nitrito  $\leftrightarrow$  amônia. O pH, a temperatura e todas as variáveis que afetam a atividade microbiana são também importantes, uma vez que esses organismos estão envolvidos nas reações do ciclo do nitrogênio (Begon *et al*, 1996). Adicionalmente, é importante destacar que todos os organismos amoniotélicos (i.e. microcrustáceos, peixes, anfíbios) excretam nitrogênio sob a forma de amônio e por outro lado muitos organismos autotróficos são capazes de assimilar esse amônio (Pereira & Mercante, 2005). Finalmente o nível de oxidação do sedimento lacustre também deve ser considerado para o entendimento dos processos metabólicos das diversas formas de nitrogênio, já que condições redutoras do sedimento afetam o equilíbrio do amônio na água (Saunders & Kalff, 2001).

1080







**Figura 3:** Cartas temáticas das variáveis físico-químicas.

1090 Para Barbosa *et al* (1984), a influência de fatores externos, particularmente da  
entrada de água de chuvas é bastante evidente em Lagoa Santa. Durante o estudo  
de Barbosa e colaboradores (1984) o nitrato esteve virtualmente ausente em  
praticamente toda a coluna em novembro e fevereiro, provavelmente em  
consequência da entrada de água de chuvas, período no qual os processos de  
1095 amonificação predominam, o que foi confirmado pela distribuição de amônia e nitrito.  
Contudo Figueredo (2007) não encontrou tendências sazonais cíclicas das variáveis  
relacionadas à disponibilidade de nitrogênio, ao contrário do fósforo total (Pt) que  
sofreu quedas nas concentrações durante a estação chuvosa como uma  
consequência da diluição.

1100 As cartas temáticas das variáveis fósforo total, nitrogênio total, condutividade,  
sólidos suspensos e turbidez indicam a entrada de material alóctone ao norte da  
lagoa, nesta região tem-se o mais alto valor de fósforo total ( $100 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). Esses  
valores elevados podem estar relacionados à ausência de vegetação ripária nessa  
região (Fig. 4). Segundo Hinkel (2003), a cobertura vegetal impede a erosão da  
1105 margem, a lixiviação excessiva de nutrientes, o carreamento de sólidos e a elevação  
da temperatura da água.



1110 **Figura 4:** Margem norte da Lagoa Central (Lagoa Santa, MG), ausência de vegetação ripária.

A correlação entre a variável fósforo total e os valores de sólidos em suspensão ( $r^2 = 0,51$ ) obtidas no presente estudo reforçam o papel de ambas como indicadoras de entrada de material alóctone no ecossistema. Essa relação também  
 1115 foi confirmada em trabalho realizado no reservatório de São Simão por Pinto-Coelho *et al* (2005), que demonstraram também a importância das fontes difusas na entrada de fósforo e sólidos no reservatório.

Os mapas de turbidez e sólidos em suspensão apresentam padrões parecidos, com maiores valores em algumas extremidades da lagoa, diminuindo em  
 1120 direção ao centro da mesma. Alguns pontos de maiores valores de turbidez e sólidos coincidem com focos de assoreamento (Fig. 5) levantados pela Prefeitura Municipal de Lagoa Santa (2008).

Outras medidas preliminares feitas pelo nosso grupo de pesquisas ([LGAR](#)), em outubro de 2007, indicaram que a lagoa possui valores baixos de transparência  
 1125 da água, valores elevados de sólidos e de turbidez. A transparência do disco de Secchi variou entre 0,6 e 0,7 m. Esses valores elevados de sólidos e de baixa transparência já haviam sido diagnosticados em 2005/2006 por Figueredo (2007), podendo concluir-se que a transparência da água diminuiu ao longo dos últimos 13 anos (disco de Secchi oscilou entre 1 e 2 m de profundidade em 1982/83 - Barbosa  
 1130 *et al*, 1984), o que é confirmado também por relatos dos moradores de Lagoa Santa.



**Figura 5:** Pontos de assoreamento visíveis na margem da lagoa. Fonte: Prefeitura Municipal de Lagoa Santa (2008).

1135

Já a razão N:P mostrou-se homogênea em grande parte da lagoa, com exceção das extremidades mais ao sul que apresentaram os maiores e menores valores. O oposto ocorre com a clorofila-*a* que possui as menores concentrações onde a razão N:P é mais elevada e concentrações mais altas onde a razão N:P é mais baixa. A análise de correlação confirma essa tendência com valores de  $r^2 = -0,52$ . A concentração de clorofila-*a* possui ainda alta correlação com o fósforo total ( $r^2 = 0,57$ ) e com o nitrato ( $r^2 = 0,37$ ), o que indica a limitação da biomassa algal pelo fósforo e não pelo nitrogênio. Isso confirma a teoria de Vollenweider (1976) que afirma haver uma relação linear empírica entre a concentração de clorofila-*a* e a entrada de fósforo total no ambiente.

1145

Pinto *et al* (2001) também encontraram valores de clorofila-*a* mais elevados na região sudeste da Lagoa Central (Lagoa Santa – MG) do que na região norte, mas os valores encontrados pelos autores em 2001 (12 a 18  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) são maiores do que os valores encontrados em 2008 (1,2 a 3  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ). Além disso, Pinto e colaboradores (2001) relataram maior concentração de clorofila-*a* na margem oeste, padrão oposto ao encontrado neste estudo. A extremidade com concentrações de clorofila-*a* mais elevadas coincide com a margem da lagoa que possui vegetação mais densa e taboas na região litorânea (Fig. 6).

1150



1155 **Figura 6:** Margem sudeste da Lagoa Central (Lagoa Santa, MG), presença de macrófitas.

A condutividade e a concentração de óleos e graxas mostraram variação horizontal inversa, ou seja, pontos de mais alta condutividade apresentaram as menores concentrações de óleos e graxas e vice-versa.

O mapa temático da variação espacial da concentração de óleos e graxas está associado à entrada de água pluvial e fluvial no sistema pela extremidade sudeste da lagoa. Os óleos e graxas em águas naturais em geral são provenientes de resíduos industriais e domésticos e de escoamento de estradas, vias públicas e postos de gasolina (CETESB, 2008).

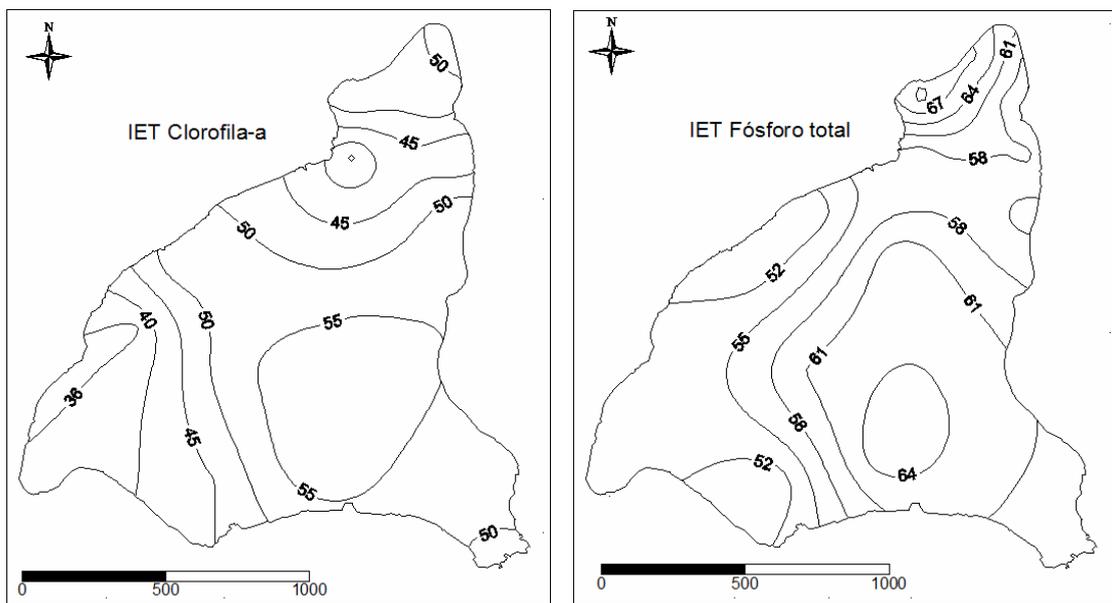
Como visto na tabela 2, a Lagoa Central apresentou baixos valores de clorofila-*a* apresentando um valor máximo de  $4 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Entretanto, os valores de nitrogênio total e fósforo total foram expressivos, sendo que o nitrogênio variou entre 463 a  $1521 \mu\text{g.l}^{-1}$  e o fósforo entre 23 e  $100 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Neste caso, outros fatores além dos nutrientes devem estar limitando a comunidade fitoplanctônica tais como a luminosidade devido à alta concentração de sólidos suspensos ou até mesmo a morfometria do lago. Rocha (2008), em estudo no reservatório de Mendubim (RN) propõe que a limitação por luz seja uma das explicações mais consistentes, devido à alta concentração de sólidos suspensos nos pontos do reservatório com menores valores de clorofila-*a*.

Foram calculados os índices de estado tróficos propostos por Carlson (1977) baseados no fósforo e na clorofila-a. Como a razão N:P ficou acima de 15 em 72% dos pontos amostrados e nunca esteve abaixo de 8, foi usado o índice de trofia baseado na concentração de fósforo total e não na de nitrogênio total.

1180

O índice baseado na clorofila-a indica que a maior porção do lago encontra-se mesotrófica e uma pequena região oligotrófica. Já para fósforo total as regiões do lago variaram entre mesotrófico e eutrófico (Fig. 7), reafirmando que outros fatores, além dos nutrientes, devem estar limitando a comunidade fitoplanctônica na lagoa.

1185



**Figura 7:** Cartas temáticas para os Índices de Estado Trófico de Carlson (1977) com base nas concentrações de clorofila-a e de fósforo total.

1190

## CONCLUSÃO

O estudo da variação longitudinal de parâmetros limnológicos na Lagoa Central mostrou que algumas variáveis tiveram padrões mais claros e comuns, tais como óleos e graxas, turbidez, sólidos em suspensão e clorofila-a. Enquanto apresenta padrões mais complexos para série nitrogenada. Além disso, a confecção dos mapas temáticos permitiu inferir na presença de dois possíveis focos de entrada de material alóctone, extremidades sudeste e norte da lagoa.

1195

1200 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- APHA - American Public Health Association. **2001**. *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*.
- BARBOSA, F. A. R.; COUTINHO, M. E.; ARAÚJO, L. M.; MENENDEZ, R. M.; BARBOSA, P. M. M.; FIGUEIRA, J. E. C. & ESTEVES, F. A. **1984**. Estudos Limnológicos na Região Cárstica Central de Minas Gerais. I. Caracterização preliminar da Lagoa Santa, MG. *In: IV Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, SP, 399-437*.
- 1205 BEGON, M.; HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. **1996**. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science. 1068p.
- 1210 BEZERRA-NETO, J. F. & PINTO-COELHO, R. M. **2002**. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 24(2): 285-290.
- CARLSON, R. E. **1977**. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22: 361-169.
- 1215 CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do meio Ambiente do Estado de São Paulo. Visualizado em 20 de novembro de 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>
- COLE, G. A. **1994**. *Textbook of Limnology*. 4 ed. Illinois: Waveland Press.
- COUTINHO, M. E. & BARBOSA, F.A.R. **1986**. Distribuição Vertical de Matéria Orgânica, Nitrogênio Orgânico Total, Fósforo Total e Algumas Formas Iônicas dos Sedimentos Recentes de 3 Lagos de Minas Gerais. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1: 401 a 429.
- 1220 DODSON, S. I. **2005**. *Introduction to limnology*. 1 ed. McGraw Hill: New York.
- EPA (Environmental Protection Agency). U. S. EPA Aquatic Biodiversity - Carlson's Trophic State Index. Visualizado em 05 de dezembro de 2008. Disponível em: <http://www.epa.gov/bioindicators/aquatic/carlson.html>
- 1225 FIGUEREDO, C. C. **2007**. *Dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju na lagoa central de Lagoa Santa (MG)*. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) –
- 1230 Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

- 1235 GRECCO, M. K. B. **2002**. *Balanço de Massa de Fósforo, evolução da eutrofização e o crescimento de macrófitas flutuantes no reservatório de Volta Grande (MG, SP)*. Tese (Doutorado - Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- HINKEL, R. **2003**. Vegetação Ripária: Funções e Ecologia. *In: Anais do I Seminário de Hidrologia Florestal – Zonas Ripárias*, Florianópolis: PPGEA/UFSC. p. 40-131.
- 1240 JAKOB, A. A. E. & YOUNG, A. F. **2006**. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. *In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, ABEP, 2006, Caxambu.
- 1245 LANDA, G.G. & TÔRRES, G.E. **2004**. Distribuição Vertical do Zooplâncton e Avaliação de Parâmetros Físico-Químicos da Lagoa Olhos D'água - Lagoa Santa /MG. *Sinapse Ambiental*, 1(4): 23-35.
- LANDIM, P. M. B. **2000**. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Visualizado em: 05 de novembro de 2008. Disponível em: <http://epi.minsal.cl/SigEpi/doc/interpo.pdf>
- 1250 LORENZEN, C.J. **1967**. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12: 343.
- MÜLLER, F. **1998**. Gradients in ecological systems. *Ecological Modelling*, 108: 3–21.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P., **1962**. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- 1255 PEREIRA, L.P.F & MERCANTE, C.T.J. **2005**. A Amônia nos Sistemas de Criação de Peixes e seus Efeitos sobre a Qualidade da Água: Uma Revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, 31(1): 81 – 88.
- 1260 PETERSON, E. E. & URQUHART, N. S. **2006**. Predicting Water Quality Impaired Stream Segments Using Landscape-Scale Data and a Regional Geostatistical Model: a Case Study in Maryland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 121: 615–638.
- PINTO, A. M. F.; VON SPERLING, E. & MOREIRA, R. M. **2001**. Chlorophyll-A Determination Via Continuous Measurement Of Plankton Fluorescence: Methodology Development. *Water Research*, 35(16): 3977–3981.

- 1265 PINTO, M. P.; BINI, L. M. & DINIZ-FILHO, J. A. F. **2003**. Análise quantitativa da influência de um novo paradigma ecológico: autocorrelação espacial. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 25(1): 137-143.
- PINTO-COELHO, R.M.; AZEVEDO, L.M. A.; RIZZI, P.E.V.; BEZERRA-NETO, J.F. & ROLLA, M. E. **2005**. Origens e efeitos do aporte externo de nutrientes em um reservatório tropical de grande porte: reservatório de São Simão (MG/GO). *In: Nogueira, M.G., R. Henry & A. Jorcin [eds.] Ecologia de Reservatórios*. Ryma Editora, São Carlos (SP) pp 127-164.
- 1270 PINTO-COELHO, R. M. **1998**. Effects of eutrophication on seasonal patterns of mesozooplankton in a tropical reservoir: a 4-year study in Pampulha Lake Brazil. *Freshwater Biology*, 40: 159-173.
- 1275 PREFEITURA MUNICIPAL DE LAGOA SANTA-MG. Secretaria do Meio Ambiente. **2008**. *Programa Lagoa Viva Revitalização e gestão compartilhada da bacia da Lagoa Central*. p. 68.
- REID, J.W.; PINTO-COELHO, R.M. & GIANI, A. **1988**. Uma Apreciação da Fauna de Copépodos (Crustacea) da Região de Belo Horizonte. Com Comentários Sobre Espécies de Minas Gerais. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 11: 527-547.
- 1280 RESCK, R.P. **2007**. *Avaliação morfológica e estudo da variação horizontal de parâmetros limnológicos do reservatório da Pampulha (Belo Horizonte - MG)*. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 1285 ROCHA, A.C.de L. **2008**. *Caracterização Limnológica e Determinação da Capacidade de Suporte do Reservatório de Mendubim (Rio Grande do Norte) para o Cultivo de peixes em Tanques-rede*. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática) Centro de Biociências – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 1290 SAUNDERS, D. L. & KALFF, J. **2001**. Denitrification Rates in the Sediments of Lake Memphremagog, Canada–USA. *Water Research*. 35(8): 1897–1904.
- SEITZINGER, S. P. **1988**. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems; ecological and geochemical significance. *Limnology and Oceanography*. 33(4): 702-724.
- 1295 SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. & OLIVEIRA, R. B. **2008**. Avaliação de Interpoladores Estatísticos e Determinísticos na Estimativa de Atributos do Solo em Agricultura de Precisão. *IDESIA*, 26(2).

- 1300 TORRES, I. C. **1998**. *Determinação da Influência dos tributários na Qualidade da Água da Represa da Pampulha*. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- VOLLENWEIDER, R.A. **1989**. Global problems of eutrophication and its control. *In: SALANKI, J. & HERODEK, S. Conservation and Management of Lakes*.  
1305 Budapest: Akadémiai Kiadó, 1989, p.19-43.
- VOLLENWEIDER, R.A. **1976**. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*.  
33: 53-83.
- 1310 WANG, X. J. & LIU, R. M. **2005**. Spatial Analysis and Eutrophication Assessment for Chlorophyll a in Taihu Lake. *Environmental Monitoring and Assessment*, 101: 167–174.
- WETZEL, R. G. **2001**. *Limnology: lake and river ecosystems*. Academic Press: San Diego.
- 1315 XING, K.; GUO, H.; SUN, Y. & HUANG, Y. **2005**. Assessment of the spatial-temporal eutrophic character in the Lake Dianchi. *Journal of Geographical Sciences*, 15(1): 37-43.

1320

1325

1330

### 3 - APLICAÇÃO DO MÉTODO HIDROACÚSTICO NA AVALIAÇÃO RÁPIDA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E VERTICAL DE PEIXES EM UM LAGO TROPICAL CÁRSTICO – LAGOA SANTA, MINAS GERAIS

1335

---

**Resumo:**

A distribuição, densidade e estrutura de tamanho de peixes nas águas da Lagoa Santa, MG (área – 1,7 km<sup>2</sup>, profundidade média – 4,0 m e profundidade máxima 7,3 m) foram estudados, através do método hidroacústico com orientação vertical. Uma sonda Biosonics DT-X foi utilizada. Ela estava equipada com um transdutor split-beam de 200 kHz. A análise dos dados acústicos foi feita com o programa Visual Analyser (Biosonics Inc.). Mapas temáticos de densidades dos ecos associados a peixes, estimadas através da técnica de eco-integração, foram confeccionados utilizando a interpolação kriging. Já o número e distribuição vertical dos peixes insonificados foram determinados utilizando a técnica de eco-contagem. A Lagoa Central apresentou uma densidade média de 0,89 ecos associados a peixes por m<sup>2</sup>, indicando grandes variações na densidade dos peixes em áreas particulares do lago. A estimativa de tamanho dos ecos associados a peixes variou de 2,7 a 15,9 cm (média = 5,3 cm). Foi discutida a distribuição vertical do estoque de peixes e sua possível relação com a variação horizontal das variáveis limnológicas, assim como a utilização da hidroacústica para suprir a necessidade de se obter estimativas realistas e rápidas da abundância e biomassa de peixes, variáveis indispensáveis para o manejo pesqueiro de lagos e reservatórios.

1340

1345

1350

**Palavras-chave:** Ictiofauna, densidade, hidroacústica, distribuição espacial, recurso pesqueiro.

---

**Abstract:**

The distribution, structure, size and density of fish in the karstic lake “Lagoa Santa”, MG (surface area - 1.7 km<sup>2</sup>, mean depth - 4.0 m and maximum depth – 7.3 m) were studied. The hydroacoustic method with vertical beaming was applied, using the echosounder Biosonics DT-X with a split-beam transducer of 200 kHz. The analysis of the acoustic data was performed with the software Visual Analyzer (Biosonics Inc.). Maps of thematic density of echoes associated with fish, estimated by the technique of eco-integration, were made using the kriging interpolation. The density and vertical distribution of insonified fish were estimated using the technique of eco-counting. The lake had a mean density of 0.89 echoes associated with fish per m<sup>2</sup>, showing large spatial variations in the density of fishes. The size estimated for the echoes associated with fish range from 2.7 to 15.9 cm (mean = 5.3 cm). The vertical distribution of the fish stock, as well as the use of hydroacoustic to obtain rapid and realistic estimations of fish abundance for the sustainable management of lakes and reservoirs was discussed.

1355

1360

1365

**Keywords:** Ichthyofauna, density, hydroacoustics, spatial distribution, fisheries

---

1370

## INTRODUÇÃO

A mensuração da densidade de peixes a partir de métodos tradicionais (utilização de redes de pesca e armadilhas) demanda um grande dispêndio de esforço, tempo e recursos financeiros (Uieda & Castro, 1999). Outro aspecto relevante é que estes métodos são bastante limitados na determinação da distribuição espacial e dos padrões de comportamento das diferentes populações ícticas em um corpo aquático. Uma alternativa a estes procedimentos tradicionais está no desenvolvimento de equipamentos hidroacústicos (Trevorrow, 1998; Mehner & Schulz, 2002; Ehrenberg & Steig, 2003; Chen *et al*, 2009). Esta metodologia possibilita a visualização contínua do ambiente pelágico, permitindo o estudo de organismos aquáticos com capacidade de reflexão da energia acústica a partir de estruturas biológicas. Tais estruturas, capazes de refletir som em função da diferença de densidade entre sua constituição e o meio, são detectadas ao longo da navegação em toda a coluna de água (para revisão ver MacLennan & Simmonds, 2005).

Entre as vantagens da metodologia acústica está o fato de ser um método não-invasivo com possibilidade de prospectar grandes áreas em um período de tempo relativamente pequeno, adquirindo dados espaço-temporais de alta resolução. As desvantagens incluem a ambigüidade taxonômica que exige a coleta de dados biológicos para se verificar a composição de espécies, a dificuldade de se amostrar com confiabilidade os organismos presentes próximo à superfície e do fundo e a inabilidade de distinguir entre peixes e outros objetos tais como invertebrados e bolhas de ar (Godlewska & Jelonek, 2006). O uso de multifrequências tem sido empregado para a distinção entre espécies de peixes, de invertebrados e entre peixes e invertebrados (Madureira *et al*, 1993; Logerwell & Wilson, 2004).

A aplicação da metodologia hidroacústica na pesquisa pesqueira apresentou desenvolvimento substancial no princípio da década de 70, quando foi introduzida a técnica de eco-integração, permitindo estimativas de densidades de cardumes, diferentemente da técnica de eco-contagem que vinha sendo empregada (MacLennan & Holliday, 1996). A partir de então, a utilização do método para avaliação de estoques e manejo pesqueiro, identificação de espécies e suas características relacionadas à acústica, estudos comportamentais e de relações tróficas intra-específicas vem sendo amplamente descritos na literatura (Gerlotto,

1405 1993; Paramo *et al*, 2003; Vehanen *et al*, 2005). Técnicas de ecossondagem podem  
fornecer informação básica não somente dos estoques de peixes, padrões de  
distribuição espacial e temporal, mas também sobre o zooplâncton (*i.e Chaoborus*),  
que é o principal recurso alimentar das formas jovens de peixes e de algumas  
espécies em suas formas adultas (Godlewska & Jelonek, 2006). Outro aspecto a ser  
1410 considerado é que a técnica hidroacústica oferece a possibilidade de obtenção  
simultânea de dados sobre o sedimento lacustre, das características batimétricas do  
fundo do corpo de água e da cobertura de macrófitas submersas (Weeler, 2005;  
Winfield *et al*, 2007a e 2007b).

Desenvolvimentos tecnológicos recentes, incluindo a redução significativa no  
1415 tamanho, além do elevado grau de sofisticação da instrumentação hidroacústica  
(tanto em termos de *hardware* quanto de *software*) têm levado a um aumento no uso  
desta tecnologia em ambientes de água doce, particularmente lagos (Wanzenböck  
*et al*, 2003). Entretanto, o uso da hidroacústica para a avaliação da ictiofauna  
continental dos ecossistemas aquáticos lênticos no Brasil não tem seguido a mesma  
1420 evolução nos avanços de suas aplicações nos últimos anos no âmbito internacional.  
Apesar de diversos estudos terem demonstrado a aplicação de tais técnicas no  
ambiente marinho (Travassos *et al*, 1999; Madureira & Rossi-Wongtschowski, 2005;  
Weigert, 2006), estudos com essa técnica em águas interiores brasileiras são  
virtualmente ausentes (Krumme, 2004).

1425 A hipótese desse estudo é de que há uma baixa densidade de peixes na  
Lagoa Central de Lagoa Santa, visto que diversas modificações desse ambiente têm  
causado perda de biodiversidade (Pompeu & Alves, 2003), entre elas a introdução  
de tilápia, cujo efeito deletério nos ecossistemas foi relatado por Starling *et al* (2002).  
Sendo assim, buscou-se estimar o estoque pesqueiro da lagoa através da  
1430 hidroacústica. O objetivo específico foi realizar uma prospecção hidroacústica na  
Lagoa Central a fim de obter ecoregistros potencialmente associáveis a peixes e  
agrupá-los em ecotipos ou eco-padrões considerando a energia acústica  
retroespalhada, os valores de TS e suas distribuições espaciais e verticais frente a  
variáveis limnológicas.

1435 Para tanto utilizou-se as técnicas de krigagem e o estudo do semivariograma  
para gerar mapas temáticos das variáveis limnológicas mensuradas (Capítulo 2) e  
técnicas de estatística multivariadas (Análise de Componentes Principais) e

univariadas (Correlação) para estudar a relação entre as variáveis limnológicas e a densidade de peixes.

1440

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Área de estudo*

O trabalho foi desenvolvido na Lagoa Central, também conhecida como  
1445 Lagoa Santa, localizada no município de Lagoa Santa, em Minas Gerais (19°38'S e  
43°53'W), cerca de 40 km ao norte de Belo Horizonte. Trata-se de um lago  
exorreico, com o espelho d'água a 740 m de altitude, área da bacia de 12,7 km<sup>2</sup> e  
que tem como principais características morfométricas: perímetro 6467,20 metros;  
área superficial 1,7 km<sup>2</sup>; volume: 7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; profundidade máxima e média: 7,3 e  
1450 4,0 m, respectivamente.

Lagoa Santa pertence ao sistema lacustre do carste Lagoa Santa, um dos  
principais sistemas de lagos calcáreos do Brasil. Essa importância decorre não  
somente das características limno-ecológicas desses ambientes lacustres, mas  
também da sua íntima associação com importantes formações geológicas,  
1455 ocorrências paleontológicas e arqueológicas de vulto, comunidades e biótopos  
vegetais do entorno. Durante muitos anos esta região atraiu a atenção de  
pesquisadores, principalmente das áreas de paleontologia e botânica e, apesar da  
riqueza de mananciais e lagoas, estudos limnológicos nestes ambientes tiveram  
início apenas na década de setenta (Carvalho *et al*, 1977).

1460 Como todo corpo de água rodeado por aglomerações urbanas, a Lagoa Santa  
vem sofrendo grandes impactos decorrentes, principalmente, do processo de  
urbanização, dos quais a eutrofização e o assoreamento constituem as  
conseqüências mais diretas (Santos *et al*, 1998). Impactos na diversidade de peixes  
no lago foram detectados por Pompeu & Alves (2003), que constataram o  
1465 desaparecimento de 70% das 19 espécies existentes há 150 anos, quando Johan  
Reinhardt fez a primeira coleção de peixes da Lagoa Santa. O caso mais  
emblemático foi a extinção da mocinha (*Characidium lagosantense*), peixe pequeno  
típico da região. Segundo Pompeu & Alves (2003), as causas prováveis da perda  
destas espécies foram: (a) a obstrução da comunicação natural com o rio das  
1470 Velhas, realizada antigamente através do córrego do Bebedouro (hoje canalizado e  
fortemente poluído); (b) a introdução de espécies exóticas e (c) a eliminação da

vegetação marginal e submersa. Neste trabalho, estes autores observaram que a comunidade de peixe era formada pelas espécies *Astyanax lacustris*, *Eigenmannia microstoma*, *Hoplias malabaricus*, *Rhamdia quelen*, *Pamphorichthys hollandi*,  
1475 *Serrapinus heterodon*, *Cichla cf. monoculus*, *Hoplias lacerdae*, *Hoplosternum littorale*  
e *Tilapia rendalli*, sendo as quatro últimas exóticas.

#### *Pesquisa acústica*

O estudo hidroacústico na Lagoa Santa foi realizado no dia 28 de abril de  
1480 2008, durante o período diurno, utilizando-se a ecosonda Biosonics DT-X  
(Biosonics Inc.) equipada com um transdutor digital circular split-beam 6.6° de 200  
kHz. A ecosonda digital estava acoplada a um sistema de posicionamento global  
diferencial (D-GPS) AgGPS 132 (Trimble Co.). O receptor D-GPS teve os dados de  
coordenadas corrigidos *in situ*, a partir da correção diferencial via satélite  
1485 (OmniSTAR, Inc.). Assim, os dados de posicionamento colhidos pela unidade da  
embarcação foram corrigidos em tempo real, permitindo obter um erro menor do que  
100 cm na posição do barco.

O transdutor *split-beam* foi montado em uma estrutura metálica na lateral do  
barco, posicionado a aproximadamente 0,5 m abaixo da superfície da água e com o  
1490 fecho do sonar orientado verticalmente. Antes do início dos transectos foi realizada a  
calibração da ecosonda, utilizando-se esfera de carbeto de tungstênio de 36 mm. A  
esfera de calibração foi abaixada a aproximadamente 5 m abaixo do transdutor,  
posicionada no feixe acústico, e aproximadamente 2000 pings foram gravados para  
se estimar o índice de reflexão acústica individual (*Target Strength* – TS). O TS  
1495 representa a razão entre a energia que é refletida por um alvo e a quantidade de  
energia que incide sobre esse alvo (MacLennan & Simmonds, 2005). Testes *in situ*  
indicaram que o sistema ecosonda composto de processador e transdutor possuía  
um *offset* de 1,5 (Anexo I), o *software* Visual Analyser versão 4.1 (Biosonics Inc.) foi  
alimentado com esse valor de compensação para a realização das análises.. Para a  
1500 prospecção acústica, a ecosonda foi ajustada para uma duração do pulso de 0.4  
ms e uma taxa de pulsos de 5.0 pings por segundo (tabela 1), valores *default* da  
ecossonda. A escolha da duração do pulso depende dos objetivos e condições da  
amostragem. Para uma maior resolução dos alvos individuais é desejável uma  
duração de pulso mais curta, enquanto a duração mais longa é usada para grandes  
1505 alcances, já que a relação sinal/ruído empobrece, visto que o sinal enfraquece

(Acoustics Unpacked, 2009). Já a taxa de pulsos determina a taxa que a energia acústica é enviada para a coluna d'água. A escolha da taxa é feita com base na profundidade do ambiente de modo a evitar “sombras” do fundo nos dados. Quanto maior a profundidade maior o intervalo entre os pulsos, conseqüentemente menor é a taxa de pulso ideal (Acoustics Unpacked, 2009; Peltonem *et al*, 2006).

**Tabela 1.** Parâmetros de configurações iniciais da ecossonda (Biosonics DT-X – *split-beam*, 200 kHz) para a coleta de dados no campo.

Parâmetro	
Temperatura da água (°C)	28,0
Salinidade (ppt)	0,0
Velocidade do som (m.s) <sup>-1</sup>	1504,16
Profundidade do transdutor (m)	0,5
Duração do pulso (ms)	0,4
Taxa de pulsos (pps)	5
Absorção (dB.m <sup>-1</sup> )	0,00693
Limite de detecção (dB)	-130
Largura do feixe entre 3dB	6,6°
Índice de Diretividade (dB)	-29,26

Para assegurar a cobertura eficiente da superfície do lago, uma varredura acústica foi conduzida em dez transectos paralelos e perpendiculares ao comprimento máximo do lago (Fig. 1), sendo a velocidade de deslocamento da embarcação mantida em aproximadamente 8 km.h<sup>-1</sup>.

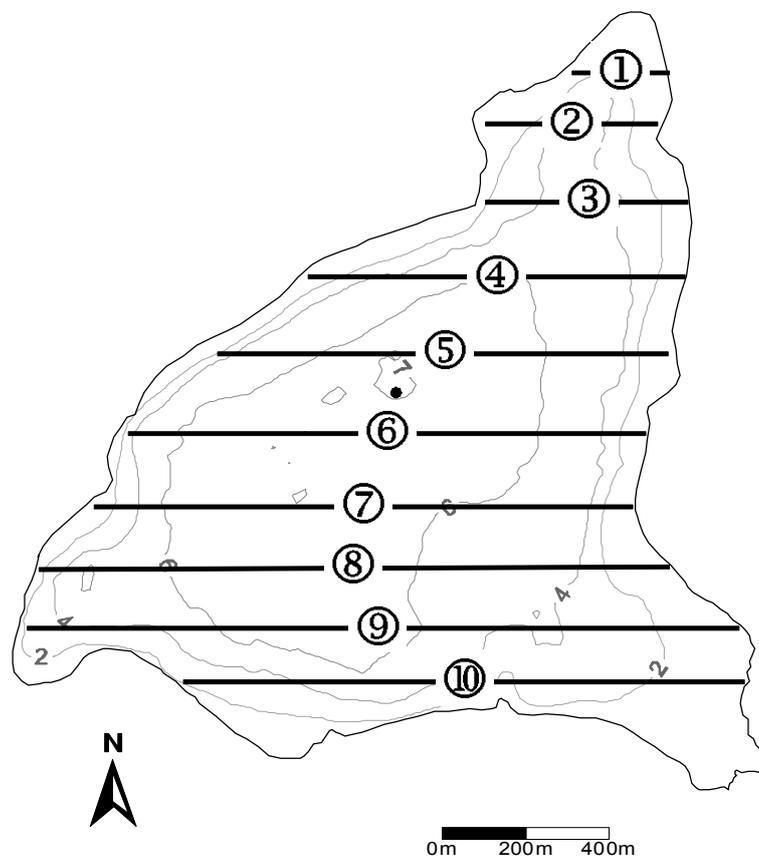
Os transectos foram previamente delimitados utilizando-se o programa GPS TrackMaker<sup>®</sup>. A princípio foi delimitada a linha de margem da Lagoa Central (Lagoa Santa, MG) utilizando-se uma imagem de satélite de alta resolução obtida através do programa Google Earth<sup>®</sup>. Esta imagem foi georreferenciada a partir de pontos controle coletados no entorno da lagoa com um D-GPS (*Differential Global Positioning System*) GTR-A<sup>®</sup> (TechGeo Ltda.). O georreferenciamento e a digitalização da linha de margem foram realizados no programa Didger 3.0<sup>®</sup> (Golden Software Inc.). A linha de margem foi importada para o GPS TrackMaker<sup>®</sup> e os transectos foram desenhados com o auxílio das ferramentas desse programa e importados para o GPS Garmin<sup>®</sup> através de um cabo serial na forma de trilhas como *Active Log*. A embarcação seguiu por essas trilhas durante a coleta de dados.

1530 O percurso total do estudo foi de 8,7 km, representando um grau de cobertura  
 (d) de 6,6. O grau de cobertura da área (d), conforme proposto por MacLennan &  
 Simmonds (2005), relaciona a extensão da varredura acústica com a superfície  
 prospectada, sendo obtido através da equação:

1535 
$$d = \frac{D}{\sqrt{A}}$$

onde, D = extensão da varredura acústica; e A = superfície prospectada. De acordo  
 com estes autores, para um grau de cobertura adequado, o valor de “d” não deve  
 ser inferior a 4,0.

1540 As informações processadas pela ecossonda foram visualizadas em tempo  
 real e armazenadas em arquivos individuais para cada transecto com o auxílio de  
 um computador laptop acoplado ao equipamento hidroacústico (via porta ethernet).  
 O *software* Visual Acquisition versão 5.0 (Biosonics Inc.) foi utilizado na visualização,  
 armazenamento digital, configuração e no controle de todo o sistema.



1545 **Figura 1:** Mapa batimétrico da Lagoa Santa mostrando as posições dos transectos  
 hidroacústicos, indicados por números.

Para o estudo das condições ambientais no dia da pesquisa acústica, medidas da temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da concentração de oxigênio dissolvido ( $\text{mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$ ) foram tomadas da superfície ao fundo (através de perfil vertical a cada 0,5 m) da região mais profunda do lago, utilizando-se a sonda multi-parâmetros Yellow Springs (modelo YSI 556).

#### *Pós-processamento dos dados acústicos*

Os dados hidroacústicos foram submetidos a um pós-processamento através do *software* Visual Analyser versão 4.1 (Biosonics Inc.). Para realizar essa análise primeiramente edita-se o fundo do lago manualmente no software. A análise da distribuição vertical e do espectro de TS foi realizada pelo método de eco-contagem utilizando a amplificação de tempo crono-variado (função TVG – *Time Varied Gain*)  $40 \log R$  e o valor de limiar de energia acústica de -60 dB, para se omitir ecos de peixes menores do que 2 cm e outros ecos não desejáveis como bolhas de ar e larvas de insetos. Na eco-contagem obtêm-se diretamente o número de peixes observados e, a partir daí, a estima-se a secção de retroespalhamento acústico (sigma ou obs) médio dos alvos (peixes) que corresponde à superfície efetiva de reflexão de energia acústica dos mesmos, considerando um padrão de reflexão esférica, e está relacionado ao índice de reflexão acústica individual (*Target Strength* - TS). Para mais detalhes consulte o Anexo II.

O comprimento dos ecos associados a peixes foi estimado a partir da equação de Love (1977):

$$\text{TS} = 19.4 \log(L) - 0.9 \log(F) - 63.7$$

Onde, TS = reflexão acústica individual em decibéis (dB re  $1\text{m}^2$ ); L = comprimento total do corpo em centímetros (cm) e F = frequência em quilohertz (kHz)

A análise da densidade de ecos associados a peixes foi realizada utilizando-se a técnica de eco-integração, através da amplificação (TVG)  $20 \log R$ , onde os níveis de intensidade acústica quantificados na eco-integração (Anexo III) foram convertidos nas densidades absolutas ( $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ ) por unidade de área pelo escalonamento dos valores de voltagem em relação ao valor médio do sigma determinado na eco-contagem para o transecto. Ao final da análise foi obtido o número de ecos associados a peixes em cada transecto que, através da área

percorrida e volume observado (volume do fecho do sonar), converteu-se em valores de densidade por unidade de área (indivíduos.hectare<sup>-1</sup>). Na espacialização da distribuição de densidade dos ecos associados a peixes, foi utilizado o método de interpolação *kriging*, utilizando-se o programa Surfer versão 8.0 (Golden Software Inc.). Este método geoestatístico tem sido proposto por vários autores (p. ex., 1585 Świerzowski, 2003; Monteoliva & Schneider, 2005), para a interpolação de dados de abundância de peixes.

#### *Relação entre densidade de peixes e variáveis limnológicas*

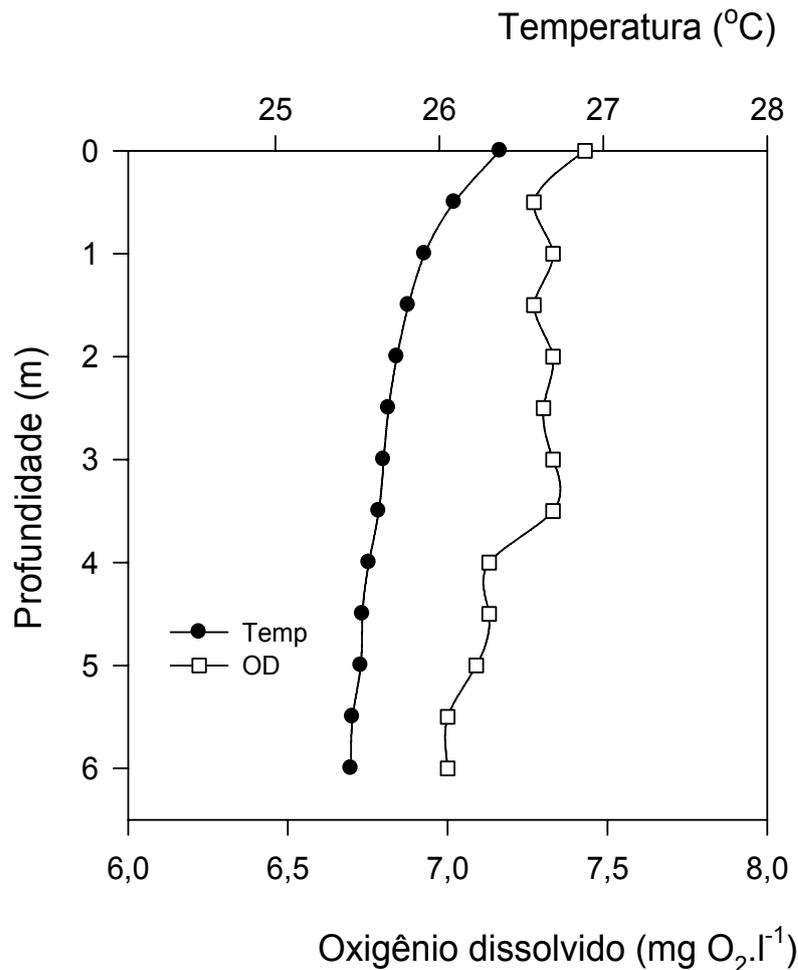
1590 Para inferir possíveis relações entre a variação espacial da densidade de ecos associados a peixes e a variação horizontal das variáveis limnológicas recorreu-se à análise multivariada de componentes principais (PCA) e à correlação (análise univariada). As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Statistica 8.0.

1595 A análise de componentes principais (PCA) foi realizada com a finalidade de reduzir o número de variáveis e identificar grupos de variáveis semelhantes e a partir dos componentes extraídos procurar correlacionar as variáveis limnológicas com a densidade de ecos associados a peixes. A correlação foi utilizada também para verificar se há possível relação de dependência entre a densidade de ecos 1600 associados a peixes e os valores dos índices de estado trófico (detalhes da metodologia para mensuração das variáveis limnológicas e da determinação do índice de trofia encontram-se no capítulo 2).

## 1605 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *Temperatura da água e concentração de oxigênio dissolvido*

Medidas de temperatura e da concentração de oxigênio na água indicaram a virtual ausência da estratificação térmica e de oxigênio da coluna de água, o que é típico de lagos tropicais para este período do ano (Fig. 2). Houve pouca variação de 1610 temperatura entre a superfície e o fundo, sendo a diferença menor do que 1,0 °C. A coluna de água mostrou-se bem oxigenada no ponto amostrado, com valores acima de 7,0 mg O<sub>2</sub>. l<sup>-1</sup> da superfícies ao fundo, o que pode ter influenciado a distribuição vertical dos ecos associados a peixes observada no lago durante o período de estudo.



1615

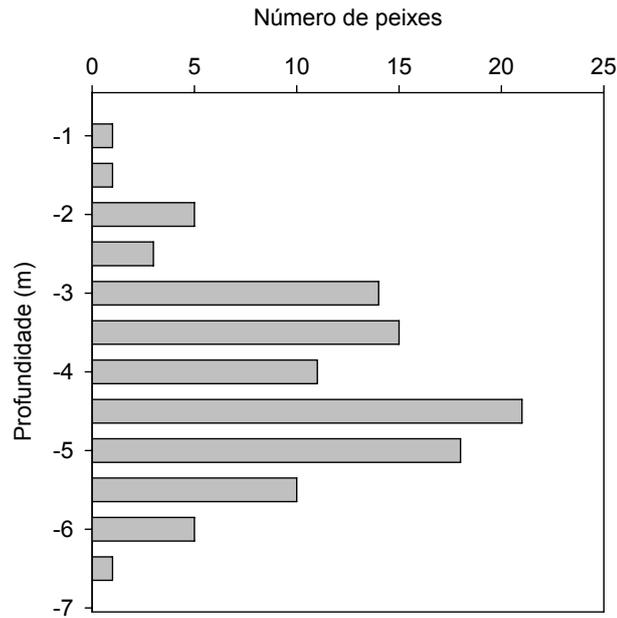
**Figura 2:** Perfil vertical da temperatura (°C) e da concentração de oxigênio dissolvido na água (mg O<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup>) em Lagoa Santa, 28 de abril de 2008.

#### *Distribuição vertical dos peixes*

1620

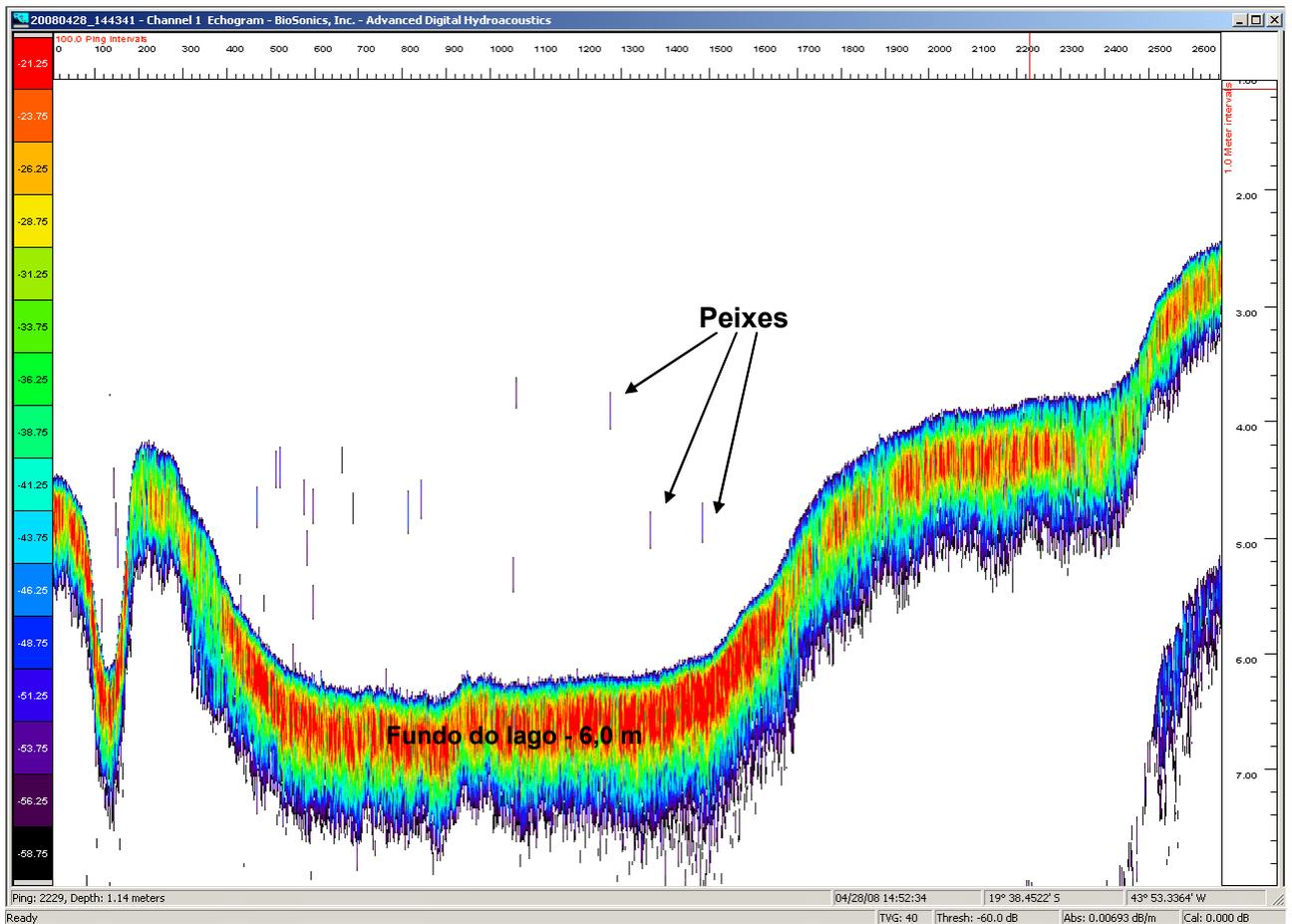
A figura 3 apresenta a distribuição vertical dos alvos insonificados em Lagoa Santa durante a pesquisa acústica de 28 de abril. Os resultados mostram que os organismos estavam distribuídos em sua maioria entre 3 e 6 metros de profundidade, com uma média de 4,2 metros. Isto indica que a presença de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido em toda a coluna de água do lago durante o período amostrado, favoreceu a ocorrência dos peixes nas águas mais profundas durante o período diurno. Tal comportamento também pode ser evidenciado na figura 4, que mostra um ecograma da zona pelágica (transecto 8), onde os alvos insonificados estavam na sua quase totalidade abaixo de 3 metros de profundidade. Os demais ecogramas estão no anexo IV.

1625



1630

**Figura 3:** Distribuição vertical das leituras de TS através da técnica de ecocontagem, por estratos de profundidade, em Lagoa Santa, 28 de abril de 2008.



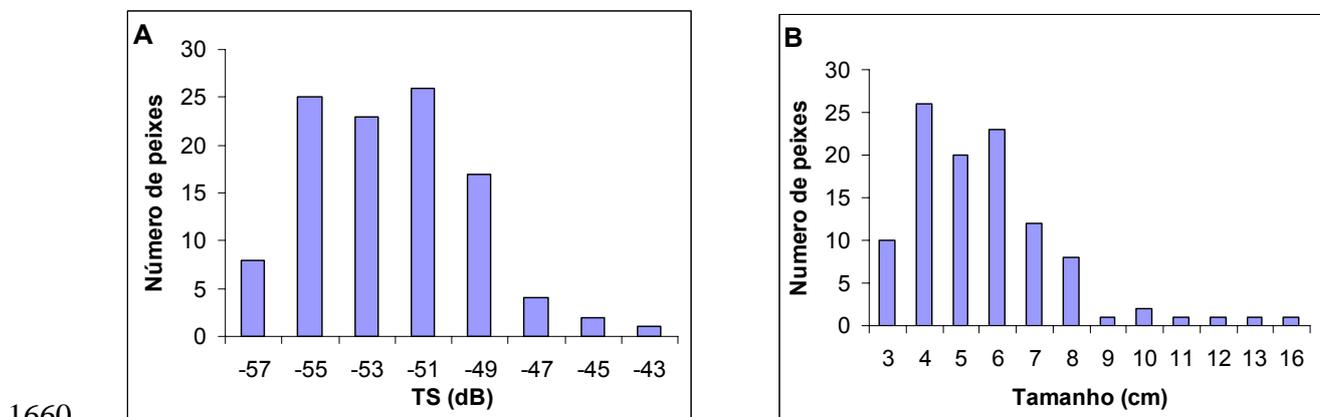
1635

**Figura 4:** Exemplo de um ecograma (transecto 8) da ecossondagem vertical realizada em Lagoa Santa, 28 de abril de 2008.

Os ecos associados a peixes distribuídos a profundidades menores do que 1 metro foram provavelmente subamostrados pela ecossonda como consequência da profundidade de montagem do transdutor (0,5 m) e da “zona morta” que é formada na região logo abaixo do mesmo devido ao pequeno volume amostrado a curtas distâncias. Outra razão para a diminuição de alvos na superfície pode estar ligada à fuga dos organismos devido ao avanço do barco durante a ecossondagem. Seria interessante que em futuros trabalhos fosse medido o ruído da embarcação. Uma provável solução a estas dificuldades encontradas pela ecossondagem vertical na amostragem das regiões litorâneas e das camadas superficiais da coluna de água pode estar na utilização da hidroacústica horizontal, em que o transdutor é posicionado horizontalmente na coluna de água. Diversos autores têm utilizado esta técnica com êxito no levantamento acústico de ambientes rasos (Kubecka & Wittingerova, 1998; Knudsen & Sægrov, 2002; Monteoliva & Schneider, 2005), no entanto a hidroacústica horizontal serviria apenas para fins de ecocontagem e não para a eointegração.

#### *Estimativa de tamanho do corpo e densidade*

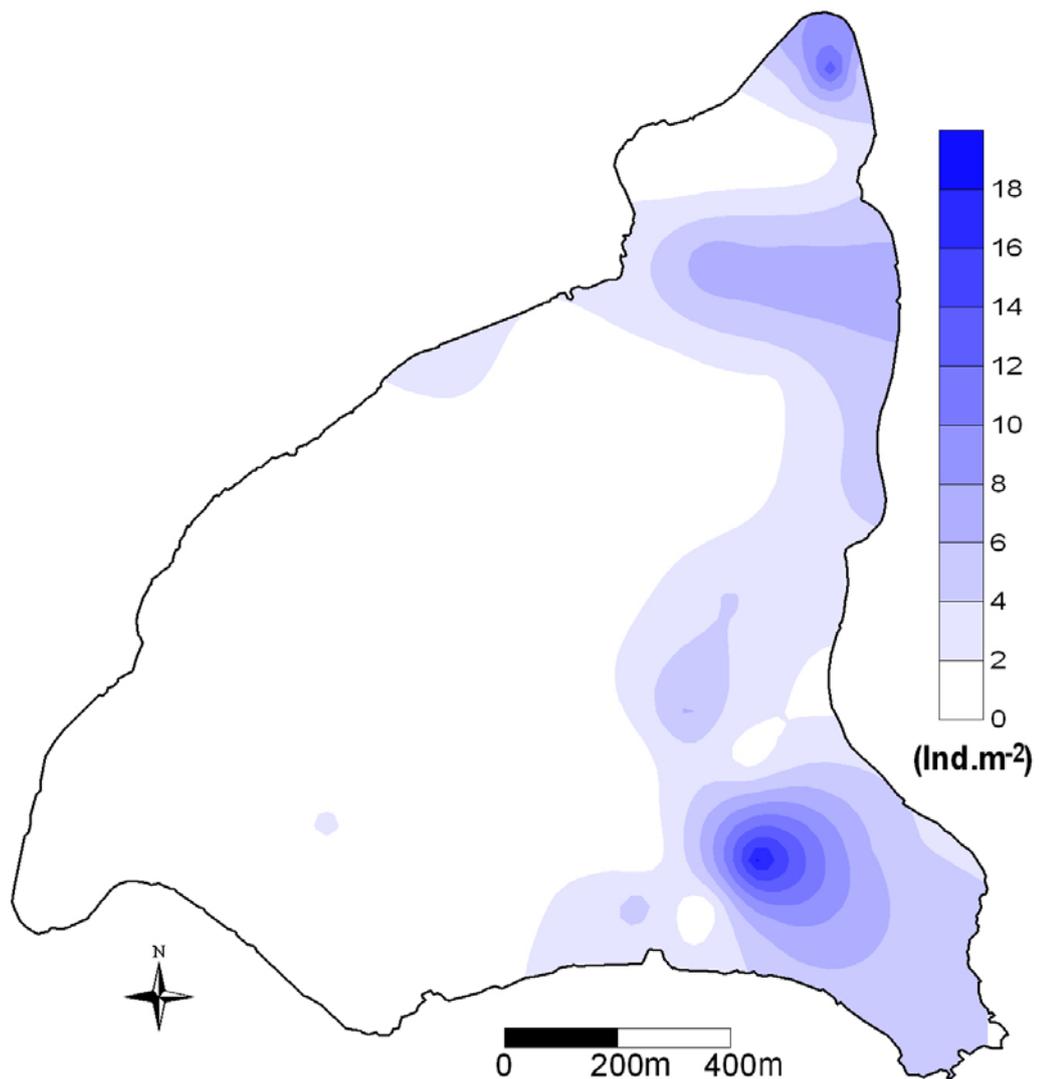
O valor médio de TS obtido pela técnica de eco-contagem em Lagoa Santa foi  $-52$  dB, variando de  $-42.4$  dB a  $-57.4$  dB, sendo detectados no total 106 peixes. O tamanho dos peixes, estimado utilizando a equação de Love (1977), teve a sua distribuição de tamanho variando de 2,7 a 15,9 cm, com um valor médio de 5,3 cm (Fig. 5).



**Figura 5:** Distribuição do tamanho acústico, TS (A) e distribuição do tamanho do corpo, em centímetros (B) de todos os ecos associados a peixes obtidos através da técnica de eco-contagem, em Lagoa Santa, 28 de abril de 2008.

1665 As densidades dos ecos associados a peixes apresentaram uma elevada  
heterogeneidade espacial, sendo os mesmos mais abundantes na zona litorânea  
(Fig. 6). As densidades variaram de 0 a 18 ind.m<sup>-2</sup>, com média de 0,89 ind.m<sup>-2</sup>.

1670



**Figura 6:** Modelo de superfície (*kriging*) de distribuição de densidade por unidade de área (ind.m<sup>-2</sup>) derivado da eco-integração de dados coletados em Lagoa Santa, 28 de abril de 2008.

1675

### *Relação entre densidade de peixes e variáveis limnológicas*

A partir da análise de PCA pode se extrair dois componentes que juntos explicam 61,83% da variância total dos dados (Componente 1: 33,72%; Componente 2: 28,11%). O Componente 1 teve maior contribuição das variáveis Clorofila-a, óleos e Graxas e razão N:P, já no Componente 2 as variáveis de maior contribuição foram sólidos, condutividade e turbidez. Para a extração desses dois componentes, foram feitas diferentes combinações entre as variáveis coletadas, até atingir uma análise de componentes principais com expressiva representatividade na caracterização da lagoa.

No componente 1 predominaram correlações positivas entre razão N:P (79%), condutividade (61%) e turbidez (35%); e negativas entre Sólidos (-34%), clorofila-a (-52%) e óleos e graxas (-70%). No componente 2, correlações positivas entre sólidos (52%), condutividade (64%) e clorofila-a (51%); e negativas entre turbidez (-59%), óleos e graxas (-58%) e razão N:P (-17%).

Adicionalmente à caracterização limnológica buscou-se através de análises de correlações simples identificar possíveis variáveis ou grupos de variáveis influenciando a densidade de peixes.

Primeiramente foram feitas análises de correlação entre a densidade de peixes e cada variável limnológica estudada (tabela 2), mas a única correlação significativa foi com o pH.

**Tabela 2.** Valores de  $r^2$  entre a densidade de peixes e as variáveis estudadas na Lagoa Central, Lagoa Santa - MG

	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nt	Pt	Sól	pH	Cond	Turb	Cl-a	OG	N:P	O <sub>2</sub>
Peixes	0,02	-0,24	-0,21	0,35	-0,07	-0,08	-0,52	-0,18	0,31	-0,15	-0,05	0,08	-0,16

NH<sub>3</sub> – amônia; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - nitrito; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - nitrato; Nt – Nitrogênio total; Pt – fósforo total; Sól - sólidos em suspensão; Cond – condutividade; Turb – turbidez; Cl-a – clorofila-a; OG – Óleos e graxas; N:P – razão nitrogênio:fósforo; O<sub>2</sub> – oxigênio dissolvido.\*p<0,05

Partindo do pressuposto de que a distribuição dos organismos está muitas vezes relacionada a diversos fatores ambientais e não apenas a um específico, testou-se a correlação entre a densidade de peixes e as componentes extraídas da PCA. Novamente os valores não foram representativos  $r^2 = -0,44$  para a componente 1 e  $r^2 = 0,10$  para a componente 2.

1710 Por último testou-se a correlação entre a densidade de peixes e os valores dos índices de trofia (Carlson, 1977) com base na concentração de clorofila-a ( $r^2 = 0,33$ ) e de fósforo total ( $r^2 = -0,39$ ), o que também não demonstrou correlação representativa.

1715 Outros fatores não abordados neste estudo podem estar mais fortemente relacionados com a variação espacial da densidade de peixes na Lagoa Central, tais como densidade zooplanctônica, produtividade, presença de bancos de macrófitas. (Oliveira & Goulart, 2000). Para discutir tais relações são necessários estudos mais abrangentes, servindo este apenas como referência para futuros trabalhos.

1720 Quanto a densidade de peixes pode-se notar que os maiores valores estão concentrados em dois extremos da lagoa (Fig. 6). Na região nordeste da lagoa e na região sudeste da lagoa. Esses valores mais altos podem estar associados à eutrofização, uma vez que coincide com concentrações elevadas de variáveis como fósforo total, nitrogênio total, nitrato e clorofila, devido à grande quantidade de sólidos em suspensão e aos valores mais elevados de turbidez. Ou ainda podem  
1725 estar associados a diversos fatores ecológicos que não foram abordados neste estudo, tais como, ausência de predadores nesta margem, zona de reprodução, pesca em menor escala. Segundo Petry (2001) a composição e abundância da ictiofauna são influenciadas principalmente pela transparência da água e concentração de oxigênio dissolvido. No presente trabalho, a densidade de peixes  
1730 teve baixa correlação com sólidos, turbidez e concentração de oxigênio dissolvido ( $r^2 = -0,08$ ;  $r^2 = 0,31$  e  $r^2 = -0,16$ ; respectivamente).

## CONCLUSÕES

1735 Este foi o primeiro estudo utilizando a técnica hidroacústica em um lago natural de Minas Gerais. O estudo foi capaz de detectar que existem dois padrões notáveis com relação à distribuição espacial dos ecos associados a peixes: (a) maior concentração junto à zona litorânea e (b) prevalência dos indivíduos nas maiores profundidades, evitando as águas superficiais. Adicionalmente, este estudo foi capaz  
1740 de estimar a densidade total de peixes no lago. A estimativa de ecos associados a peixes condiz com a hipótese de que o lago possui baixa densidade de peixes.

Como toda técnica hidroacústica, acreditamos que a densidade de peixes em Lagoa Santa possa ter sido subestimada, principalmente porque a ecossonda não

1745 detecta aqueles peixes muitos próximos ao fundo, e principalmente, aqueles peixes  
muitos próximos da superfície. A impossibilidade de realizar a ecossondagem muito  
próximo às margens também é um problema, já que alguns sistemas apresentam  
elevadas densidades de peixes junto a bancos de macrófitas e em áreas rasas.  
Outro aspecto relevante é que existem mudanças notáveis no comportamento dos  
1750 peixes entre o dia e a noite, quando muitas espécies, que permanecem na zona  
litoral durante o dia, passam a patrulhar a zona limnética à noite (Winfield *et al*,  
2007b). Dessa forma, torna-se imperativo a realização de sondagem hidroacústica  
também no período noturno.

Com os resultados obtidos através desta pesquisa, pode-se concluir que, com  
a utilização das técnicas hidroacústicas, é possível eliminar algumas distorções  
1755 tradicionalmente contidas em censos e estudos de ictiofauna em reservatórios e  
lagos. O monitoramento de populações de peixes por métodos hidroacústicos tem a  
vantagem de não ser destrutiva e de ser rápida. Outro aspecto fundamental diz  
respeito à facilidade de operação e à portabilidade do equipamento hidroacústico,  
permitindo a prospecção em pequenas embarcações e com uma equipe reduzida de  
1760 pessoal. Sugerimos para o futuro que a pesquisa hidroacústica seja realizada  
concomitantemente com a coleta tradicional, visando, sobretudo a calibração dos  
algoritmos de transformação de TS em tamanho de corpo e biomassa,  
personalizando os mesmos às espécies encontradas.

A correlação entre os parâmetros abióticos e a densidade de peixes não  
1765 apresentou valores relevantes, o que já era esperado devido à grande complexidade  
dessas relações que necessitam de estudos mais aprofundados e que também  
considerem a variação temporal. O uso de técnicas com ênfase no estudo da  
variação espacial (*e.g.* teste de Mantel) pode apresentar resultados mais  
significativos e ajudar a estabelecer fundamentos para delineamento de futuros  
1770 estudos e monitoramentos.

1775

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1780 ACOUSTIS UNPACKED - A General Guide for Deriving Abundance Estimates from  
Hydroacoustic Data. **2009**. Visualizado em 03 de fevereiro de 2009. Disponível  
em; <http://www.dnr.cornell.edu/acoustics/AcousticsUnpacked.asp>
- CARLSON, R. E. **1977**. A trophic state index for lakes. *Limnology and  
Oceanography*, 22: 361-169.
- 1785 CARVALHO, E. J.; FREITAS, J. R.; KOHLER, H. C. & SANTOS, F. M. C. **1977**.  
*Inventário geo-ecológico da região da Lagoa Santa – MG*. Relatório técnico  
COPAER, Belo Horizonte.
- CHEN, D.; ZHANG, X.; TAN, X.; WANG, K.; QIAO, Y. & CHANG, Y. **2009**.  
Hydroacoustic study of spatial and temporal distribution of *Gymnocypris  
przewalskii* (Kessler, 1876) in Qinghai Lake, China. *Environmental Biology of  
1790 Fish*, 84: 231–239
- EHRENBERG, J. E. & STEIG, T. W. **2003**. Improved techniques for studying the  
temporal and spatial behavior of fish in a fixed location. *Journal of Marine  
Science*, 60: 700–706.
- GERLOTTO, F. **1993**. Identification and spatial stratification of tropical fish  
1795 concentrations using acoustic populations. *Aquatic Living Resources*, 6: 243-  
254.
- GODLEWSKA, M. & JELONEK, M. **2006**. Acoustical estimates of fish and  
zooplankton distribution in the Piaseczno reservoir, Southern Poland. *Aquatic  
Ecology*, 40: 211-219.
- 1800 KRUMME, U. **2004**. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove  
channel as revealed by a split-beam echosounder. *Fisheries Research*, 70: 1-15.
- KNUDSEN, F.R. & SÆGROV, H. **2002**. Benefits from horizontal beaming during  
acoustic survey: application to three Norwegian lakes. *Fisheries Research*, 56:  
205-211.
- 1805 KUBECKA, J. & WITTINGEROVA, M. **1998**. Horizontal beaming as a crucial  
component of acoustic fish stock assessment in freshwater reservoirs. *Fisheries  
Research*, 35: 99-106.
- LOGERWELL, E.A. & WILSON, C. D. **2004**. Species discrimination of fish using  
frequency-dependent acoustic backscatter. *Journal of Marine Science*, 61: 1004 -  
1810 1013.

- LOVE, R.H. **1977**. Target strength of a fish at any aspect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 62: 1397–1403.
- MACLENNAN, D.N. & HOLLIDAY, D.V. **1996**. Fisheries and plankton acoustics: past, present and future. *Journal of Marine Science*, 53: 513-516.
- 1815 MACLENNAN, D.N. & SIMMONDS, E.J. **2005**. *Fisheries Acoustics – 2<sup>nd</sup> ed.* Blackwell Science, Oxford.
- MADUREIRA, L.S.P.; WARD, P. & ATKINSON, A. **1993**. Differences in backscattering strength determined at 120 and 38 kHz for three species of Antarctic macroplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 93: 17-24.
- 1820 MADUREIRA, L.S.P. & ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D. **2005**. *Prospecção de recursos pesqueiros pelágicos na Zona Econômica Exclusiva da Região Sudeste-Sul do Brasil: hidroacústica e biomassas*. São Paulo: Instituto Oceanográfico – USP, Série Documentos REVIZEE: Score Sul.
- MEHNER, T. & SCHULZ, M. **2002**. Monthly variability of hydroacoustic fish stock estimates in a deep lake and its correlation to gillnet catches. *Journal of Fish Biology*, 61: 1109-1121.
- 1825
- MONTEOLIVA, A. & SCHNEIDER, P. **2005**. Aplicación de un nuevo método para la evaluación censal de la ictiofauna de embalses: hidroacústica digital con haz vertical y horizontal. *Limnetica*, 24: 161-170.
- 1830 OLIVEIRA, E.F. de & GOULART, E. **2000**. Distribuição espacial de peixes em ambientes lênticos: interação de fatores. *Acta Scientiarum*, 22(2): 445-453.
- PARAMO, J; QUIÑONES, R.A.; RAMÍREZ, A. & WIFF, R. **2003**. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information.
- 1835 *Aquatic Living Resources*, 16: 239–245.
- PELTONEN, H.; MALINEN, T. & TUOMAALA, A. **2006**. Hydroacoustic *in situ* target strength of smelt (*Osmerus eperlanus* (L.)). *Fisheries Research*, 80: 190–195.
- PETRY, A. C. **2001**. *Variação Espacial na Estrutura das Assembléias de Peixes da Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá.
- 1840
- POMPEU, P.S. & ALVES, C.B.M. **2003**. Local fish extinction in a small tropical lake in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 1: 133-135.

- 1845 SANTOS, M.B.L.; ROCHA, L. A. ; MARQUES, M. M. G. S. M. & BARBOSA, F. A. R. **1998**. Diversidade e abundância da fauna bentônica de cinco lagoas do karste do planalto de Lagoa Santa, MG. *In*: NESSIMIAN, J.L., CARVALHO L. (Org.). *Ecologia de Insetos*, Série Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, 1998, 5: 77-89.
- 1850 STARLING, F. L. R. M.; LAZZARO, X.; CAVALCANTI, C. & MOREIRA, R. **2002**. Contribution of omnivorous tilapia to eutrophication of a shallow tropical reservoir: evidence from a fish kill. *Freshwater Biology*, 47(1): 2443-2452.
- ŚWIERZOWSKI, A. **2003**. The variability of distribution and density of pelagic fishes in the Roznowski dam reservoir. *Archives of Polish Fisheries*, 11: 245-263.
- 1855 TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. H. V.; ZAGAGLIA, J. R.; ADVÍNCULA, R. & SCHOBER, J. **1999**. Thermohaline structure around seamounts and islands off Northeast Brazilian coast. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47: 211-222.
- TREVORROW, M. V. **1998**. Salmon and herring school detection in shallow waters using sidescan sonars. *Fisheries Research*, 35: 5–14.
- 1860 UIEDA, V.S. & CASTRO, R.M.C **1999**. Coleta e fixação de peixes de riachos, PP. 1-22. *In*: CARAMASCHI, E.P.; MAZZONI, R. & PERES-NETO, P.R (Eds). *Ecologia de Peixes de Riachos*. Série Oecologia Brasiliensis, vol VI, PPGEUFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- 1865 VEHANEN, T.; JURVELIUS, J. & LAHTI, M. **2005**. Habitat utilization by fish community in a short-term regulated river reservoir. *Hydrobiologia*, 545: 257-270.
- 1870 WANZENBÖCK, J.; MEHNER, T.; SCHULZ, M.; GASSNER, H.; & WINFIELD, I.J. **2003**. Quality assurance of hydroacoustic surveys: Repeatability of fish abundance and biomass estimates in lakes within and between hydroacoustic systems. *Journal of Marine Science*, 60: 486-492.
- 1875 WEELER, P. **2005**. Utility of digitally modeled and visualized time-series hydrographic charts in analysis of pre/post flood event bathymetric change. *Applied Gis*, 1: 24-29.
- WEIGERT, S. C. **2006**. *Avaliação hidroacústica dos efeitos causados por bancos submarinos e ilhas sobre a distribuição e densidade acústica de organismos pelágicos, na zona econômica exclusiva das regiões central e nordeste do Brasil*. (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

- WINFIELD, I. J.; ONOUFRIOU, C.; OR'CONNELL, M. J.; GODLEWSKA, M.; WARD, R. M.; BROWN, A. F. & YALLOP, M. L. **2007a**. Assessment in two shallow lakes of a hydroacoustic system for surveying aquatic macrophytes. *Hydrobiologia*, 584: 111-119.
- 1880
- WINFIELD, I. J.; FLETCHER, J.M. & JAMES, J.B. **2007b**. Seasonal variability in the abundance of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) recorded using hydroacoustics in Windermere, UK and its implications for survey design. *Ecology of Freshwater Fish*, 16: 64-69.
- 1885
- 1890
- 1895
- 1900
- 1905
- 1910

## ANEXO I

### Detalhes da calibração da ecosonda

1915 A calibração adequada do sistema acústico é necessário quando se usas técnicas acústicas tais como eco-integração, *target tracking*, etc. Como muitas variáveis do campo podem afetar a performance desse sistema (ex: temperatura, salinidade, profundidade) é necessário realizar uma re-calibração da ecosonda no local de coleta. Para tanto, foram seguidos os seguintes passos:

- 1920 1. Posicionou-se uma esfera de calibração de tungstênio de 36 mm (Fig. 1) suspensa numa linha fina abaixo do transdutor.
2. Ajustou-se a posição da esfera a mais de 3 m de profundidade próxima ao centro do fecho de ondas.
3. O ecograma obtido com o *software* Visual Acquisition (Biosonics Inc.) foi salvo e posteriormente analisado com o Visual Analyzer (Biosonics Inc.)  
1925 para a obtenção do valor de TS (*Target Strength*) da esfera.
4. O valor de TS encontrado (tabela 1) foi comparado com o valor esperado (tabela 2) fornecido pela Biosonics Inc.

1930 Assumindo um TS medido de -38,3 e o TS da esfera de -39,8, houve uma diferença de 1,5. Esse valor foi considerado na análise como um valor de compensação (*offset*) do TS medido.



**Figura 1:** Esfera de tungstênio usada para a calibração da sonda no campo.

1935 **Tabela 1.** Resultados do teste de calibração no campo para a sonda de 200 kHz, velocidade do som na água 1493,44 m.s<sup>-1</sup>.

<b>Estrato</b>	<b>Alvos encontrados</b>	<b>Sigma</b>	<b>TS médio</b>
1	0	$1,0 \times 10^{+6}$	0,00
2	0	$1,0 \times 10^{+6}$	0,00
3	10	$1,5 \times 10^{+2}$	-38,08
4	3	$1,3 \times 10^{+2}$	-38,52
5	0	$1,0 \times 10^{+6}$	0.00

**Tabela 2.** Tabela de dados da esfera de calibração (~36 mm / 200 kHz / duração do pulso  $\geq 0,5$  ms)

<b>Velocidade do som na água (m.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>TS (<i>target strength</i>) da esfera</b>	
	<b>Água doce (densidade = 1 g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Água salgada (densidade = 1,03 g/cm<sup>3</sup>)</b>
1410	-40,1	-40,1
1420	-40,0	-40,0
1430	-39,8	-39,8
1440	-39,6	-39,6
1450	-39,5	-39,5
1460	-39,5	-39,5
1470	-39,5	-39,5
1480	-39,6	-39,6
1490	-39,8	-39,8
1500	-39,9	-39,9
1510	-40,0	-40,0
1520	-40,0	-40,0
1530	-39,9	-39,9

1940 Acurácia para o TS calculado é de  $\pm 0.2$  dB.

1945

## ANEXO II

### Dados de distribuição vertical dos alvos-peixes insonificados

1950 Para realizar a análise de distribuição vertical usou-se a metodologia de eco-  
contagem (*Single Target Analysis*). A eco-contagem avalia o retorno dos ecos para o  
transdutor, identificando amostras acima do limiar de energia acústica (*threshold*).  
Em seguida, o *software* Visual Analyzer avalia o tamanho do eco com base no  
comprimento do pulso e no fator de correlação. O critério final é que o valor máximo  
da raiz quadrada média do eco exceda o limite de detecção (*threshold*). Por último, o  
1955 programa analisa a força do alvo (TS - *target strength*) e gera um arquivo texto (.txt)  
com os dados de profundidade, TS e coordenadas geográficas de cada alvo (tabela  
1).

1960

**Tabela 1.** Coordenada geográfica, profundidade e força do alvo (TS) para cada alvo identificado em cada transecto amostrado.

	Latitude	Longitude	Profundidade	TS
<b>Transecto 1</b>				
1	19° 37.7974' S	43° 53.3478' W	1.03	-49.168
2	19° 37.8068' S	43° 53.3934' W	2.82	-51.211
3	19° 37.8068' S	43° 53.3934' W	2.76	-55.820
<b>Transecto 2</b>				
0	-	-	-	-
<b>Transecto 3</b>				
1	19° 37.9860' S	43° 53.5209' W	2.31	-53.990
<b>Transecto 4</b>				
1	19° 38.1056' S	43° 53.5924' W	3.16	-55.484
2	19° 38.0989' S	43° 53.5163' W	3.18	-51.755
<b>Transecto 5</b>				
1	19° 38.1743' S	43° 53.7885' W	2.44	-52.434
2	19° 38.1697' S	43° 53.8258' W	2.64	-52.137
3	19° 38.1697' S	43° 53.8319' W	3.27	-50.417
4	19° 38.1932' S	43° 53.3363' W	3.30	-47.943
5	19° 38.1695' S	43° 53.7077' W	3.86	-47.870
6	19° 38.1901' S	43° 53.5448' W	4.21	-48.927
7	19° 38.1695' S	43° 53.7077' W	4.31	-55.317
8	19° 38.1695' S	43° 53.8226' W	4.33	-44.292

Continua

Continuação

	Latitude	Longitude	Profundidade	TS
<b>Transecto 6</b>				
1	19° 38.2896' S	43° 53.9815' W	1.99	-50.913
2	19° 38.3019' S	43° 53.5835' W	2.89	-57.400
3	19° 38.3076' S	43° 53.9430' W	2.91	-53.922
4	19° 38.3315' S	43° 53.8863' W	2.94	-51.251
5	19° 38.3076' S	43° 53.9430' W	2.98	-52.221
6	19° 38.3308' S	43° 53.8921' W	3.23	-46.911
7	19° 38.3067' S	43° 53.5090' W	3.66	-51.514
8	19° 38.3151' S	43° 53.9288' W	3.83	-50.549
9	19° 38.3277' S	43° 53.9034' W	3.86	-55.615
10	19° 38.3242' S	43° 53.9115' W	4.19	-53.712
11	19° 38.3052' S	43° 53.7238' W	4.24	-53.334
12	19° 38.3063' S	43° 53.7297' W	4.26	-51.008
13	19° 38.3063' S	43° 53.7297' W	4.26	-50.379
14	19° 38.3102' S	43° 53.5315' W	4.58	-42.430
15	19° 38.3015' S	43° 53.6762' W	5.02	-52.539
16	19° 38.3127' S	43° 53.7684' W	5.29	-52.489
17	19° 38.3055' S	43° 53.7252' W	5.36	-50.534
18	19° 38.3048' S	43° 53.5667' W	5.45	-48.732
19	19° 38.3048' S	43° 53.5667' W	5.47	-51.141
20	19° 38.3052' S	43° 53.7238' W	6.10	-54.066
<b>Transecto 7</b>				
1	19° 38.4052' S	43° 53.8841' W	1.70	-49.167
2	19° 38.4115' S	43° 53.7964' W	2.55	-53.773
3	19° 38.4160' S	43° 53.7171' W	2.60	-49.744
4	19° 38.4019' S	43° 53.9524' W	3.36	-54.875
5	19° 38.4140' S	43° 53.6903' W	3.50	-55.167
6	19° 38.4030' S	43° 53.9186' W	3.72	-55.684
7	19° 38.4014' S	43° 53.9360' W	3.97	-45.784
8	19° 38.4118' S	43° 53.8133' W	4.33	-54.528
9	19° 38.4016' S	43° 53.9401' W	4.53	-48.135
10	19° 38.4159' S	43° 53.7157' W	4.55	-51.249
11	19° 38.4025' S	43° 53.9117' W	4.60	-53.785
12	19° 38.4118' S	43° 53.8133' W	4.62	-57.058
13	19° 38.4014' S	43° 53.9333' W	4.95	-51.545
14	19° 38.4030' S	43° 53.8991' W	5.47	-50.904
15	19° 38.4163' S	43° 53.7199' W	5.67	-50.730
16	19° 38.4163' S	43° 53.7199' W	5.72	-53.270
<b>Transecto 8</b>				
1	19° 38.4731' S	43° 53.9464' W	1.61	-52.824
2	19° 38.4607' S	43° 53.8368' W	1.73	-56.394
3	19° 38.4625' S	43° 53.8487' W	2.64	-52.927

continua

continuação

	Latitude	Longitude	Profundidade	TS
4	19° 38.4616' S	43° 53.6546' W	2.80	-49.276
5	19° 38.4606' S	43° 53.9008' W	2.83	-50.632
6	19° 38.4616' S	43° 53.6546' W	3.23	-52.582
7	19° 38.4603' S	43° 53.7729' W	3.63	-57.210
8	19° 38.4616' S	43° 53.6546' W	3.66	-54.730
9	19° 38.4584' S	43° 53.7116' W	3.74	-51.572
10	19° 38.4583' S	43° 53.7045' W	3.84	-49.266
11	19° 38.4798' S	43° 53.9764' W	4.01	-54.708
12	19° 38.4606' S	43° 53.8889' W	4.15	-50.206
13	19° 38.4681' S	43° 53.9294' W	4.21	-50.887
14	19° 38.4689' S	43° 53.9322' W	4.26	-50.611
15	19° 38.4774' S	43° 54.0448' W	4.40	-57.178
16	19° 38.4790' S	43° 53.9690' W	4.49	-51.730
17	19° 38.4605' S	43° 53.8354' W	4.49	-50.632
18	19° 38.4726' S	43° 53.9450' W	4.55	-48.605
19	19° 38.4617' S	43° 53.9081' W	4.58	-48.827
20	19° 38.4620' S	43° 53.8442' W	4.60	-46.016
21	19° 38.4616' S	43° 53.6518' W	4.69	-50.788
22	19° 38.4775' S	43° 54.0433' W	4.71	-55.158
23	19° 38.4594' S	43° 53.6846' W	4.77	-53.028
24	19° 38.4627' S	43° 53.9124' W	4.89	-48.103
25	19° 38.4776' S	43° 54.0417' W	4.93	-48.022
26	19° 38.4599' S	43° 53.7743' W	5.18	-53.200
27	19° 38.4617' S	43° 53.9081' W	5.41	-54.381
28	19° 38.4593' S	43° 53.7230' W	5.43	-54.351
29	19° 38.4746' S	43° 54.0519' W	5.52	-54.745
<b>Transecto 9</b>				
1	19° 38.5176' S	43° 53.9515' W	1.25	-50.296
2	19° 38.5419' S	43° 53.6629' W	2.00	-50.197
3	19° 38.5402' S	43° 53.6801' W	2.27	-49.230
4	19° 38.5384' S	43° 54.1077' W	2.69	-46.226
5	19° 38.5238' S	43° 53.8394' W	3.09	-55.040
6	19° 38.5184' S	43° 53.8806' W	3.43	-54.250
7	19° 38.5248' S	43° 53.8355' W	3.47	-48.832
8	19° 38.5410' S	43° 53.6735' W	3.50	-51.176
9	19° 38.5309' S	43° 53.7942' W	4.08	-53.862
10	19° 38.5194' S	43° 53.9059' W	4.30	-52.649
11	19° 38.5194' S	43° 53.9059' W	4.33	-51.707
12	19° 38.5396' S	43° 53.6854' W	4.42	-49.981
13	19° 38.5309' S	43° 53.7367' W	4.53	-54.939
14	19° 38.5196' S	43° 53.9028' W	4.66	-54.079
15	19° 38.5248' S	43° 53.8355' W	4.89	-47.752

continua

continuação

	Latitude	Longitude	Profundidade	TS
16	19° 38.5236' S	43° 53.8407' W	4.91	-52.417
17	19° 38.5418' S	43° 53.6642' W	4.95	-53.982
18	19° 38.5252' S	43° 53.8342' W	5.05	-49.393
19	19° 38.5396' S	43° 53.6854' W	5.60	-52.879
20	19° 38.5398' S	43° 53.6840' W	5.63	-51.950
21	19° 38.5304' S	43° 53.7610' W	5.74	-49.783
<b>Transecto 10</b>				
1	19° 38.5894' S	43° 53.8740' W	1.86	-52.507
2	19° 38.6155' S	43° 53.7932' W	3.03	-55.038
3	19° 38.6137' S	43° 53.7510' W	3.10	-51.400
4	19° 38.5922' S	43° 53.8673' W	3.30	-55.136
5	19° 38.5871' S	43° 53.8807' W	3.39	-50.246
6	19° 38.6147' S	43° 53.7568' W	4.26	-44.932

1965

**Referência Bibliográfica**

VISUAL ANALYZER™ 4. **1994**. *User Guide - Visual Analyzer™ 4*, BioSonics Inc.

Nova Iorque: BioSonics Inc. 79 p.

1970

1975

1980

1985

## ANEXO III

### Obtenção dos dados para a confecção da carta temática da densidade de peixes

1990

A análise de densidade de peixes foi realizada usando-se a técnica de eco-integração. Essa metodologia é baseada em algoritmos padrões de eco-integração que relacionam o retorno de energia medido em um determinado volume de água para estimar a população de peixes.

1995

Para realizar a eco-integração os transectos foram divididos em um número de seções definidas de acordo com o comprimento do mesmo. O *software* define a localização do ponto médio dessas seções e fornece o número de indivíduos por unidade de área (FPUA – *Fish Per Unit Área*) em cada uma das seções definidas. O FPUA é definido como a soma da multiplicação da densidade absoluta com o intervalo de densidade e a proporção do intervalo de amostragem (Eq. 01) (Vizual Analyzer™ 4, 1994). O valor de FPUA do relatório é expresso em peixes.m<sup>2</sup> e no presente trabalho foi transformado para peixes.ha multiplicando-se o valor do relatório por 10 000.

2000

2005

$$FPUA = \sum (AD_i * IT_i * \%_i / 100) \quad \text{Eq. 01}$$

2010

A partir das coordenadas do ponto médio de cada seção e dos valores de FPUA (Tabela 1) gerou-se um arquivo do tipo XYZ, onde X e Y são as coordenadas e Z é o número de indivíduos por hectare, que foi utilizado no programa Surfer 8.0 (Golden Software Inc.) para a espacialização da distribuição da densidade de peixes (Fig. 6 do Capítulo 3).

2015

**Tabela 1.** Coordenadas geográficas do ponto médio e FPUA (*Fish Per Unit Área*) das seções de cada transecto percorrido durante a amostragem no campo.

Transecto 1			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 37.8030' S	43° 53.3392' O	4,93 x 10 <sup>0</sup>
2	19° 37.8024' S	43° 53.3642' O	1,39 x 10 <sup>+1</sup>
3	19° 37.8067' S	43° 53.3967' O	5,42 x 10 <sup>0</sup>

Continua

Continuação

<b>Transecto 2</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 37.8872' S	43° 53.5244' O	4,25 x 10 <sup>-6</sup>
2	19° 37.8946' S	43° 53.5167' O	3,80 x 10 <sup>-5</sup>
3	19° 37.8788' S	43° 53.4107' O	3,27 x 10 <sup>-5</sup>
<b>Transecto 3</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 37.9986' S	43° 53.3222' O	6,99 x 10 <sup>0</sup>
2	19° 37.9991' S	43° 53.3993' O	7,40 x 10 <sup>0</sup>
3	19° 37.9868' S	43° 53.4857' O	7,60 x 10 <sup>0</sup>
<b>Transecto 4</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.0897' S	43° 53.7400' O	3,01 x 10 <sup>0</sup>
2	19° 38.1134' S	43° 53.6415' O	9,63 x 10 <sup>-2</sup>
3	19° 38.1030' S	43° 53.5326' O	2,70 x 10 <sup>-1</sup>
4	19° 38.1015' S	43° 53.4232' O	1,64 x 10 <sup>0</sup>
<b>Transecto 5</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.1933' S	43° 53.3333' O	4,63 x 10 <sup>0</sup>
2	19° 38.1923' S	43° 53.4758' O	1,13 x 10 <sup>-1</sup>
3	19° 38.1746' S	43° 53.6201' O	1,46 x 10 <sup>-1</sup>
4	19° 38.1772' S	43° 53.7656' O	2,90 x 10 <sup>-1</sup>
<b>Transecto 6</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.2883' S	43° 53.9853' O	5,99 x 10 <sup>-1</sup>
2	19° 38.3313' S	43° 53.8673' O	8,74 x 10 <sup>-1</sup>
3	19° 38.3063' S	43° 53.7297' O	1,92 x 10 <sup>-1</sup>
4	19° 38.3005' S	43° 53.5935' O	3,18 x 10 <sup>-1</sup>
5	19° 38.3029' S	43° 53.4640' O	4,16 x 10 <sup>0</sup>
<b>Transecto 7</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.3868' S	43° 53.3593' O	1,16 x 10 <sup>0</sup>
2	19° 38.4160' S	43° 53.5040' O	6,48 x 10 <sup>0</sup>
3	19° 38.4126' S	43° 53.6602' O	2,20 x 10 <sup>-1</sup>
4	19° 38.4118' S	43° 53.8162' O	8,29 x 10 <sup>-1</sup>
5	19° 38.4006' S	43° 53.9674' O	1,79 x 10 <sup>-1</sup>
<b>Transecto 8</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.4663' S	43° 54.0795' O	3,12 x 10 <sup>-1</sup>
2	19° 38.4785' S	43° 53.9961' O	1,64 x 10 <sup>-1</sup>
3	19° 38.4629' S	43° 53.8592' O	1,87 x 10 <sup>-1</sup>
4	19° 38.4592' S	43° 53.7216' O	7,69 x 10 <sup>-2</sup>

Continua

Continuação

<b>Transecto 8</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
5	19° 38.4570' S	43° 53.5863' O	1,12 x 10 <sup>-1</sup>
6	19° 38.4608' S	43° 53.4530' O	5,76 x 10 <sup>-1</sup>
<b>Transecto 9</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.5357' S	43° 53.2617' O	3,74 x 10 <sup>0</sup>
2	19° 38.5509' S	43° 53.3409' O	5,80 x 10 <sup>0</sup>
3	19° 38.5567' S	43° 53.4780' O	1,87 x 10 <sup>-1</sup>
4	19° 38.5461' S	43° 53.6110' O	3,82 x 10 <sup>-1</sup>
5	19° 38.5322' S	43° 53.7232' O	1,30 x 10 <sup>0</sup>
6	19° 38.5248' S	43° 53.8355' O	9,55 x 10 <sup>-1</sup>
7	19° 38.5167' S	43° 53.9364' O	2,23 x 10 <sup>0</sup>
8	19° 38.5332' S	43° 54.0369' O	1,97 x 10 <sup>0</sup>
9	19° 38.5309' S	43° 54.0822' O	8,99 x 10 <sup>-1</sup>
<b>Transecto 10</b>			
Seções	Latitude	Longitude	FPUA
1	19° 38.5644' S	43° 53.9490' O	5,74 x 10 <sup>-1</sup>
2	19° 38.5990' S	43° 53.8528' O	1,10 x 10 <sup>0</sup>
3	19° 38.6119' S	43° 53.7440' O	1,41 x 10 <sup>0</sup>
4	19° 38.6116' S	43° 53.6376' O	4,98 x 10 <sup>0</sup>
5	19° 38.6014' S	43° 53.4948' O	2,37 x 10 <sup>-1</sup>
6	19° 38.6161' S	43° 53.4486' O	6,89 x 10 <sup>-0</sup>

### Referência Bibliográfica

2020 VISUAL ANALYZER™ 4. 1994. *User Guide - Visual Analyzer™ 4*, BioSonics Inc.  
Nova Iorque: BioSonics Inc. 79 p.

2025

2030

2035

## ANEXO IV

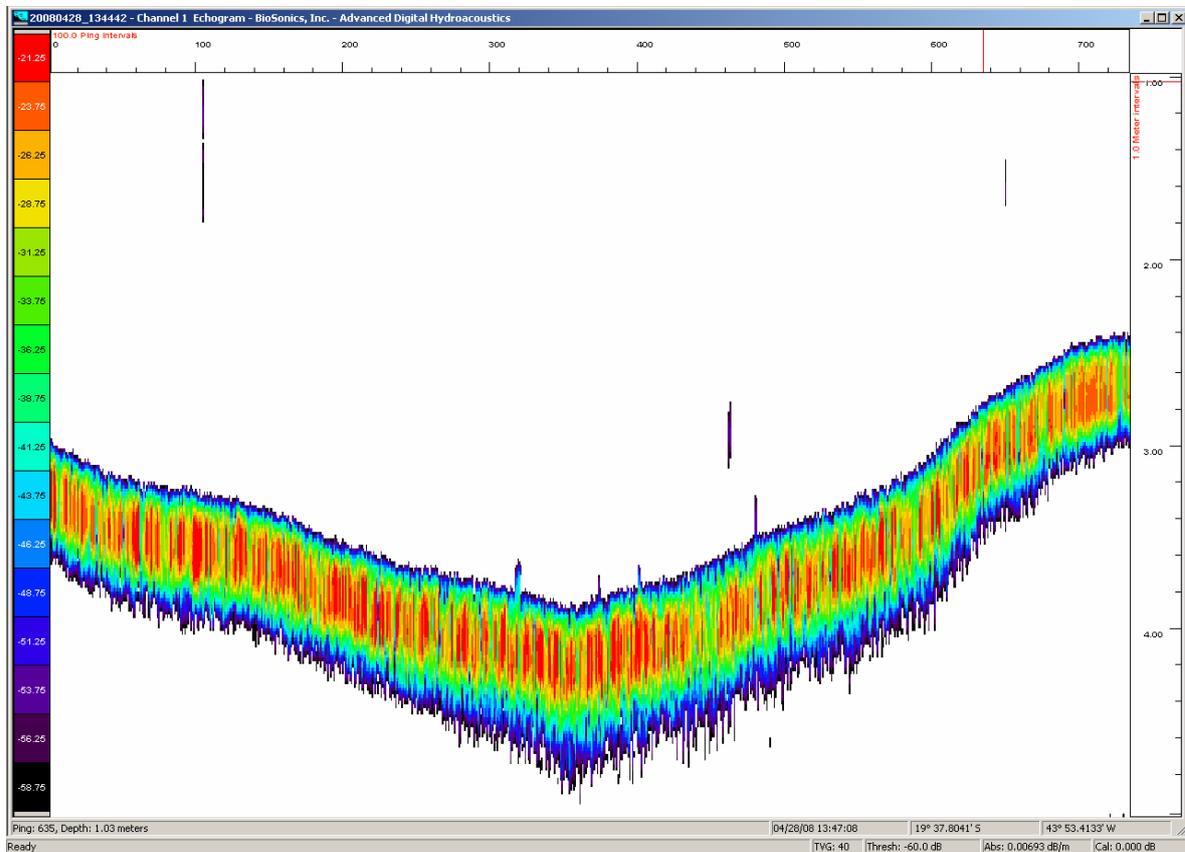
### Ecogramas

2040

Este anexo contém os ecogramas referentes a cada transecto percorrido durante a amostragem na Lagoa Central (Lagoa Santa, MG) no dia 28 de abril de 2008, período diurno.

2045

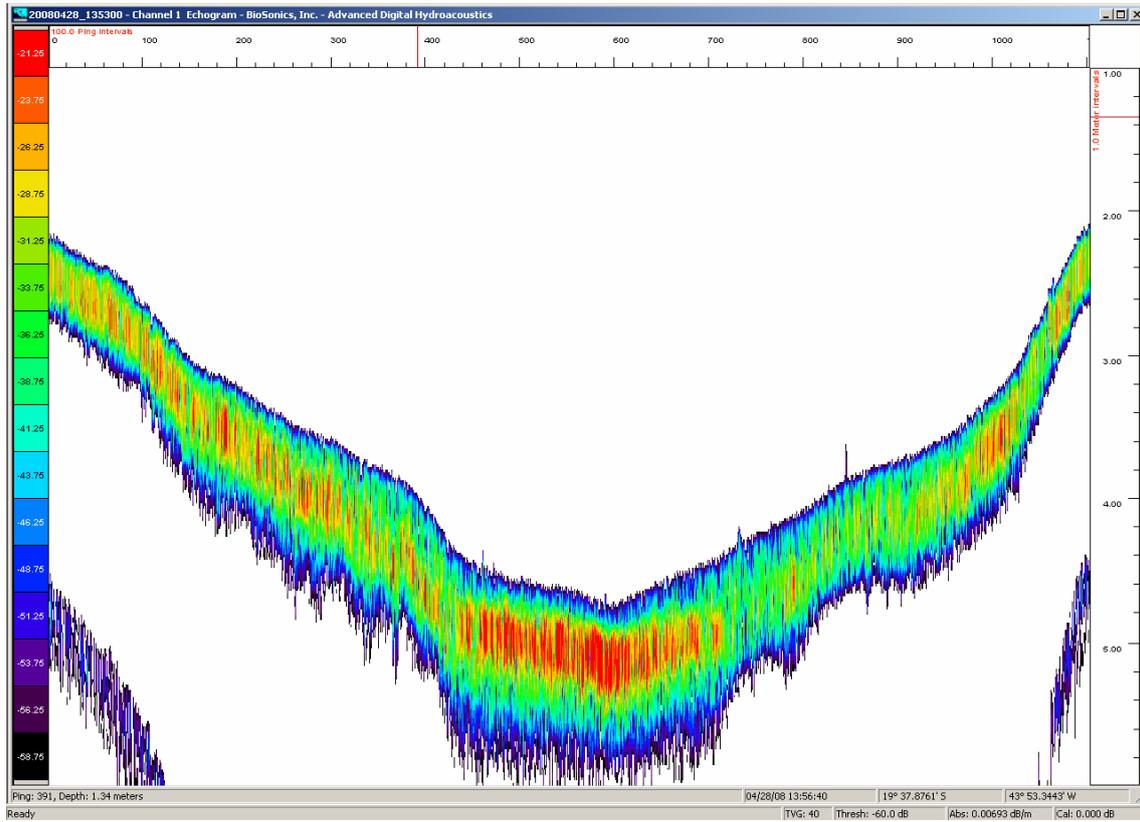
#### *Transecto 1*



2050

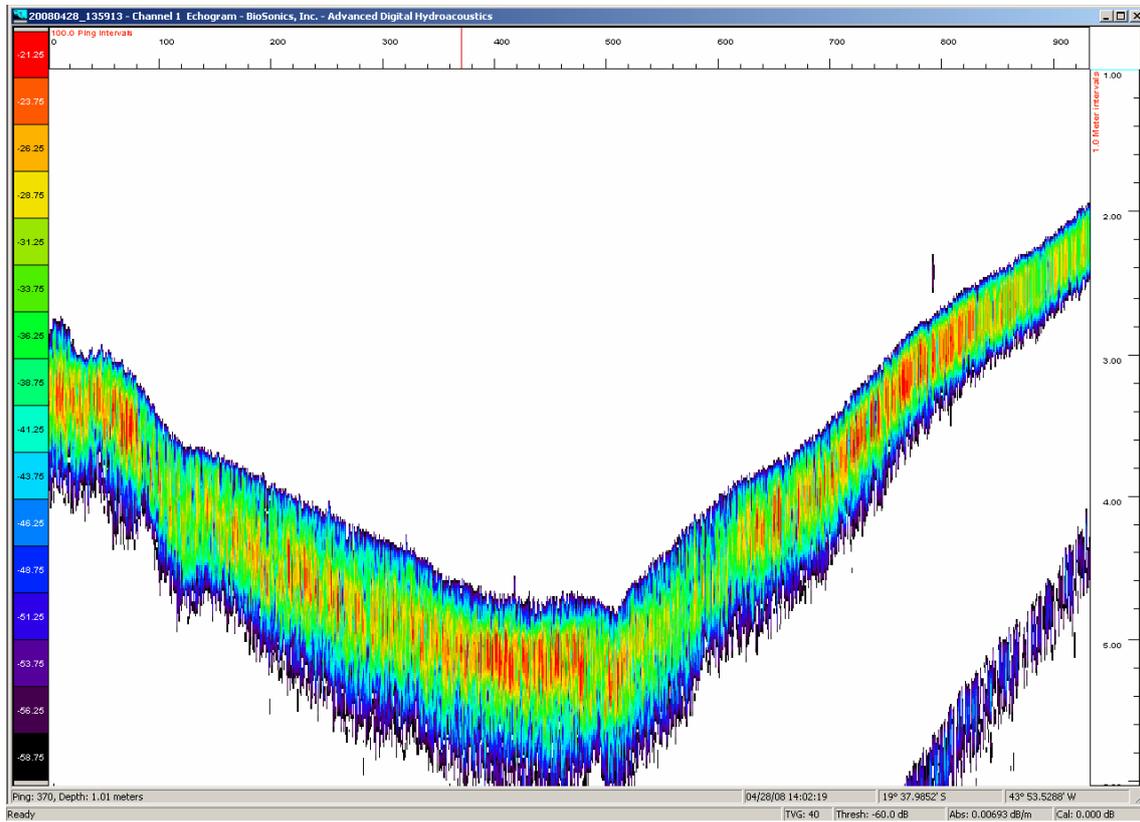
2055

Transecto 2

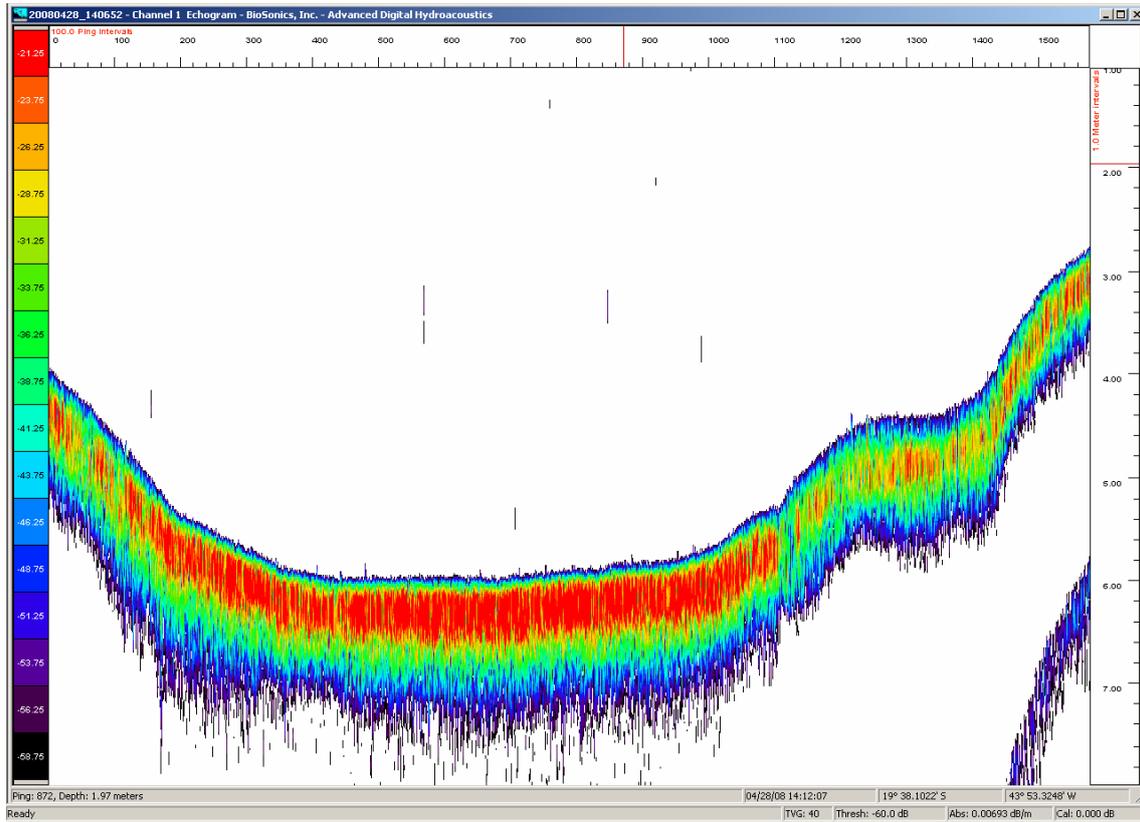


2060

Transecto 3

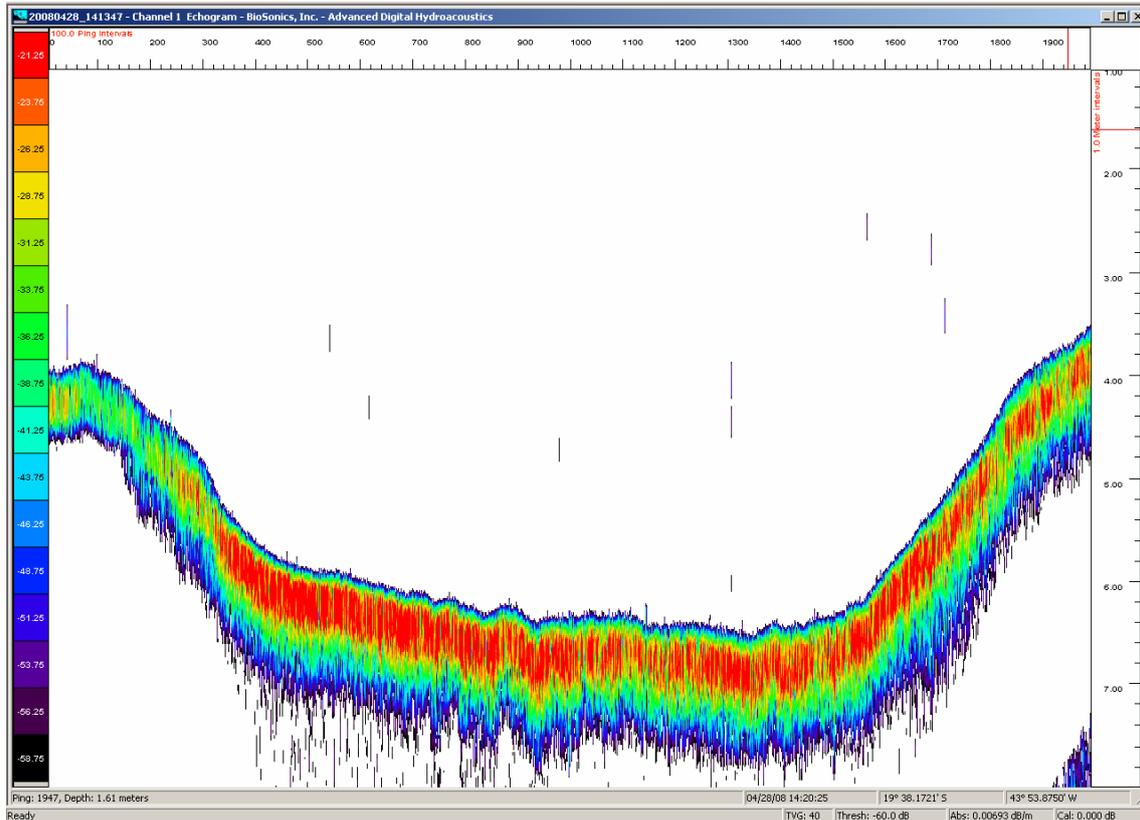


### Transecto 4

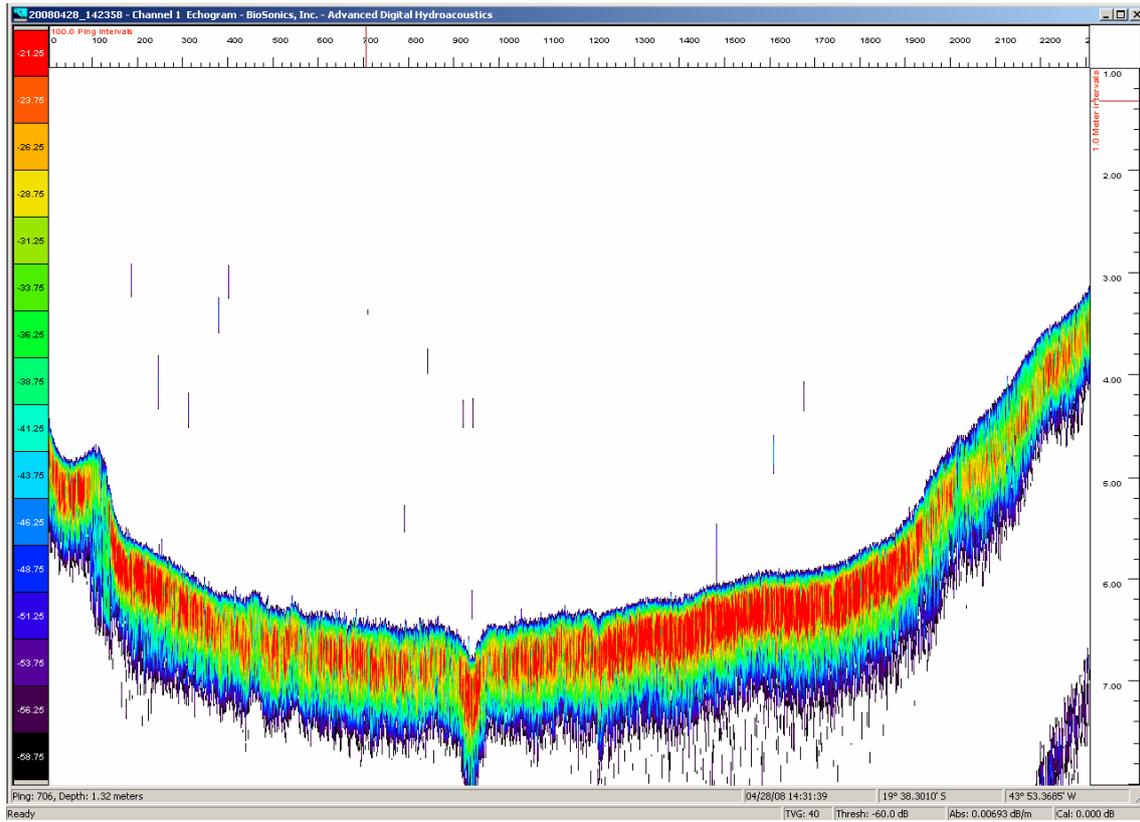


2065

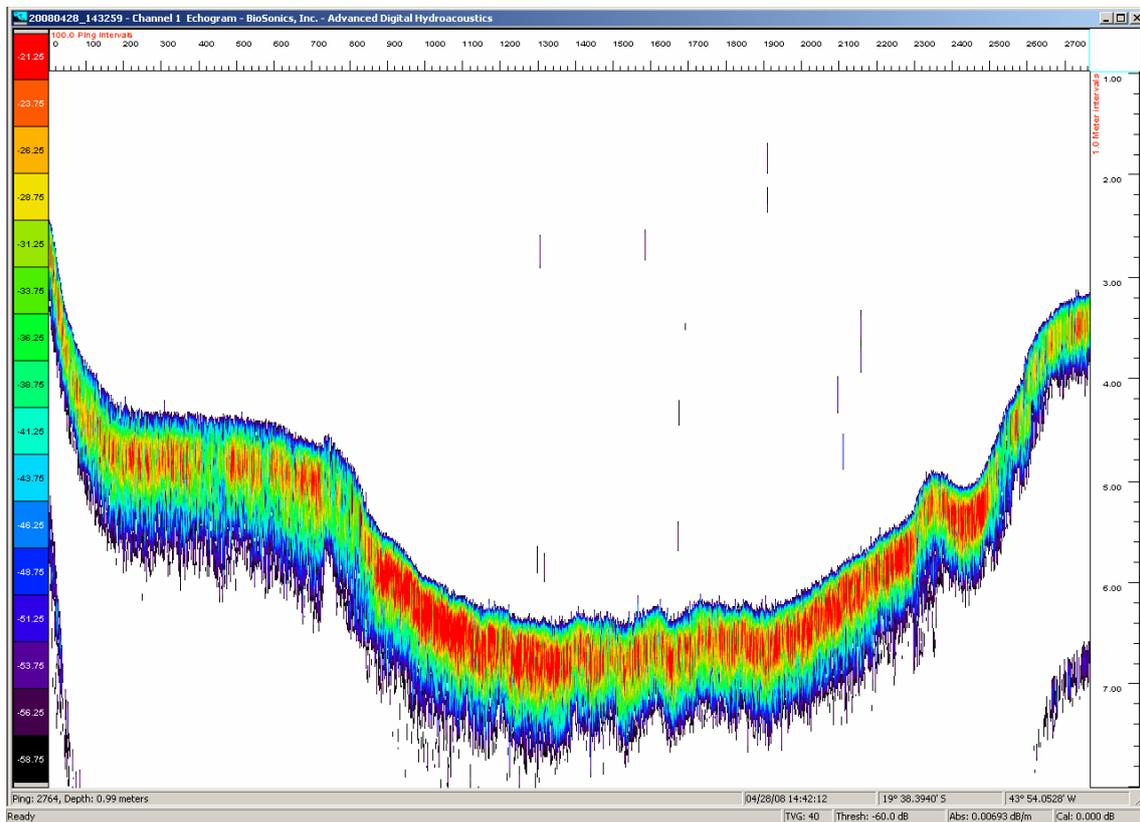
### Transecto 5



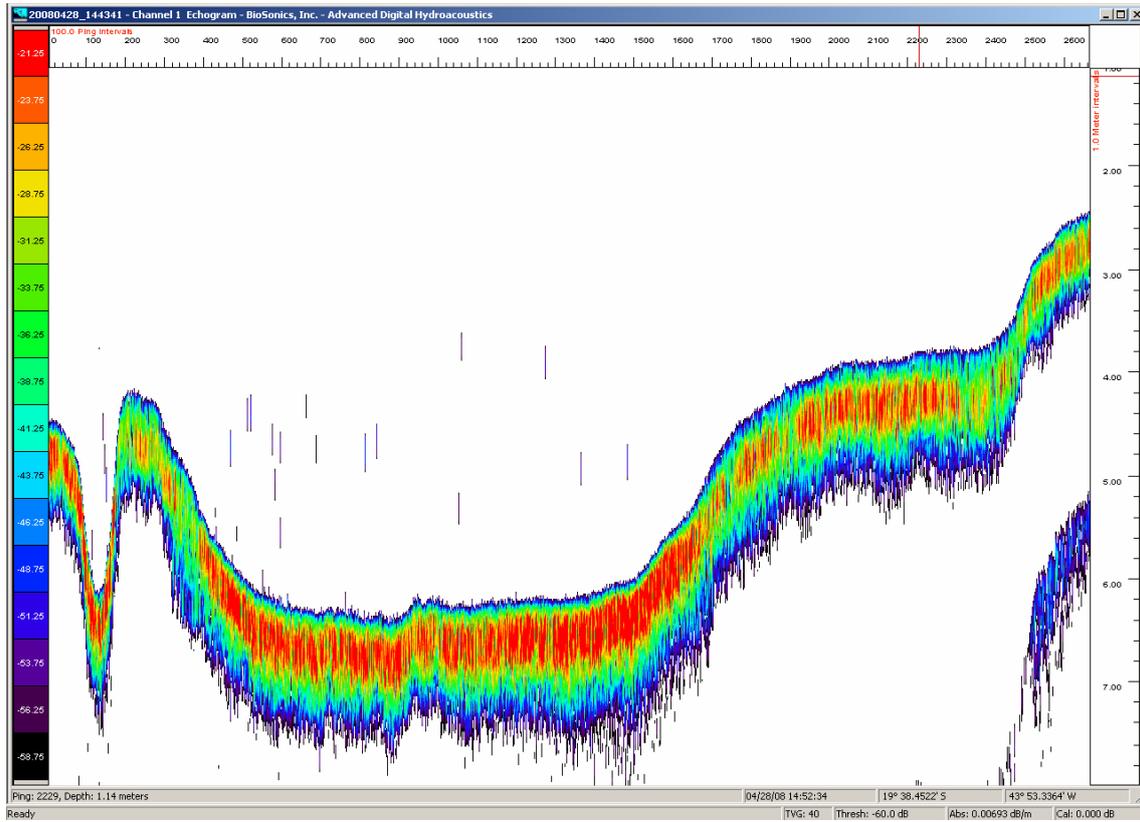
### Transecto 6



### 2070 Transecto 7

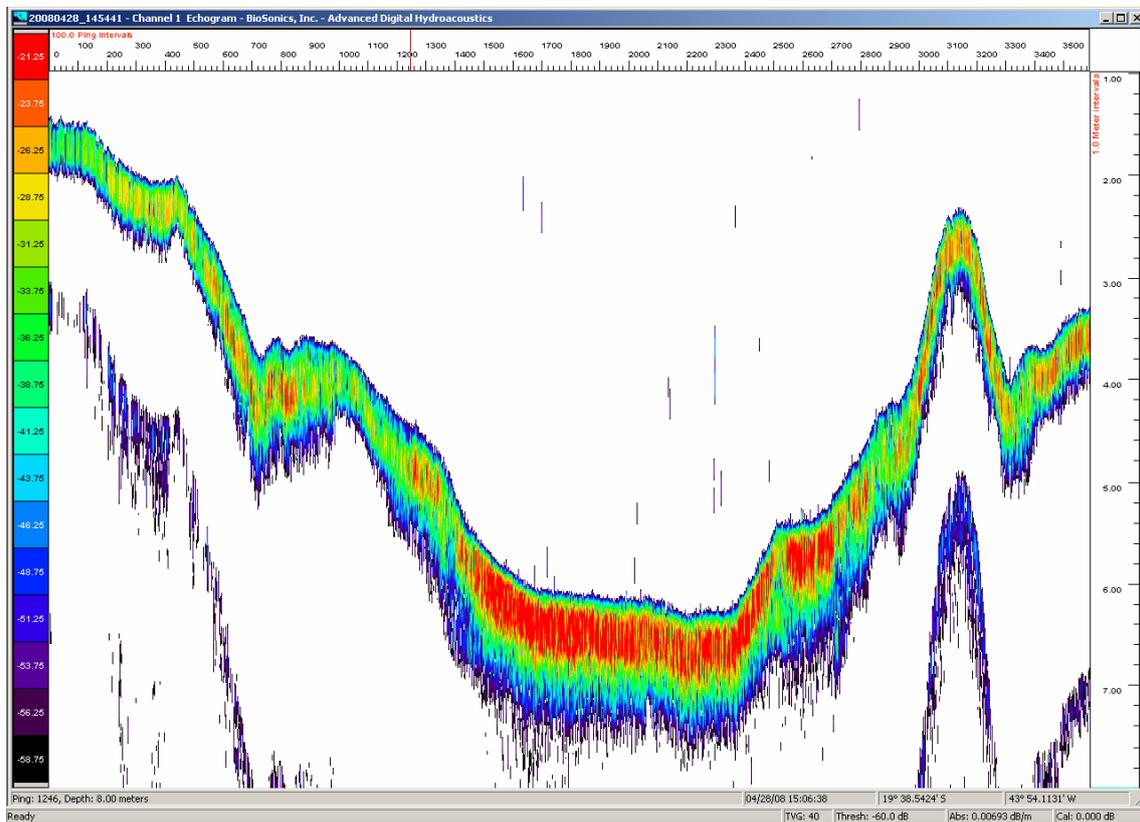


### Transecto 8

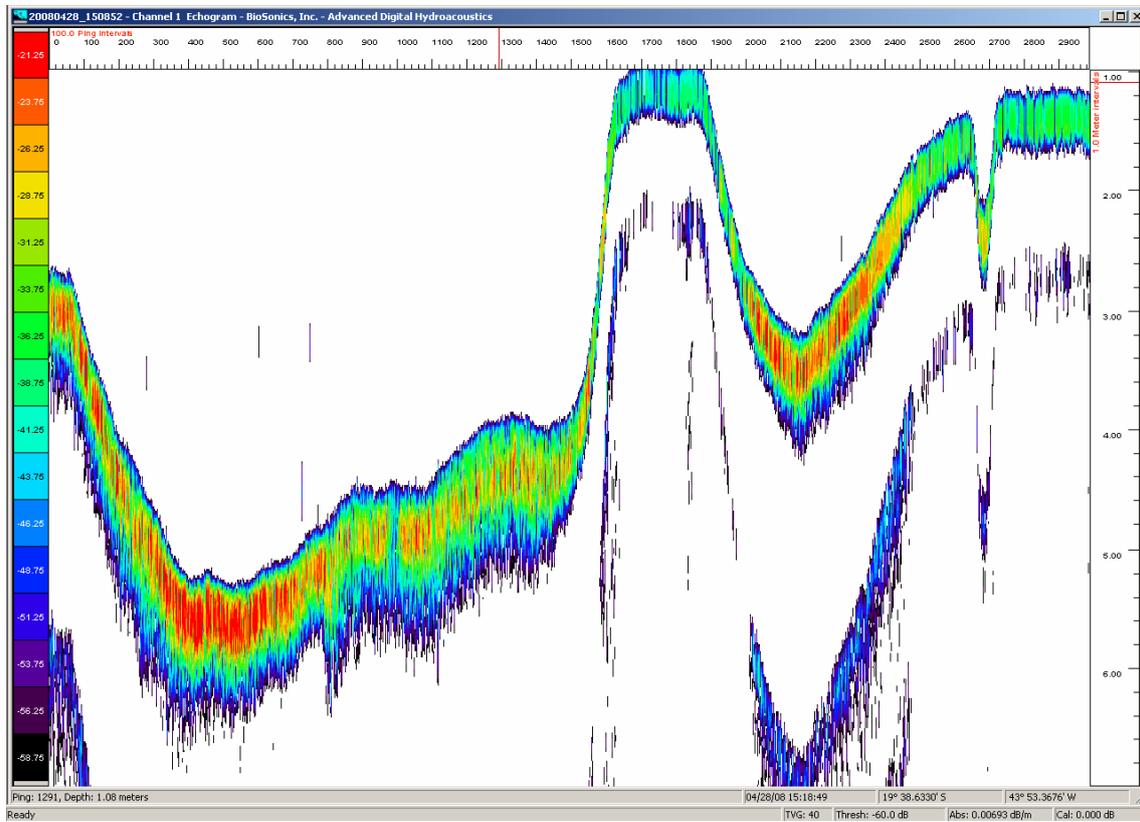


2075

### Transecto 9



Transecto 10



2080