



## **Ordenamento Sustentável da Atividade de Aquicultura no Reservatório de São Simão, Minas Gerais – Goiás.**

Número do processo: 561275/2010-6

Edital /Chamada: Edital MCT/CNPq/CT-Hidro/MPA nº 18/2010 – Ordenamento  
Sustentável da Aquicultura.

Relatório de Consultor

**Batimetria e Morfometria do Reservatório de São Simão.**

Autor: SIGA – Serviços Integrados em Gestão Ambiental

Novembro 2012



## **Ordenamento sustentável da atividade de aquicultura no reservatório de São Simão, Minas Gerais – Goiás.**

Número do processo: 561275/2010-6  
Edital /Chamada: Edital MCT/CNPq/CT-Hidro/MPA nº 18/2010 –  
Ordenamento Sustentável da Aquicultura.



**Relatório de Consultor  
Batimetria e Morfometria do Reservatório de São Simão.**

**Autor: SIGA – Serviços Integrados em Gestão Ambiental**

**Novembro 2012**

**Coordenador/Proponente:** Prof. Dr. Ricardo Motta Pinto-Coelho

Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios

Departamento de Biologia Geral

Instituto de Ciências Biológicas

E-mail: [rmpc@icb.ufmg.br](mailto:rmpc@icb.ufmg.br)

URL: <http://www.ecologia.icb.ufmg.br/lgar>

Universidade Federal de Minas Gerais –UFMG

Av. Antônio Carlos, 6627. Bairro Pampulha. CEP 31.270-901

Belo Horizonte – MG. TEL.: (31) 3409-2574

HTTP://[www.ufmg.br](http://www.ufmg.br)

**Financiador:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

CNPJ/ MF: 33.654.831/0001-36

Telefone: (31) 3409-2605

Fax: (31) 3409-2605

E-mail: [edital18-2010@cnpq.br](mailto:edital18-2010@cnpq.br)

**Executor/ Consultor:** SIGA – Serviços Integrados em Gestão Ambiental.

Endereço: Rua Teixeira de Freitas, 490/603. Bairro Santo Antônio

CEP:30.350-180 Belo Horizonte – MG.

CNPJ/MF:

e-mail:

### Ficha Bibliográfica

**Título da Obra:**

**Língua:** Portuguesa. Páginas

**Mês e ano de Publicação:** Novembro de 2012

**Local:** Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

**Autor:** SIGA – Serviços Integrados em Gestão Ambiental.

**Reserva de Direito:** Todas as figuras, tabelas, equações e quadros presentes nesse relatório são de autoria original ou então foram modificados com citação original. Todos os elementos gráficos dessa, bem como o seu texto somente poderão ser reproduzidos mediante autorização expressa do autor da obra. O seu uso em outras publicações está permitido desde que haja menção expressa da origem da ilustração bem como de quem as modificou.

## ÍNDICE

1	Introdução.....	1
2	Material e Métodos.....	2
2.1	Inventário Batimétrico.....	2
2.1.1	Fase de Preparação em laboratório.....	2
2.1.2	Fase de Coleta dos Pontos Batimétricos.....	3
2.1.3	Fase de Obtenção e Correção dos Resultados.....	5
2.2	Inferências.....	8
2.3	Elaboração da Carta Batimétrica.....	9
2.4	Cálculo dos Parâmetros Morfométricos Secundário.....	10
3	Resultados.....	11
4	Considerações Finais.....	15
5	Referências Bibliográficas.....	16
6	Anexos.....	17



## 1. Introdução

O estudo da morfologia dos corpos d'água é de fundamental importância para a compreensão do comportamento do ambiente aquático, uma vez que esta exerce uma marcante influência em todas as características limnológicas. Deste modo, a forma do lago ou represa condiciona fortemente a interação dos componentes físicos, químicos e biológicos do sistema (SPERLING, 1999).

Para o estudo da forma dos corpos d'água é de essencial importância a avaliação de todos os principais parâmetros morfométricos (WETZEL, 1983). Para tanto, faz-se necessária uma detalhada carta batimétrica, que é a determinação das medidas de profundidade dos ambientes límnicos, expressas cartograficamente em mapas batimétricos. Estes mapas constituem um importante subsídio para a realização de estudos sobre evolução de assoreamento, qualidade da água (RESCK, 2007), garantindo maior segurança sobre a gestão sustentável do corpo hídrico. Além do exposto, o conhecimento das profundidades dos ambiente límnicos é fundamental na determinação da capacidade suporte, a qual se estima a possibilidade da inserção de projetos aquícolas. A elaboração de estudos aquícolas permite avaliar o nível de impacto sobre um ecossistema. Desta forma, a disponibilidade de um inventário batimétrico é o “passo-chave” no estabelecimento de um plano de manejo sustentável para a maioria dos sistemas aquáticos (BEZERRA-NETO & PINTO-COELHO, 2008).

O presente relatório tem por objetivo descrever o trabalho de inventariamento de dados batimétricos no Reservatório de São Simão (MG/GO) realizado pela equipe e colaboradores do projeto de “Ordenamento Sustentável da Atividade de Aquicultura no Reservatório de São Simão – MG/GO”.

## **2. Material e Métodos**

A metodologia empregada no levantamento consistiu em um conjunto de procedimentos utilizando equipamentos integrados ao computador, de forma que a coleta de dados foi executada de maneira automatizada.

### **2.1. Inventário Batimétrico**

A coleta batimétrica foi executada por método automatizado, compreendendo três fases distintas:

- Preparação em laboratório,
- Coleta dos pontos batimétricos,
- Obtenção e correção dos resultados.

#### **2.1.1. Fase de Preparação em laboratório**

A partir dos arquivos de contorno de digitalização do reservatório de São Simão cedidos pelo Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios-LGAR, do relatório “Caracterização de matriz física do reservatório (georreferenciamento e geografia do uso do solo)”, definiu-se as áreas onde seria realizada uma coleta batimétrica mais detalhada, com transectos mais próximos entre si. Nas áreas de exclusão definidas pelo referido relatório, a varredura batimétrica constou de transectos mais esparsos. A decisão de se determinar áreas com maior e menor detalhamento foi tomada considerando o fato que existiam áreas de exclusão em que não haveria locação de tanques redes, seja em virtude do uso do solo ou por características do local, como a presença de paliteiros. Visto que campanhas batimétricas demandam muito tempo e recursos financeiros, optou-se por realizar a coleta nestes moldes visando um equilíbrio do custo-benefício. Desta forma, o esforço amostral foi maior nas áreas onde potencialmente poderiam vir a ter implantados tanques-rede para cultivo de peixes..

Com a definição das áreas, no *software* Hypack estes transectos foram determinados. Para cada área digitalizou-se as linhas. Estas serviram de base para o projeto dos transectos de levantamento batimétrico, objetivando uma varredura sistemática e homogênea da área (Figura 1).



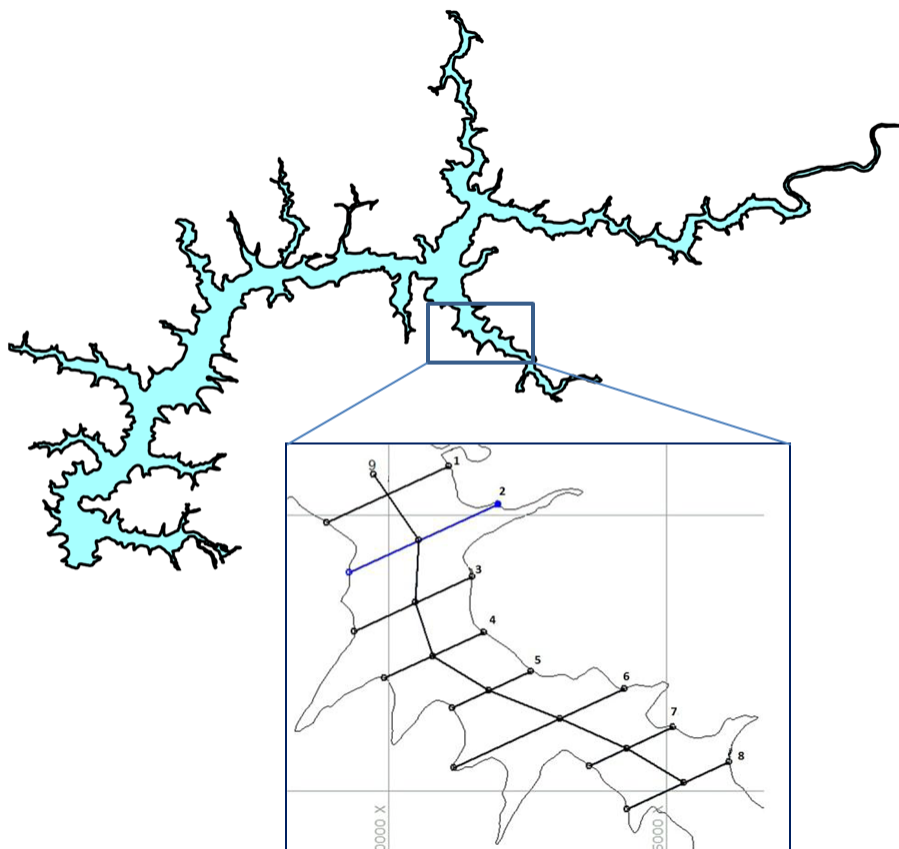


Figura 1. Projetos de linhas previamente definidas no *software* Hypack para coleta batimétrica. Exemplo no braço Tijuco.

### 2.1.2. Fase de Coleta dos Pontos Batimétricos

Para realização do inventário batimétrico, utilizou-se sistema computadorizado, para automação da coleta de dados e orientação visual da navegação sobre os transectos previamente programados no *software* Hypack. Este sistema constituiu-se de um microcomputador Intel Core i-5, interligado ao sistema de posicionamento, estabelecido por um GPS diferencial (DGPS) Trimble acoplado a um ecobatímetro, ECHOTRAC CV-100 - ODOM (single beam), através de interfaces com o *software* Hypack e o Odom eChart. O sistema de posicionamento, em tempo real, contou com uma precisão menor que 1m (precisão submétrica). O sinal diferencial utilizado foi fornecido por satélite geoestacionário do sistema Omnistar.

As coordenadas das posições sondadas foram determinadas no sistema UTM – Datum WGS84. Utilizando o *software* Odom EChart, a navegação para coleta batimétrica foi realizada com embarcação tipo voadeira, com 5 metros de comprimento, motor de 25HP, à velocidade aproximada de 5Km.h<sup>-1</sup>, na qual foram acoplados os equipamentos necessários ao levantamento (Figura 2).

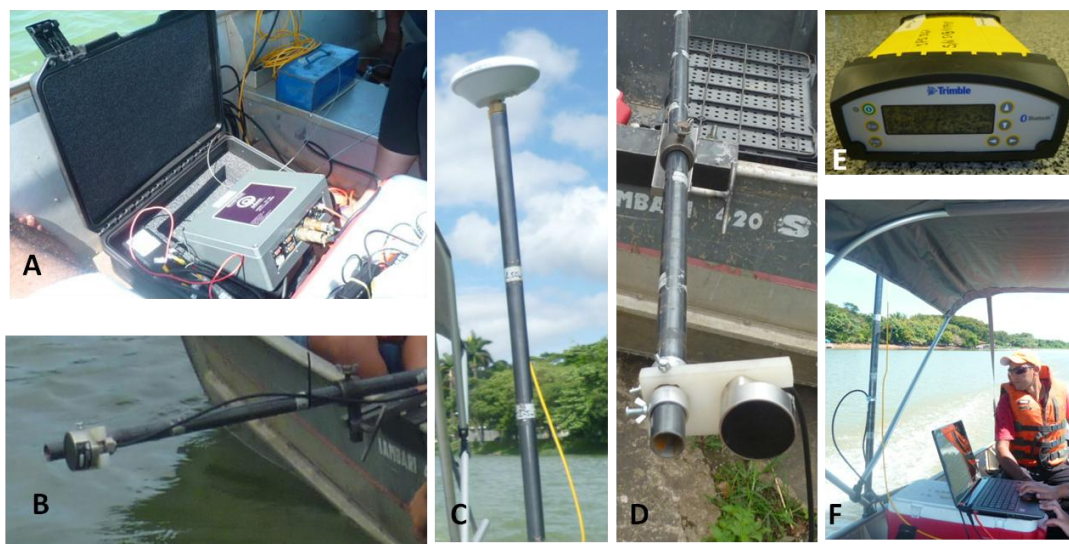


Figura 2. Equipamentos utilizados na sonagem batimétrica. A. ECHOTRAC CV-100 - ODOM (single beam). B. Sensor do Ecobatímetro. C. D-GPS. D. Sensor do ecobatímetro acoplado ao barco pelo suporte. E. Display do D-GPS. F. Utilização do notebook na embarcação para navegação

Antes do início de cada projeto, o ecobatímetro foi aferido, utilizando um disco de Secchi de 10 cm de raio, a profundidades superiores a pelo menos um terço da profundidade local, não sendo detectadas discrepâncias entre as aferições.

Foram realizados inúmeros transectos dentro dos projetos criados. Estes projetos estão dispostos no Tabela 1 onde estão também apresentados as datas de cada projeto realizado.

Tabela 1. Locais onde foram realizados os projetos para coleta dos dados batimétricos e suas respectivas datas.

Projetos	Data	Projetos	Data
Rio dos Bois	14 de abril	Eixo Central	02 de junho
Tijuco	15 de abril	Eixo Central	03 de junho
São Francisco	16 de abril	Barragem	03 de junho
Jacaré	17 de abril	Eixo Central	3 de julho
Polígono Eixo Central	17 de abril	Eixo Central	04 de julho
Braço 18	18 de abril	Eixo Central	05 de julho
Bruaca	18 de abril	Alegre	06 de julho
Rio Preto	18 de abril	Alegre	7 de julho
Polígono Eixo Central	19 de abril	Alegre	10 de julho
Barragem	31 de maio	Cachoeira Dourada	11 de julho
Paranaiguara	31 de maio	Cachoeira Dourada	12 de julho
Paranaiguara	02 de junho		

### 2.1.3. Fase de Obtenção e Correção dos Resultados

Nesta fase, foram obtidos os resultados dos transectos realizados registrados pelo ecobatímetro, que gerou arquivos (.RAW) para cada linha. Após o término de cada campanha batimétrica, os arquivos .RAW, que são os arquivos gerados para cada transecto realizado, contendo as posição geográfica e as profundidades foram, no próprio *software* Hypack, pós-processados. O pós-processamento é importante passo, pois permite identificar e apagar os possíveis erros que possam existir nos dados coletados. Na Figura 3 está demonstrado um exemplo de pós-correção de uma linha, onde é possível verificar o trajeto percorrido e a perfil de profundidade deste trajeto.

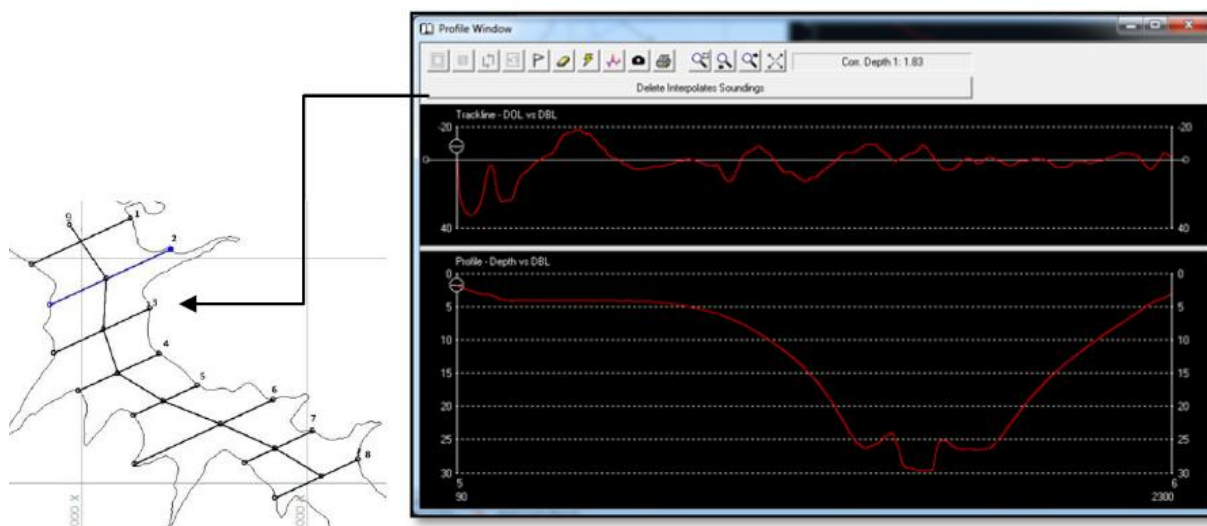


Figura 3: Exemplo de perfil vertical observado pelo processamento dos dados. Na figura, pode-se observar a calha do antigo rio em um pequeno trecho mais profundo, chegando próximo a 30m de profundidade.

Com todos os arquivos pós-processados e eliminados os erros das linhas, os dados foram compilados em um único arquivo Excel - XYZ (Posição/Cota: X-UTM, Y-UTM, Z-Cota). O arquivo XYZ é um arquivo base para a geração do modelo digital do terreno submerso para a área sondada, na qual se baseia a elaboração da carta batimétrica e demais estudos morfométricos. Na Figura 4 estão representados todos transectos batimétricos coletados nas diversas campanhas realizadas no reservatório de São Simão.

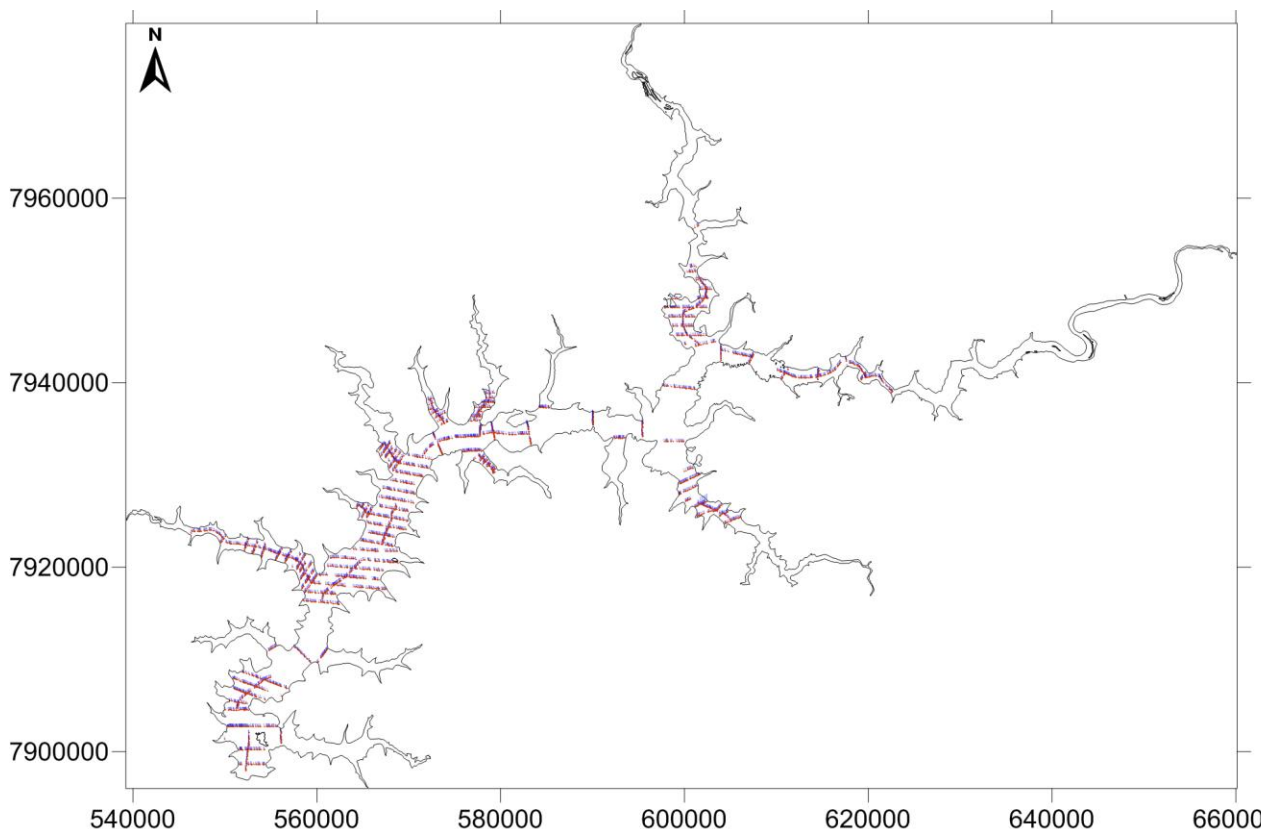


Figura 4. Transectos batimétricos realizados no reservatório de São Simão

Foram realizadas transectos para medição das correntes nos principais braços do reservatório de São Simão e em regiões que selecionadas como possíveis áreas para implantação de parques aquícolas. Nestas áreas, utilizando a ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) da SonTek® acoplado a um GPS RTK, foram obtidos os dados de vazão. Como cada transecto realizado gerava dados de profundidade em função de sua coordenada, utilizou-se estes dados, transformando-os para a cota 400,82m, para complementar os dados XYZ da batimetria coletada com o ecobatímetro, ECHOTRAC CV-100 - ODOM (single beam). Os transectos realizados com a ADCP foram utilizados para obtenção de dados de inferência. Estes estão expostos na Figura 5.

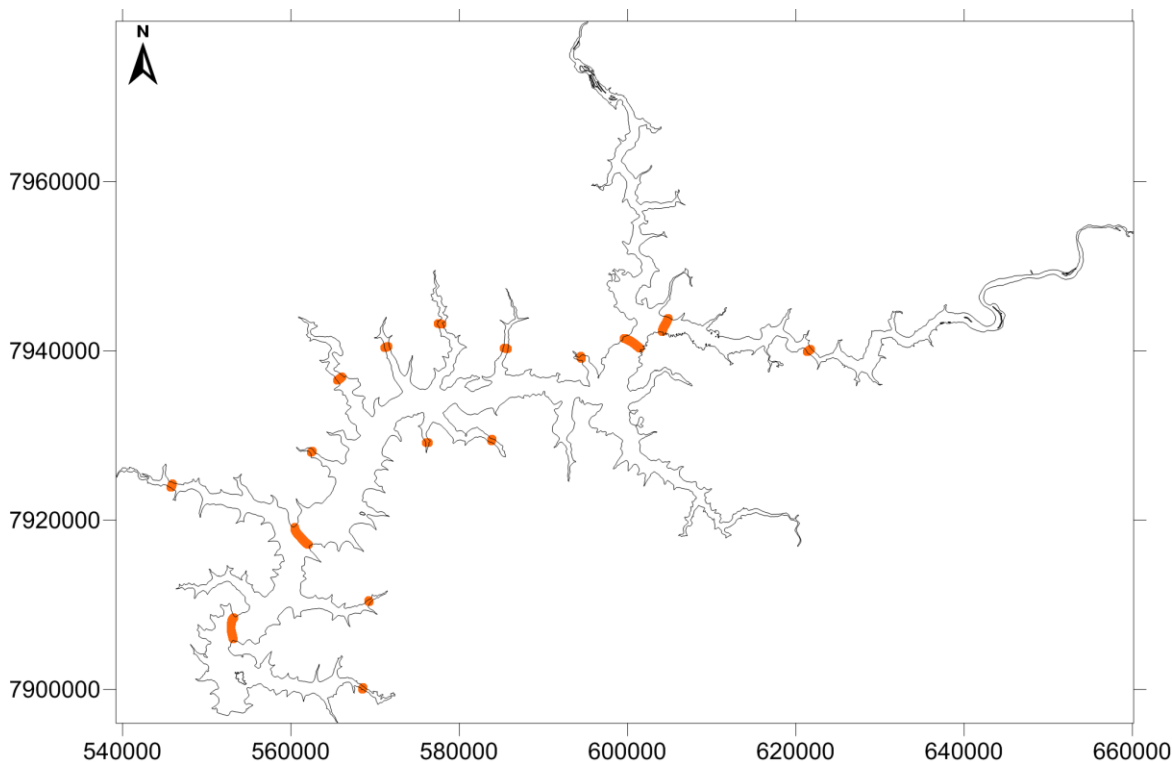


Figura 5. Transectos realizados na sondagem com ADCP.

## 2.2. Inferências

Inferências foram realizadas com o objetivo de cobrir todas as áreas do reservatório, nas quais não foram realizadas sondagem batimétrica. Este é um importante passo, pois a geração da carta batimétrica requer o uso de interpolação. Para torná-la confiável é necessário o preenchimento com medidas de profundidade em toda sua área, a fim de se evitar erros indesejáveis. Espaços em branco, sem dados, podem levar ao surgimento de resíduos na carta batimétrica, incompatível com a realidade do reservatório.

Para criação dos pontos de inferência, utilizou-se o mapa do reservatório de São Simão, onde foram postadas as linhas batimétricas (Figura 4). Neste, foram visualizadas as profundidades de cada linha. Entre dois transectos onde foram realizados a sondagem batimétrica, criou-se uma linha perpendicular com vários pontos, ligando estes dois transectos. Para tanto a linha perpendicular tangenciava



cada transecto na mesma profundidade, respeitando o contorno do reservatório. Este método foi repetido para todo o reservatório obtendo-se, desta forma, 57.320 pontos de inferência, distribuídos por todas as áreas do reservatório onde a sondagem batimétrica não foi realizada ou foi insuficiente (Figura 6).

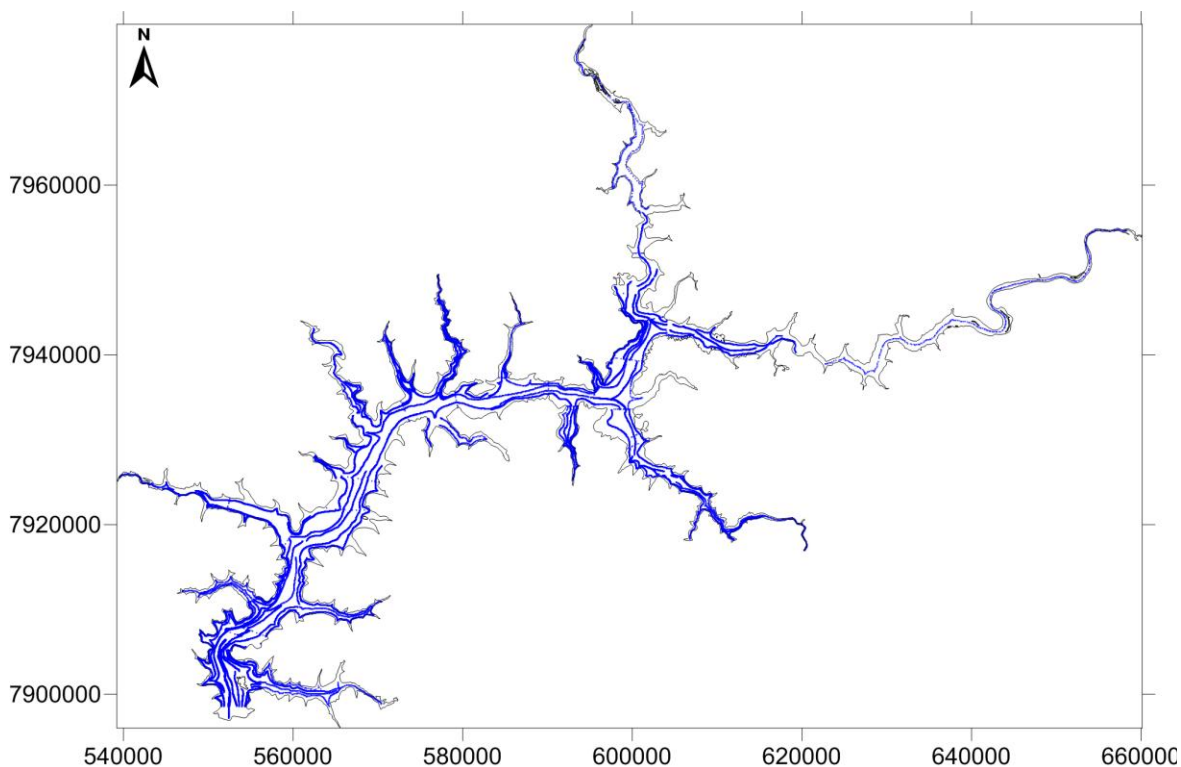


Figura 6. Inferências realizadas no reservatório de São Simão, totalizando 13.878 pontos.

### 2.3. Elaboração da Carta Batimétrica

A partir de um arquivo mapa, no formato (.BLN), do contorno do reservatório, os dados do inventário batimétrico, das inferências e das coordenadas de contorno do reservatório foram compiladas numa mesma planilha do Excel, formando um arquivo XYZ, sendo que às coordenadas de contorno do reservatório, foram atribuídos valores de zero de profundidade. Os valores de profundidade foram convertidos para uma mesma cota batimétrica (400,82 m). A cota foi definida de forma os dados de sondagem apresentarem a mesma cota da imagem utilizada na confecção do arquivo *shape* do reservatório, que é um arquivo digital de contorno. O arquivo XYZ foi interpolado no Surfer 10 utilizando o método da Krigagem. Este é um método de estimação de modelagem de superfícies que gera um arquivo *Grid*, importante para a

geração da carta batimétrica. Segundo Landim (2000), este método estabelece uma grade regular sobre a área estudada e calcula os valores nos nós da mesma, com base nos valores dos pontos já amostrados, sendo, portanto, um método de estimação indireto. Este método de interpolação foi utilizado por ter uma boa precisão geral e fidelidade aos dados originais quando comparado a outros métodos (LANDIM, 2000) e por ser bastante utilizado na área de recursos hídricos (SANTOS & LUCENA, 2005).

#### 2.4. Cálculo dos Parâmetros Morfométricos Secundário

Os parâmetros morfométricos secundários estimados, seguindo metodologia de Sperling (1999), foram: Profundidade média (m) ( $Z_{med}$ ) (Equação 1); Profundidade relativa (%) ( $Z_R$ ) (Equação 2), Índice de Desenvolvimento do Perímetro ( $D_P$ ) (Equação 3) e Índice de Desenvolvimento do volume ( $D_V$ ).

$$Z_{med} = \frac{V}{A} \quad \text{[Equação 1]}$$

$$Z_R = \frac{88,6 \times Z_{max}}{\sqrt{A}} \quad \text{[Equação 2]}$$

$$D_P = 0,28 \times \frac{\text{Perímetro}}{\sqrt{A}} \quad \text{[Equação 3]}$$

$$D_V = \frac{3 \times Z_{med}}{Z_{max}} \quad \text{[Equação 4]}$$



### 3. Resultados

A partir dos 368.995 pontos compilados na planilha XYZ gerou-se a carta batimétrica do reservatório de São Simão para a cota 400,82m (Figura 7). É possível observar que as maiores profundidades encontram-se próximas à barragem como era de se esperar, com profundidades superiores a 100m.

Os parâmetros morfométricos primários e secundários estimados estão apresentados na tabela Tabela 02. Conforme classificação de Straskraba (1999), o reservatório de São Simão se enquadra na categoria de grande porte, visto que apresenta área igual a  $7,11 \times 10^8 \text{ m}^2$  e volume estimado em  $11,48 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Tabela 2. Parâmetros morfométricos primários e secundários estimados para o reservatório de São Simão.

PRIMÁRIOS	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS		
			SECUNDÁRIOS
Área (m <sup>2</sup> ) (A)	711.992.581,53	Profundidade Média (m) (Z <sub>med</sub> )	16,12
Perímetro (m) (P)	1.220.335,40	Profundidade Relativa (%) (Z <sub>R</sub> )	0,42
Volume (m <sup>3</sup> ) (V)	11.480.032.186,58	Desenvolvimento do Perímetro (D <sub>P</sub> )	12,81
Profundidade Max. (m) (Z <sub>max</sub> )	126,45	Desenvolvimento do Volume (D <sub>V</sub> )	0,38

Segundo Sperling (1999), a profundidade média dos ambientes lênticos é um dos parâmetros morfométricos de maior relevância limnológica. Cole (1983) afirma que a produtividade biológica dos lagos está geralmente relacionada com a profundidade média. Em ambientes mais rasos, a radiação solar pode alcançar toda a coluna d'água e, desta forma, esses geralmente apresentam produtividade maior que ambientes mais profundos.

Quanto à profundidade relativa, a maioria dos lagos apresenta Z<sub>r</sub> menores que 2%, embora lagos profundos com pequena área de superfície frequentemente tenham Z<sub>r</sub> > 4% (WETZEL, 1983). As profundidades máxima (Z<sub>max</sub>), média (Z<sub>med</sub>) e relativa (Z<sub>R</sub>) do reservatório de São Simão foram, respectivamente, 126,45m, 16,12m e 0,42%. Desta forma o reservatório pode ser considerado profundo, por apresentar profundidades superiores a 20m (Wetzel, 1983). Esta característica, aliada a outras particularidades,

como maiores valores de vazão e menores tempos de retenção das águas, é um fator decisivo na determinação de áreas para delimitação de parques aquícolas.

O índice de desenvolvimento do perímetro ( $D_p$ ) é a medida do grau de irregularidade da margem, sendo que para um lago com o formato de um círculo perfeito, o valor de  $D_p$  é 1, enquanto que corpos d'água com valores mais altos que 3,5 são classificados como dendríticos (Sperling, 1994). Por um lado, alto  $D_p$  reflete o potencial do desenvolvimento de grandes comunidades litorâneas (Wetzel, 1983), que implica em uma maior capacidade assimiladora de poluentes; em contrapartida, as margens de conformação irregular favorecem o processo de eutrofização (Sperling, 1999). O reservatório de São Simão apresentou  $D_p$  de 12,81, caracterizando-o como detentor de um alto grau de exposição de suas margens e, portanto, é um reservatório particularmente sensível aos impactos humanos sediados em seu entorno.

Batimetria e Morfometria do Reservatório de São Simão- Minas Gerais/Goiás.

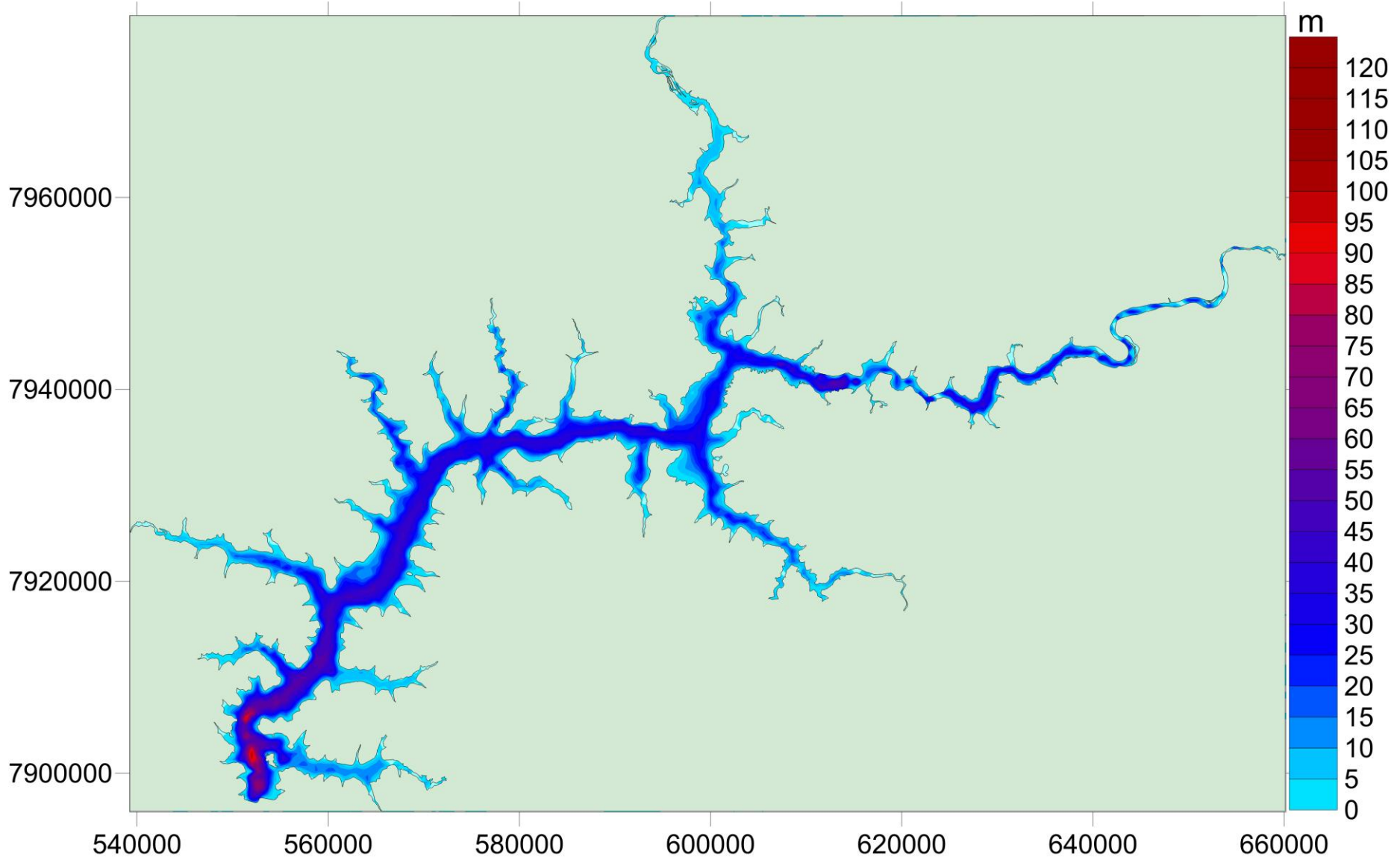


Figura 7. Carta batimétrica do reservatório de São Simão para a cota altimétrica de 400,82 m.

A forma da bacia de acumulação do reservatório pode ser demonstrada pelo índice de desenvolvimento de volume ( $D_v$ ) e pela interpretação das curvas hipsográficas (Figura 8). O  $D_v$  indica principalmente as características do formato vertical, sendo que lagos e represas em forma de “U” (a maioria) apresentam  $D_v > 1$ , enquanto Lagos com  $D_v = 1$  apresentam forma de um cone (SPERLING, 1999). O reservatório de São Simão apresentou  $D_v = 0,38$ , aproximando-se do formato de “V”, apresentando desta forma, formato convexo, onde as maiores áreas se encontram nos estratos mais superficiais. O volume cresce numa taxa maior nos estratos superficiais, como se pode observar pela inclinação da curva.

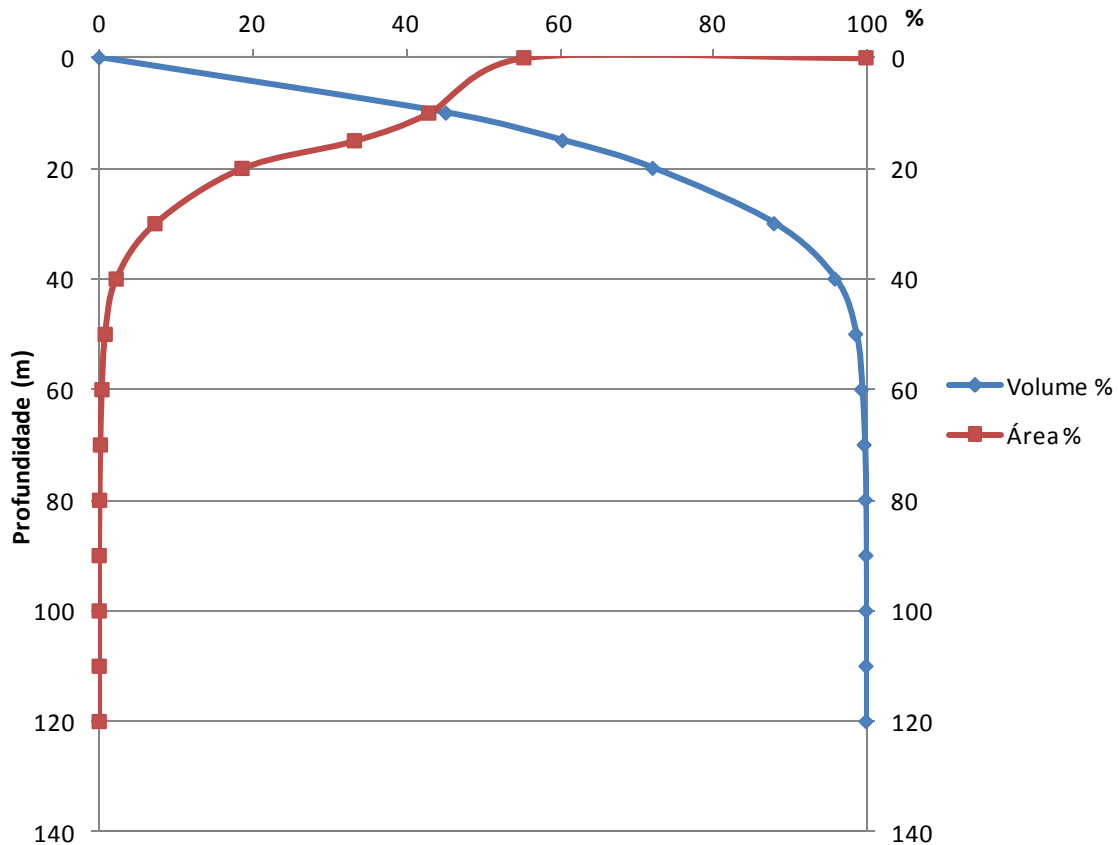


Figura 8. Curvas hipsográficas de área e volume do reservatório de São Simão.

#### 4. Considerações Finais

O reservatório de São Simão, apesar de apresentar um alto valor desenvolvimento de perímetro, que poderia implicar num favorecimento do processo de eutrofização, apresenta altos valores de profundidade máxima, relativa e média. A profundidade, segundo Sperling (1999), é o fator mais importante, uma vez que morfologia de lagos e represas tem uma influencia direta na qualidade de suas águas. Sendo assim, ecossistemas mais rasos são mais suscetíveis a sofrerem processos de eutrofização, enquanto aqueles profundos podem apresentar dificuldades para a circulação vertical da massa líquida.

Analisando a profundidade relativa de São Simão, observa-se que em comparação com outros reservatórios brasileiros, como Itaipu e Três Marias, que apresentaram  $Z_{med}$  respectivamente de 0,41% e 0,15% (Sperling, 1997), São Simão apresentou um valor alto, 0,42%, em relação aos reservatórios brasileiros, visto que a profundidade máxima de São Simão para a cota 400,82 m foi de 126,45m, enquanto que a profundidade máxima de Itaipu chega aos 170m.

As características morfométricas obtidas a partir do levantamento batimétrico do reservatório de São Simão, indicam que o reservatório apresenta áreas propícias para implementação da atividade de parques aquícolas, tomando como base as profundidades do reservatório. No entanto, estimativas de vazão associadas a estudos limnológicos devem ser realizados para determinação de quais áreas serão as mais propícias para tal empreendimento.

## 5. Referências Bibliográficas

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C. & LIMA, J.E.F.W. 2000. *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília: ANEEL. 140p.

LANDIM, P.M.B. 2000. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. IGCE, Rio Claro: UNESP. 20p.

SANTOS, S.P. 2012. *Morfometria, compartimentação e hidrodinâmica de um reservatório periurbano tropical: prognósticos sobre o tempo de vida útil do reservatório de Vargem das Flores, Minas Gerais –Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SPERLING, E.V. 1997. *Influência Do Parâmetro Profundidade Relativa Na Qualidade Da Água De Lagos E Represas*. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SPERLING, E.V. 1999. *Morfologia e lagos e represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 137p.

WETZEL, R.G. 1983. *Limnology*. Philadelphia: Sounders Company. 767p

## 6. Anexos