

# RECONSTITUIÇÃO DE BATIMETRIA DO RESERVATÓRIO DE CAPIVARÍ -PR

*Letícia Pavani Pozenato<sup>1</sup>; Éder David Borges da Silva<sup>2</sup>; Akemi Kan<sup>3</sup> & Rosana de F. C. Gibertoni<sup>4</sup>*

**RESUMO** --- Necessita-se frequentemente de dados observacionais para desenvolver projetos de pesquisa e engenharia. Muitas vezes é preciso reconstituir cenários do passado para caracterizar ou entender os fenômenos do presente ou impactos de uma antropização. Faz-se preciso a busca soluções inteligentes, viáveis e de qualidade para a reconstituição desses cenários. Observa-se que dados e informações são esquecidos ou arquivados deixando de ser aproveitados. Este trabalho apresenta a reconstituição da conformação batimétrica inicial do reservatório da usina hidrelétrica de Capivari-Cachoeira, em formato digital, usando cartas topográficas de levantamento anterior ao enchimento do reservatório, criando um mapa batimétrico unificado como também um modelo tridimensional do leito do reservatório com auxílio de um software de SIG.

**ABSTRACT** --- As often is needed observational data to develop research and engineering projects. It is necessary reconstructing past scenarios to define or understand the some actual phenomena or anthropic effects. These scenarios need to be reconstituted intelligently, viable and quality to be used. It is observed that data and information is forgotten or archived without being properly used. This paper presents the reconstruction of the initial reservoir bathymetry of the hydroelectric plant Capivari-Cachoeira in digital format, using topographic survey before to the filling of the reservoir and creating a bathymetric map as well as a three-dimensional model of the bed of the reservoir with GIS software.

**Palavras-chave:** Sistema Informação Geográfica , batimetria, reservatório de Capivari.

---

<sup>1</sup>Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental da UFPR /Estagiária em Engenharia Ambiental do LACTEC, Centro Politécnico. Caixa Postal 19067 – Jardim das Américas – Curitiba – PR. [leticia.pozenato@lactec.org.br](mailto:leticia.pozenato@lactec.org.br)

<sup>2</sup> Pesquisador LACTEC. Centro Politécnico. Caixa Postal 19067 – Jardim das Américas – Curitiba – PR. [ederdbs@gmail.com](mailto:ederdbs@gmail.com)

<sup>3</sup> Pesquisadora LACTEC. Centro Politécnico. Caixa Postal 19067 – Jardim das Américas – Curitiba – PR. [akemi.kan@lactec.org.br](mailto:akemi.kan@lactec.org.br)

<sup>4</sup> Pesquisadora LACTEC. Centro Politécnico. Caixa Postal 19067 – Jardim das Américas – Curitiba – PR. [rosana@lactec.org.br](mailto:rosana@lactec.org.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A Topografia em sua concepção clássica ocupa-se da representação local de uma parcela da superfície terrestre, sobre a qual o efeito da curvatura terrestre é considerado desprezível (Antunes 1995). Os métodos e técnicas topográficos têm a função de levantar dados que permitam a determinação das coordenadas geográficas de um conjunto de pontos com o intuito de descrever geometricamente parte da superfície terrestre. Os métodos de aquisição de dados topográficos evoluíram muito através dos tempos e o que começou com instrumentos rudimentares de medição, como círculos e semicírculos graduados, auxiliados por conceitos simples de geometria hoje evoluiu para aparelhos a laser que sozinhos podem fazer uma varredura tridimensional de um terreno.

Uma das maneiras de obter dados topográficos é com um teodolito. O teodolito é um aparelho antigo, havendo referências a ele em textos que datam do século XVI. É essencialmente um telescópio e consiste em um simples conjunto de lentes e circunferências graduadas apoiado num tripé. Com ele é possível medir ângulos e com auxílio de fitas métricas medem-se as distâncias entre o aparelho e o referencial para medição e a altura do aparelho. A interpretação dos dados é puramente trigonométrica. Teodolitos mais modernos fazem as medições de distância através de sensores ópticos, geralmente no infravermelho, e registram as medições nos três eixos de coordenadas.

Os teodolitos são indicados para obter dados em escala menor que 1:1.000, região onde têm uma precisão muito boa e boa relação de custos. Estas escalas são usadas mais comumente no planejamento urbano e na construção civil. Acima destas escalas o sensoriamento remoto passa a oferecer melhor custo-benefício (Antunes 1995).

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite a aquisição de dados sem que haja a necessidade de contato físico com o meio, utilizando-se de energia eletromagnética (Novo 1992). Estas técnicas começaram a ser usadas na construção de cartas no início do século passado, porém seu uso se tornou mais comum na segunda metade do século seguindo-se ao desenvolvimento de tecnologias cada vez melhores e à diminuição dos custos com aparelhos e operações.

Nos últimos dez anos levantamentos muito precisos são feitos por meio de um voo com varredura a laser do terreno. O laser (*Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation*) é uma tecnologia desenvolvida no século passado que tem por princípio a estimulação de elétrons a certo nível de energia, o que produz um feixe de luz coerente de mesmo comprimento de onda. Os scanners de varredura a laser funcionam disparando pulsos de laser controlados que são refletidos pela superfície e retornam ao receptor no aparelho. Os pulsos emitidos pelo laser viajam na

velocidade da luz, logo o tempo que os raios demoram a voltar somados às correções para o movimento do avião é utilizado para o cálculo plani-altimétrico (Heritage & Large 2009). A varredura por laser possui uma resolução planimétrica de 50 cm e altimétrica de 10 a 15 cm (Centeno, Mitishita 2007). Após os dados coletados as cartas são geradas com auxílios de softwares de construção de mapas.

Para desenvolver certos estudos, como de sedimentação e hidrodinâmica, assim como o projeto de emissão de gases de efeito estufa é necessário que se tenha conhecimento da configuração do terreno no fundo do reservatório anterior à formação do reservatório. Estes dados não são de fácil aquisição devido à idade do reservatório e às tecnologias da época. As melhores cartas plani-altimétricas disponíveis anterior ao enchimento do reservatório foram obtidas através de medições em campo com o auxílio de teodolitos obtendo pontos em uma poligonal de levantamento. Após a obtenção dos pontos em campo, os topógrafos e desenhistas produziram as cartas planialtimétricas simples da região em papel vegetal e a nanquim. Estas cartas, em escala 1:5.000, foram disponibilizadas pela Copel e para o desenvolvimento do projeto acima mencionado surgiu a necessidade de digitalizar estas poucas informações existentes sobre o terreno.

A Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza se localiza no município de Antonina e foi inaugurada em 1976. O rio Capivarí foi represado com uma barragem de terra com núcleo de argila de 58 m de altura e 370 m de comprimento que interrompeu o fluxo desse rio desviando-o para o rio Cachoeira através dos 15,4 quilômetros de túneis da usina que possui central subterrânea na serra do mar com um desnível de 740 metros.

Com o objetivo de realizar ensaios hidrodinâmicos no reservatório do Capivarí foi feita a carta batimétrica digital do reservatório com o auxílio de um software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e então um modelo tridimensional do leito do reservatório foi gerado.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Sistemas de Informações Geográficas ou SIG é um conjunto de software e hardware computacionais que integra dados, pessoas e instituições de maneira a facilitar a aquisição e manipulação de dados georreferenciados visando facilitar o monitoramento, planejamento e tomada de decisões relativa à atividade humana no espaço geográfico. SIGs são muito utilizados, por abrangerem desde a coleta de dados até o seu processamento e permitirem a associação de dados não espaciais à cartas geográficas, agregando poder de análise. Há muitos softwares de processamento de dados neste sistema, para este projeto foi utilizada a plataforma ArcGis<sup>®</sup>, desenvolvida no final dos anos 90 pela empresa norte-americana Esri<sup>®</sup>.

As cartas planialtimétricas utilizadas foram fornecidas pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e estão datadas de 1975, sendo confeccionadas para embasar o plano de desapropriação da área para a formação do reservatório e construção da barragem . O conjunto de cartas é composto por vinte e uma cartas que juntas representam toda a área do reservatório da Usina Capivari. A Figura 1 mostra um exemplo de uma carta com a área de desapropriação. Cada carta representa uma porção do terreno e é delimitada pela poligonal externa de levantamento. Possuem uma legenda inferior com diversas informações. O canto esquerdo contém informações da empresa licitada para realizar o projeto, com os dados dos responsáveis por cada carta, escala e dados técnicos. Em seguida a legenda de articulação das folhas, contendo o posicionamento de cada carta em relação às outras, logo ao lado a localização do Norte, as convenções adotadas e por fim, no canto direito, a legenda de aprovação da carta pela COPEL.

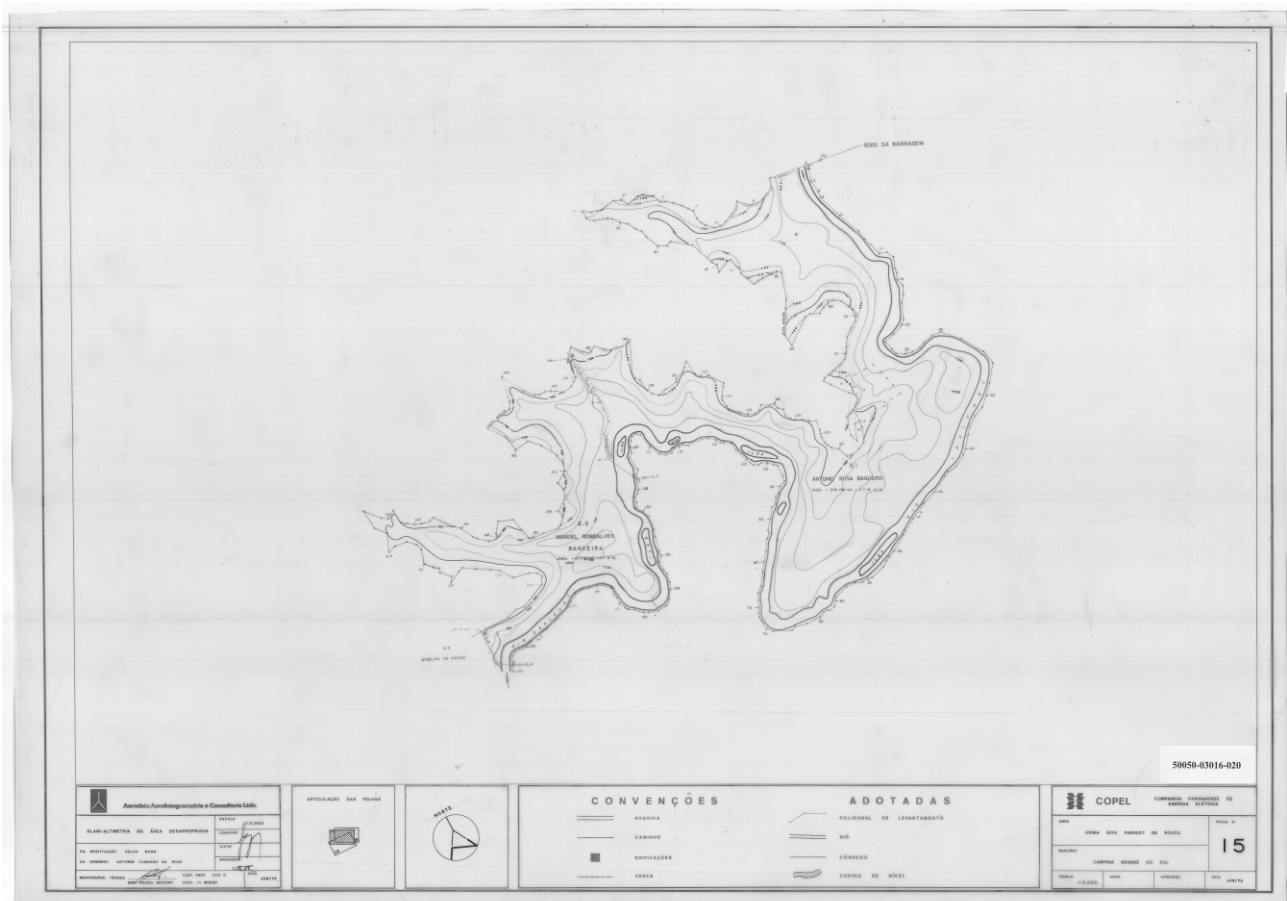


Figura 1 – Planialtimetria da área desapropriada.

As cartas foram digitalizadas, com o auxílio de um scanner de mesa e inseridas em formato de imagem TIFF no ArcMap. Cada carta possui uma legenda: “Articulação das Cartas”, mostrando a posição dela em relação às cartas vizinhas e foi utilizando-se desta legenda que as cartas digitalizadas foram dispostas no programa com auxílio das ferramentas de georreferenciamento, desta forma foi possível montar um mosaico das cartas, possibilitando cobrir toda a área do

reservatório. Para o ajuste das cartas foram utilizados com pontos de controle pontos conhecidos da poligonal do levantamento. Para georreferenciar as cartas foi sobreposta esta a carta do exército SG.22.X.D.II-1 (BRASIL, 1971), que é oriundo do levantamento disponibilizado pelo Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, em escala 1:50000, via interpretação foi condicionado pontos de controle coincidentes o que permitiu o georeferenciamento.

Uma vez que a disposição das cartas estava correta, Figura 2, deu-se início a digitalização das curvas de nível presentes nas cartas. Isto foi feito criando-se um shape para as curvas e utilizando-se das ferramentas de edição para a criação de novas linhas. A ferramenta sketch foi a mais utilizada neste processo e as curvas traçadas obtendo as curvas de nível. Ao final da edição de cada curva atribuiu-se sua cota como atributo correspondente.



Figura 2 – Cartas do Rio Capivarí fornecidas pela Copel.

Nas bordas da representação do reservatório, onde há a poligonal de levantamento externa, muitas vezes há a interrupção de uma curva de nível com o seu recomeço na mesma planta há alguma distância. Sem material apropriado de comparação foi necessário interpolar os pedaços faltantes das curvas com base nas demais curvas e nos pontos da poligonal de levantamento.

Ao final deste processo foi gerado, utilizando as ferramentas de análise 3D, a primeira interpolação tridimensional representativa do relevo, o TIN (Triangular Irregular Network) via algoritmo hardline. Este primeiro TIN apresentava diversas áreas planas demonstrando uma falta de

informações, como por exemplo, quando a interpolação era feita unindo-se dois segmentos de uma mesma curva quando esta desenvolvia uma curva em forma de “U” sem ter qualquer outra curva dentro deste “U”. Para corrigir estas áreas planas os riachos e as áreas de drenagem de água também foram adicionados ao shape das curvas de nível atribuindo a eles uma cota oriunda da interpolação entre as duas curvas o qual o mesmo estava compreendido.

Diversos TINs e correções foram feitos para se chegar à representação final do terreno. O reservatório do Capivarí tem suas margens na cota 750 m e a partir desta informação foi criado um polígono selecionando no shape de curvas todas as linhas que fossem menores que 760 m, deixando 10 m na vertical de margem. Com auxílio deste polígono foi extraído do TIN apenas a parte correspondente ao leito do reservatório, utilizando a ferramenta “*Extract by Mask*”.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O resultado final da digitalização foi uma carta de curvas de nível e uma representação tridimensional do reservatório com resolução de cinco metros. Após mexer com a posição das cartas fazendo uso das ferramentas de georeferenciamento pôde-se notar que as cartas se sobrepunham evidenciando a veracidade das plantas geradas com a carta do exército (Figura 3).

A Figura 4 mostra o modelo tridimensional de batimetria do reservatório de Capivari com boa resolução espacial. É certo que o leito do reservatório não continua o mesmo da época do alagamento. O rio possivelmente carregou sedimentos gerados na bacia à montante para dentro do reservatório, depositando-se no fundo assoreando não só o leito original do rio, bem como o próprio reservatório. Porém estas mudanças apenas adicionam um pequeno grau de incerteza se pensar no modelo como um todo.

### **4. CONCLUSÃO**

O trabalho mostra a importância de resgatar dados e informações históricas para criar cenários do passado e simular os fenômenos ambientais, possibilitando verificar a evolução, neste caso, do assoreamento ou da qualidade de água do reservatório através de modelagem matemática. Os modelos computacionais permitem a obtenção de uma grande gama de resultados físico, químicos e biológicos, mas para isso é necessário inserir as condições iniciais e de contorno. Muitos dos problemas ambientais atuais estão relacionados com a antropização realizada ao longo dos últimos anos. Para tanto é necessário a obtenção dos registros históricos. Problemas relacionados à falta de topografia, por exemplo, não é grave em empreendimentos atuais visto que os levantamentos com radar, aerofotogrametria e perfilhador a laser são utilizados na maioria dos estudos ambientais.



Neste estudo, a confecção do modelo tridimensional da batimetria do reservatório da Usina Capivari-Cachoeira, tornou possível a realização de estudos hidrodinâmicos e sedimentológicos, e verificar a evolução desse reservatório ao longo tempo. Pode-se também através desta reconstituição elaborar estudos referentes às emissões de gases de efeito estufa.

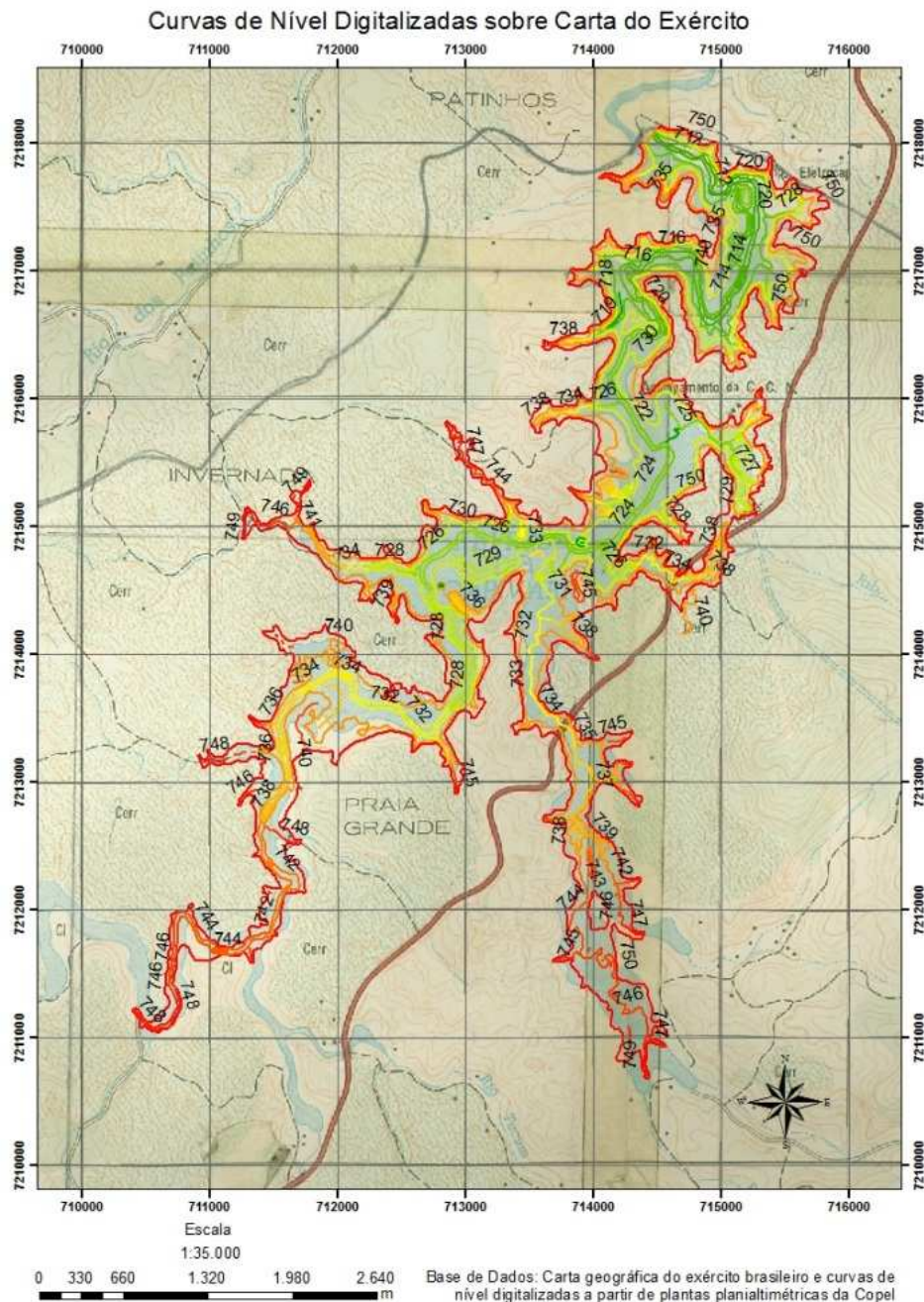


Figura 3 – Curvas de nível digitalizadas

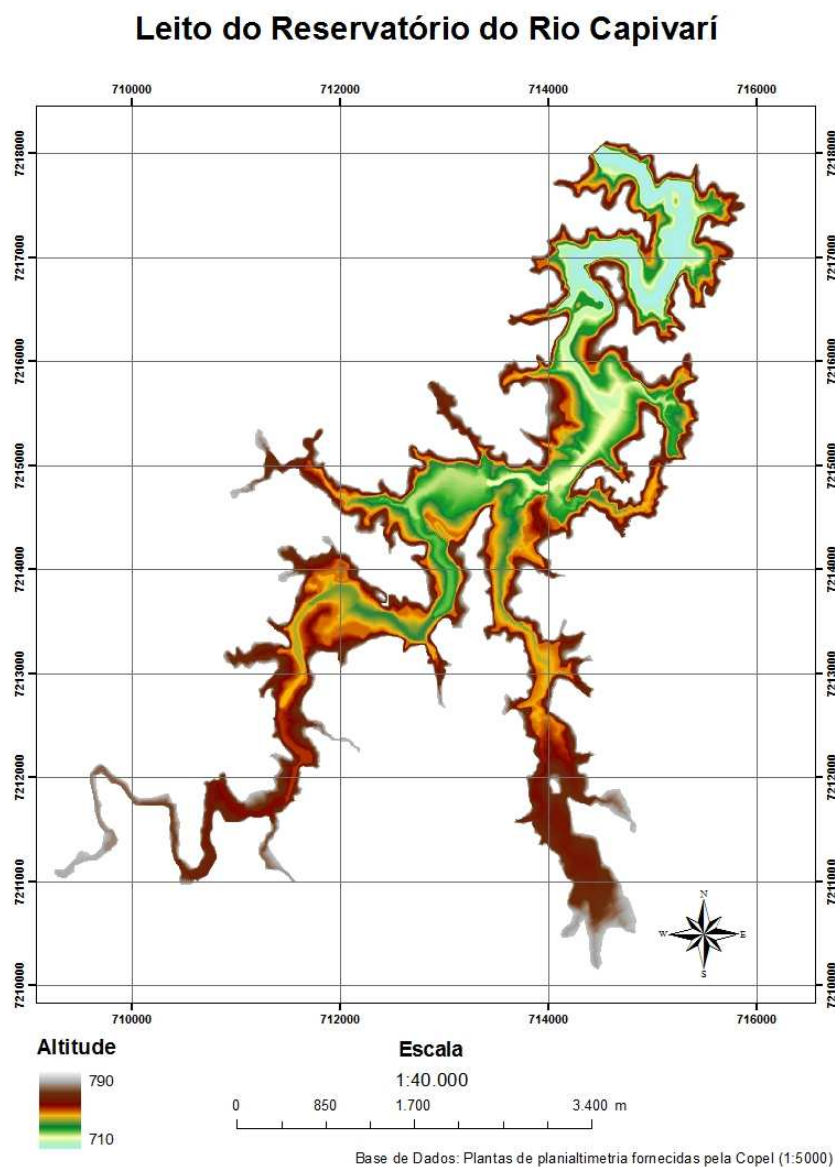


Figura 4 – Modelo digital tridimensional de batimetria.

## BIBLIOGRAFIA

CENTENO, J. A. S.; MITSHITA, C. E. A (2007). “*Laser Scanner aerotransportado no estudo de áreas Urbanas: a experiência da UFPR*” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, p. 3645-3652.

TEMBA, P. (2000). *Fundamentos da Fotogrametria*. Departamento de Cartografia – UFMG.

ANTUNES, C. (1995). *Levantamentos Topográficos – apontamentos de topografia*. Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa.

ARCHELA, R. S. (2007). “*Evolução histórica da cartografia no Brasil: instituições, formação profissional e técnicas cartográficas*” in Revista Brasileira de Cartografia N° 59/03, dezembro 2007, p. 213-223.



BRASIL (1971). Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Represa do Capivari. PR Porto Alegre: DSGE, 1971 DSGE n. 2843-A; folha SG.22.X.D.II-1; escala 1:50.000; lat/long 25004845; foto aérea de 1965/66.

HERITAGE, G. L.; LARGE, A. R. G. (2009). *Principles of 3D Laser Scanning in Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Blackwell Publishing, p. 21-34.

NOVO, E. M. L. M. (1992). *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. Editora Edgar Blücher Ltda. p. 1-4.