



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

MARIA CAROLINA DA MOTTA AGRA

**Geração de Superfície Batimétrica para Análise de Seções Transversais
no Reservatório de Sobradinho**

RECIFE - PE

ANO 2011

MARIA CAROLINA DA MOTTA AGRA

**Geração de Superfície Batimétrica para Análise de Seções Transversais
no Reservatório de Sobradinho**

Monografia apresentada à Banca Examinadora como requisito para a obtenção do título de Especialista, pelo Programa de Especialização em Geoprocessamento

Área de Concentração: Geoprocessamento

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ LUIZ PORTUGAL

RECIFE - PE

ANO 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

A277g

Agra, Maria Carolina da Motta.

Geração de superfície batimétrica para análise de seções transversais no reservatório de Sobradinho [manuscrito] / Maria Carolina da Motta Agra. - 2011.

69 f. : il. color.

Monografia (Especialização em Geoprocessamento)
– Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. José Luiz Portugal, Universidade Federal de Pernambuco”.

1. Cartografia. 2. Hidrologia. 3. Reservatório . I. Título.

21. ed. CDD 526

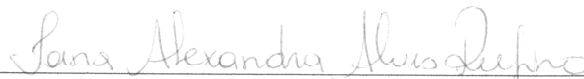
MARIA CAROLINA MOTTA AGRA

**GERAÇÃO DE SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA PARA ANÁLISE DE SEÇÕES
TRANSVERSAIS NO RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO**

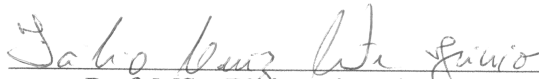
Monografia apresentada à Banca Examinadora como
requisito para a obtenção do título de Especialista,
pelo Programa de Especialização em
Geoprocessamento
Área de Concentração: Geoprocessamento

Aprovado em 6 de novembro de 2011.

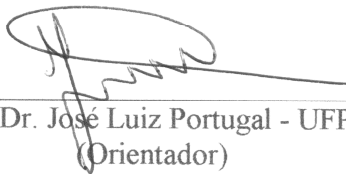
Banca Examinadora



Prof. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino - UFCG
(Examinador externo)



Prof. MSc. Fábio Luiz Leite Junior - UEPB
(Examinador interno)



Prof. Dr. José Luiz Portugal - UFPE
(Orientador)

CAMPINA GRANDE-PB

2011

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para sua realização. Primeiramente a Deus, que sem ele não teria Forças para alcançar mais esse objetivo em minha vida; a minha mãe Josephina, minha irmã Fernanda e Aloisio, que tiveram tanta compreensão comigo durante o período dedicado a esse objetivo.

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho de pesquisa nasceu, principalmente, a partir de motivações e inquietações pessoais e profissionais, na relação entre a utilização da tecnologia da geoinformação e as necessidades informacionais na organização na qual trabalho.

Essa monografia não chegaria a bom termo sem a inestimável cooperação dos seguintes órgãos da CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco), empresa na qual trabalho, a Divisão de Gestão dos Recursos Hídricos – DORH, onde estou alocada, e o Núcleo de Geoprocessamento – Ngeo, além das pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para sua realização. Mesmo correndo o risco de cometer injustiças, omitindo, involuntariamente, preciosas colaborações, registro agradecimentos a:

- Aos *Professores do Curso de Especialização* e a *Coordenação do Programa*, na pessoa do *Profº Cláudio de Souza Baptista*, sempre dispostos a aceitarem os desafios das propostas numa constatação sem limites de tempo e paciência;
- Agradecimentos especiais são devidos ao meu Orientador *Profº José Luiz Portugal* (o *Major*), a quem credito total confiança, e pela sua paciência e dedicação dispensada, e também pelo crédito depositado sobre mais esse trabalho desenvolvido em conjunto;
- A *Banca Examinadora da minha Monografia*, nas pessoas dos professores, *Profª Iana Alexandra Alves Rufino* e *Profº Fábio Luís Leite Jr.*, que se dispuseram a analisar esse trabalho técnico;
- Aos *Colegas do curso*, pelo companheirismo e incentivo durante a realização do mesmo;
- Ao *Coordenador do Projeto do SIG Corporativo da CHESF*, *Vinícius Queiroga*, por ter creditado em nós confiança no apoio ao desenvolvimento de um SIG Corporativo para a empresa;
- A Diretoria da CHESF, na qual estou vinculada, por ter confiado e me indicado para participar no *Projeto do SIG Corporativo*, nas pessoas de: *Dilton da Conti* (Presidente); *Mozart Bandeira* (Diretor de Operações); *João Henrique* (Superintendente SOC); *Ana Regina* (Assessora SOC); *Nivaldo Burgos* (Gerente Departamento DCO) e *Sonáli Cavalcanti* (Gerente da Divisão de Gestão dos Recursos Hídricos - DORH);

- Aos *Colegas do NGeo*, em nome de *Valéria Carazzai*, que em muitos momentos trocamos “figurinhas” na área de Geoinformação visando redução de custos e de mão-de-obra, além de aumentar nossa integração como uma empresa única;
- Aos *Colegas da DORH*, em nome de *Arnaldo, Arquimedes, Carine, Douglas, Josiane e Mêuser*, saúdo os demais colegas da Divisão que contribuíram de alguma forma para elaboração de minha monografia, discutindo o problema e auxiliando no esclarecimento das dúvidas e na explanação das possíveis soluções encontradas;
- A *Sonáli Cavalcanti*, gerente da DORH, que me auxiliou nas avaliações e correções finais do texto técnico elaborado.

“A vitória mais bela que se pode
alcançar é vencer a si mesmo.”

Santo Inácio de Loyola

RESUMO

Este trabalho definiu a superfície submersa situada no Reservatório de Sobradinho delineada a partir de um levantamento batimétrico executado em 2009. Com o levantamento batimétrico procedeu-se à interpolação para elaborar Modelo Digital do Terreno. Sobre este modelo gerado foram plotadas 07 seções batimétricas, localizando-as espacialmente, de forma que periodicamente seus perfis possam ser comparados com de outros levantamentos batimétricos em períodos distintos, resultando assim em análises que contribuam nos estudos hidrológicos para o Reservatório de Sobradinho.

Palavras-chave: Cartografia Básica, Modelagem em Sistemas de Informações Geográficas, Análises Hidrológicas.

ABSTRACT

This work defined the submerged surface located in Sobradinho Reservoir delineated from a bathymetric survey performed in 2009. With the bathymetric survey proceeded the interpolation to produce Digital Terrain Model. About this model generated were plotted 07 sections bathymetric, locating them spatially, so that periodically their profiles can be compared with other bathymetric surveys at different times, resulting in analysis that contribute in hydrologic studies to the Sobradinho Reservoir.

Keywords: Basic Mapping, Modeling in Geographic Information Systems, Hydrologic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Grade Regular (Adaptado de FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004)

Figura 02 – Malha Triangular Irregular (Adaptado de FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004)

Figura 03 – Tipos de Amostragem por Pontos (Adaptado de FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004)

Figura 04 – Bloco de Diagrama das Atividades de Geoprocessamento

Figura 05 – Cascata do Rio São Francisco (Autor: Arnaldo Lopes/CHESF)

Figura 06 – Levantamento Batimétrico do Reservatório de Sobradinho plotado sobre a articulação das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil, Escala 1/100.000, com respectivos MIs

Figura 07 – Levantamento Batimétrico do Reservatório de Sobradinho plotado sobre a articulação das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil, Escala 1/100.000, com respectivas datas de elaboração

Figura 08 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Casa Nova

Figura 09 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Petrolina

Figura 10 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Campo Grande

Figura 11 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Remanso

Figura 12 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Tombador

Figura 13 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Serra do Brejinho

Figura 14 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Campo dos Cavalos

Figura 15 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Saldanha

Figura 16 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Pilão Arcado

Figura 17 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Xique-Xique

Figura 18 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Casa Nova

Figura 19 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Petrolina

Figura 20– Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Campo Grande

Figura 21 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Remanso

Figura 22 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Tombador

Figura 23 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Serra do Brejinho

Figura 24 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Campo dos Cavalos

Figura 25 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Saldanha

Figura 26 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Pilão Arcado

Figura 27 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Xique-Xique

Figura 28 – Exportação de Imagem de Carta em Formato *TIFF* com Sistema de Coordenadas em Córrego Alegre. Exemplo para carta sistemática Remanso

Figura 29 – Arquivo *TIFF* da carta sistemática completa no Sistema de Coordenadas em Córrego Alegre

Figura 30 – Recorte do retângulo que engloba a área útil da carta

Figura 31 – Arquivo *TIFF* da carta sistemática recortada apenas com sua área útil com Sistema de Coordenadas em Córrego Alegre

Figura 32 – Mosaico *TIFF* contendo as 10 cartas sistemáticas recortadas apenas em suas áreas úteis para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre

Figura 33 – Tipos de Linhas de Navegação (Fonte: Hidrocom)

Figura 34 – Zonas de Navegação no Reservatório de Sobradinho (Fonte: Hidrocom)

Figura 35 – Configuração das Linhas de Navegação Batimétrica para a Cota aproximada de 390m (Fonte: Hidrocom)

Figura 36 – Tipos de Correção DGPS (Correção Diferencial GPS) (Fonte: Hidrocom)

Figura 37 – Posicionamento por DGPS e Sondagem Batimétrica com Ecossonda Digital (Fonte: Hidrocom)

- Figura 38 – Sistema para Aquisição dos Dados de Posição e Profundidade (Fonte: Hidrocom)
- Figura 39 – Software BAT1 para Integração GPS + ECO e Aquisição e Armazenamento dos Dados Batimétricos (Fonte: Hidrocom)
- Figura 40 – Postos Linimétricos do Reservatório da UHE de Sobradinho (Fonte: Hidrocom)
- Figura 41 – Modelo para Previsão de Onda – PrevOnda (Fonte: Hidrocom)
- Figura 42 – Tabela referente ao Levantamento Batimétrico realizado no Reservatório de Sobradinho em 2009
- Figura 43 – Tela de apresentação do *ArcMap 10.0* utilizado para desenvolvimento da monografia
- Figura 44 – Adição de tabela de dados batimétricos por coordenadas dos pontos tridimensionais, com Sistema de Coordenadas indefinido
- Figura 45 – Apresentação da *View* dos pontos tridimensionais adicionados
- Figura 46 – Propriedades do *layer* dos pontos tridimensionais do levantamento batimétrico com Sistema de Coordenadas indefinido
- Figura 47 – Apresentação da *View* dos dados batimétricos originais, com sua tabela de dados
- Figura 48 – Apresentação do *layer* de batimetria, em coordenadas geográficas e convertida as coordenadas em feição pontual do *ArcMap (shapefile)*
- Figura 49 – Propriedade do *layer* de batimetria definida para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre
- Figura 50 – Pontos tridimensionais que representam a curva de nível de 400,00m
- Figura 51 – Tabela referente à batimetria realizada em 2009 acrescida dos pontos tridimensionais que representam a curva de nível de 400,00m
- Figura 52 – Representação dos pontos tridimensionais referentes à batimetria realizada em 2009 e aos que representam a curva de nível de 400,00m
- Figura 53 – Escolha do Método de Interpolação e do Atributo a ser interpolado

Figura 54 – Condição para obtenção de pontos amostrais coincidentes

Figura 55 – Configuração dos parâmetros de interpolação

Figura 56 – Resultado da Validação Cruzada e os Valores Preditos

Figura 57 – Resultado da Validação Cruzada e os Valores dos Erros

Figura 58 – Superfície interpolada com a curva de nível interpolada e correspondente à cota 392,00 m

Figura 59 – Representação do espelho de água do Reservatório de Sobradinho conforme seus vários níveis de profundidade

Figura 60 – Espelho de água do Reservatório de Sobradinho com suas seções transversais

Figuras 61 a, b, c, d, e, f, g – Perfil das seções batimétricas definidas no levantamento de campo realizado no ano de 2009

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Área, População e Número de Municípios, por Unidade da Federação, na Bacia do São Francisco

Quadro 02 – Características Técnicas da UHE de Sobradinho

Quadro 03 – Cronologia da Concepção/Construção da UHE de Sobradinho

Quadro 04 – Principais Características das Usinas do Vale do Rio São Francisco

Quadro 05 – Articulação das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil, Escala 1/100.000

Quadro 06 – Distância Aproximada da Seção Transversal ao Barramento da UHE de Sobradinho

Quadro 07 – Frequência Desejável para Levantamento Batimétricos de Reservatórios

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

SIG Corporativo – Sistema de Informações Geográfica Corporativo

CVSF - Comissão do Vale do São Francisco

CODEBA - Companhia Docas do Estado da Bahia

UHE de Sobradinho – Usina Hidroelétrica de Sobradinho

MI - Mapas-Índice

TIFF (Tagged Image File Format) - é um formato de ficheiro gráfico *bitmap (raster)*.

RMS (Root Mean Square) - Erro Quadrático Médio

N.A – Nível da água

GPS - Global Posicionation System

WADGPS - Foi desenvolvido para que fossem reduzidas as deficiências inerentes as *DGPS*, sem a necessidade de estabelecer grande número de estações. Enquanto o *DGPS* produz uma correção escalar para cada uma das pseudodistâncias, um sistema *WADGPS* proporciona um vetor de correções composto dos erros das efemérides e do relógio para cada satélite além dos parâmetros inerentes aos efeitos ionosféricos e a refração troposférica. Na composição de um sistema de *WADGPS*, há pelo menos uma estação monitora, estações de referência e sistema de comunicação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
4. METODOLOGIA.....	22
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
1.1. Descrição do Aproveitamento de Sobradinho.....	26
6. SELEÇÃO DAS CARTAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO QUE COMPÕEM O ESTUDO	31
7. GEOREFERENCIAMENTO E MOSAICAGEM DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO – CÓRREGO ALEGRE.....	33
8. EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	41
4.1. Projeto de Navegação Batimétrica.....	41
4.2. Levantamento Batimétrico Propriamente Dito	43
4.3. Pré-Processamento dos Dados Batimétricos	45
9. DEFINIÇÃO DA SUPERFÍCIE SUBMERSA	47
10. VETORIZAÇÃO DA CURVA DE NÍVEL 400 m SOBRE A CARTA SISTEMÁTICA PARA FORMAÇÃO DA BACIA HIDRÁULICA	52
11. INTERPOLAÇÃO DOS PONTOS DA BATIMETRIA COM A CURVA DE NÍVEL DE 400 m	54
12. ELABORAÇÃO DOS PERFIS REFERENTES ÀS SEÇÕES BATIMÉTRICAS AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO.....	59
13. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	63
14. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	66

1. INTRODUÇÃO

Barragens são construídas em leitos de rios visando armazenamento de água para viabilizar primordialmente o consumo. A construção de barragens é associada ao acúmulo de sedimentos nos reservatórios formados pelas mesmas. No processo de assoreamento, os sedimentos ocupam parte do volume útil destas estruturas de reservação, causando impactos, por vezes irreparáveis, a saber (VENÂNCIO, 2009):

- Impacto na vida aquática;
- Obstrução de tomadas d'água para geração de energia elétrica;
- Formação de bancos de areia que alteram e dificultam as rotas de navegação;
- Diminuição do volume útil do reservatório, com conseqüente diminuição da vazão regularizada;
- Redução da eficiência dos reservatórios de contenção de cheias urbanas.

Sendo assim, o conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas exercidas pelo homem. No caso do Setor Elétrico, a vida útil das usinas hidrelétricas é determinada com base na retenção e na distribuição dos sedimentos em seus reservatórios (LIMA, 2004).

A construção de uma barragem e a formação de seu reservatório implica em modificações nas condições naturais do curso d'água. As barragens geram uma redução na velocidade da corrente e, conseqüentemente, na capacidade de transporte de sedimentos pelo rio, favorecendo sua deposição nos reservatórios que, aos poucos, vão perdendo sua capacidade de armazenar água. Portanto, seja o reservatório para fins de geração de energia, de irrigação, de abastecimento ou de outros usos, o conhecimento da vida útil desse empreendimento dependerá diretamente do fluxo de sedimentos no curso d'água (LIMA, 2004).

Estudos visando calcular estimativas do assoreamento em reservatórios podem ser realizados através de medições diretas de vazões em rios e concentrações de sedimentos, realizados simultaneamente. Os dados obtidos produzem a Curva-Chave de Sedimentos, relacionando a vazão de água à descarga de sedimentos. Com uma série de vazões e a Curva-Chave de sedimentos para cada rio que abastece um reservatório, faz-se a previsão do assoreamento ao longo do tempo. Se o reservatório está em operação poderão ser realizadas batimetrias periodicamente para acompanhamento do nível de assoreamento (VENÂNCIO, 2009).

2. OBJETIVOS

Essa monografia objetiva definir o Modelo Digital do Terreno no Reservatório de Sobradinho, a partir do levantamento batimétrico efetuado no ano de 2009. Com o MDT definido serão traçadas seções transversais ao longo do comprimento do reservatório, de forma a viabilizar estudos do comportamento e o formato de seus perfis, no decorrer do tempo, permitindo a análise da disposição de sedimentos no Reservatório.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O Professor *Charles L. Miller*, do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, foi o precursor das pesquisas na área de Modelagem Numérica de Elevação (MNE). O foco de seus estudos foi à execução de projetos de estradas auxiliada por computador. Existem variadas aplicações relacionadas a Modelos Digitais do Terreno (MDT), segundo BURROUGH; MCDONNELL (1998):

- Cálculo de volumes;
- Construção de perfis e seções transversais;
- Geração de imagens sombreadas ou em níveis de cinza;
- Confecção de mapas de declividade e orientação (aspecto);
- Geração de fatiamentos e perspectivas tridimensionais; e
- Cálculo de áreas e distâncias em superfície real.

A definição da melhor aplicação do MDT depende especificamente do tipo de terreno a se representar, além da disponibilidade dos dados de entrada. As etapas para construção do MDT são as seguintes (BURROUGH; MCDONNELL, 1998):

- Aquisição das Amostras ou Amostragem;
- Geração da Superfície; e
- Aplicações.

A **Amostragem** objetiva a determinação de pontos tridimensionais (X, Y, Z) que representam a superfície da área de estudo. As fontes mais comuns de aquisição de amostras são (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004):

- Bases topográficas com curvas de nível e pontos fotogramétricos;
- Levantamentos de dados em campo; e
- Restituição fotogramétrica.

A **Geração da Superfície** refere-se a transformação da estrutura de dados amostrais noutra de grade regular ou malha triangular irregular (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

A Grade Regular, apresentada na **Figura 01**, é obtida tanto por aquisição regular quanto por interpolação. Seu armazenamento se processa numa estrutura matricial, onde a linha e a coluna materializam a posição em duas dimensões, e o valor de Z , é a variável em estudo, a altitude. (CAMARGO *et. al.*, 2004).

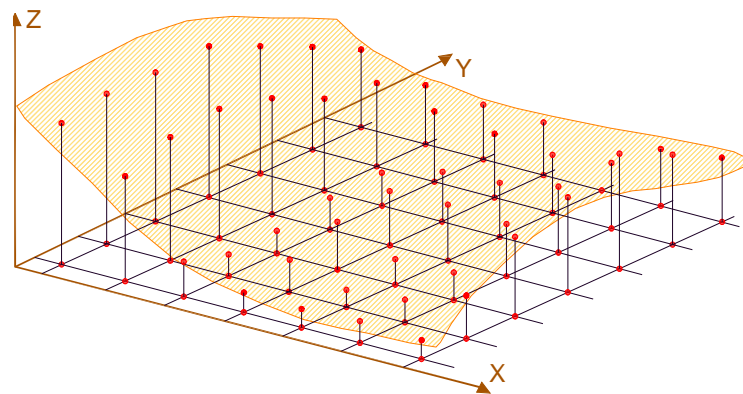


Figura 01 – Grade Regular (Adaptado de FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004)

O espaçamento da grade é denominado resolução geométrica (ou resolução espacial do objeto), e deve ser definido a priori. A partir da definição das dimensões da grade, aplica-se um método de interpolação para o cálculo dos valores da matriz (CÂMARA; MONTEIRO, 2004).

A Malha Triangular Irregular, também denominada de TIN (*Triangular Irregular Network*), conforme **Figura 02**, é materializada pelos pontos amostrais, conectados três a três, formando triângulos irregulares, que no espaço tridimensional representam poliedros com faces triangulares (CAMARGO *et. al.*, 2004).

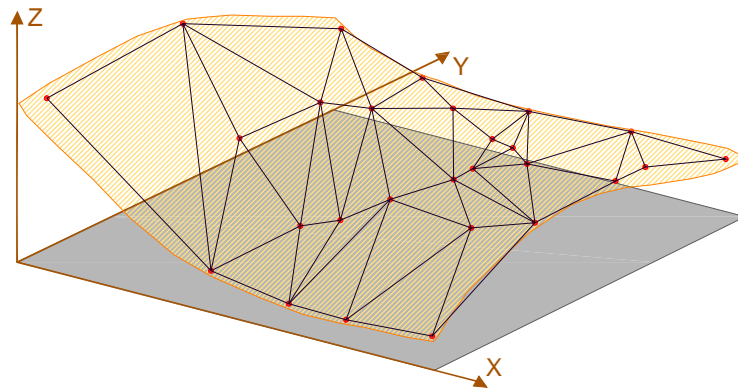


Figura 02 – Malha Triangular Irregular (Adaptado de FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004)

A Aplicação do MDT se processa através de funções matemáticas e estatísticas, com o emprego das derivadas direcionais e gradiente para obtenção da direção das águas sobre a superfície e dos mapas de declividade, respectivamente (CAMARGO *et. al.*, 2004).

Na utilização dos modelos, é essencial observar as fontes de possíveis erros, uma vez que esses têm relação direta com a qualidade da superfície a ser estimada (predita). Esses erros podem ser classificados a seguir (WECHSLER, 1999):

- Erros de medição da amostra coletada;
- Erros de classificação, de generalização, de truncamento e de interpolação;
- Erros devidos à idade do dado, à densidade e à distribuição da amostra.

Os **erros de medição** da amostra são devidos à qualidade de trabalhos de campo, de medições fotogramétricas, de dilatação dos originais cartográficos, ou ainda da baixa qualidade da vetorização (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

Os **erros de classificação** são devidos à diversidade de unidades espaciais de análise e as faixas de domínio do evento considerado, como por exemplo, a equidistância de curvas de nível (SEIXAS; FERREIRA, 2007).

O **erro de generalização** é relacionado com escala do mapa no que tange a representação da informação (SEIXAS; FERREIRA, 2007).

O **erro de truncamento** é um erro devido ao método de aproximação empregado para o cálculo de uma função exata (SHIGUE, 2003).

O **erro de interpolação** é decorrente da densidade e distribuição da amostra (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

O **erro causado pela idade do dado** existe porque dificilmente todos os dados necessários ao desenvolvimento da pesquisa/trabalho foram coletados juntos, numa mesma época (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

Também se observa que a **densidade** relaciona-se com o número de pontos amostrais por unidade de área. Já a **distribuição** com o espalhamento dos pontos amostrais sobre a área (WECHSLER, 1999). Afirma-se que quanto maior a densidade de pontos utilizados pela amostra, maior é a fidedignidade da representação da realidade terrestre. E, quanto mais aleatória for à distribuição da amostra, maior será a precisão do modelo (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004).

Para a representação do relevo é importante que ele tenha um padrão aproximado sugerido pelas Leis do Modelado. Levando em consideração essa assertiva, sugeriu-se que a amostra fosse estratificada, principalmente em relação às Linhas de Fêsto e Fundos de Vale.

Sobre a distribuição das amostras elas são classificadas conforme é apresentado a seguir na **Figura 03** (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004):

- **Regular:** a posição bi-dimensional (X, Y) mantém regularidade em relação aos eixos coordenados;
- **Semi-regular:** a posição bi-dimensional (X, Y) mantém regularidade somente em relação a um eixo coordenado;
- **Irregular:** a posição bi-dimensional mantém aleatoriedade em relação aos eixos coordenados.

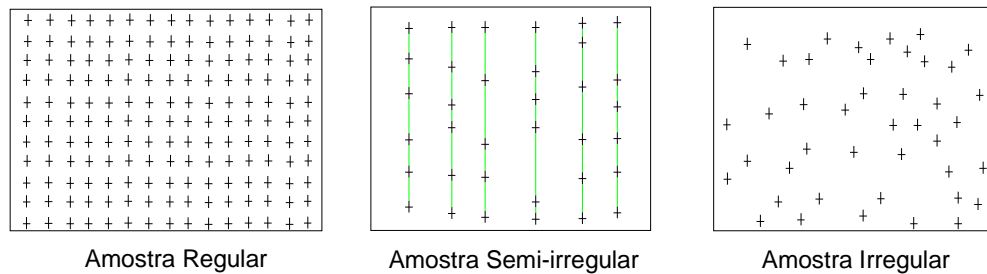


Figura 03 – Tipos de Amostragem por Pontos (Adaptado de FELGUEIRAS; CÂMARA, 2004)

A distribuição Irregular é a mais adequada permitindo que os pontos sejam obtidos nas Linhas de Fêsto e Linhas de Fundo de Vale. Nesta monografia, a distribuição irregular é materializada pelos vértices de curvas de nível.

4. METODOLOGIA

Essa Monografia é fruto do Curso de Especialização em Geoprocessamento coordenado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF, conjuntamente com a Universidade Federal de Campina Grande, objetivando a implantação do SIG Corporativo na CHESF.

Para facilitar a compreensão desse projeto, é apresentado o Bloco de Diagrama de Atividades de Geoprocessamento na **Figura 04** visando facilitar o entendimento das atividades executadas durante o desenvolvimento desse estudo.

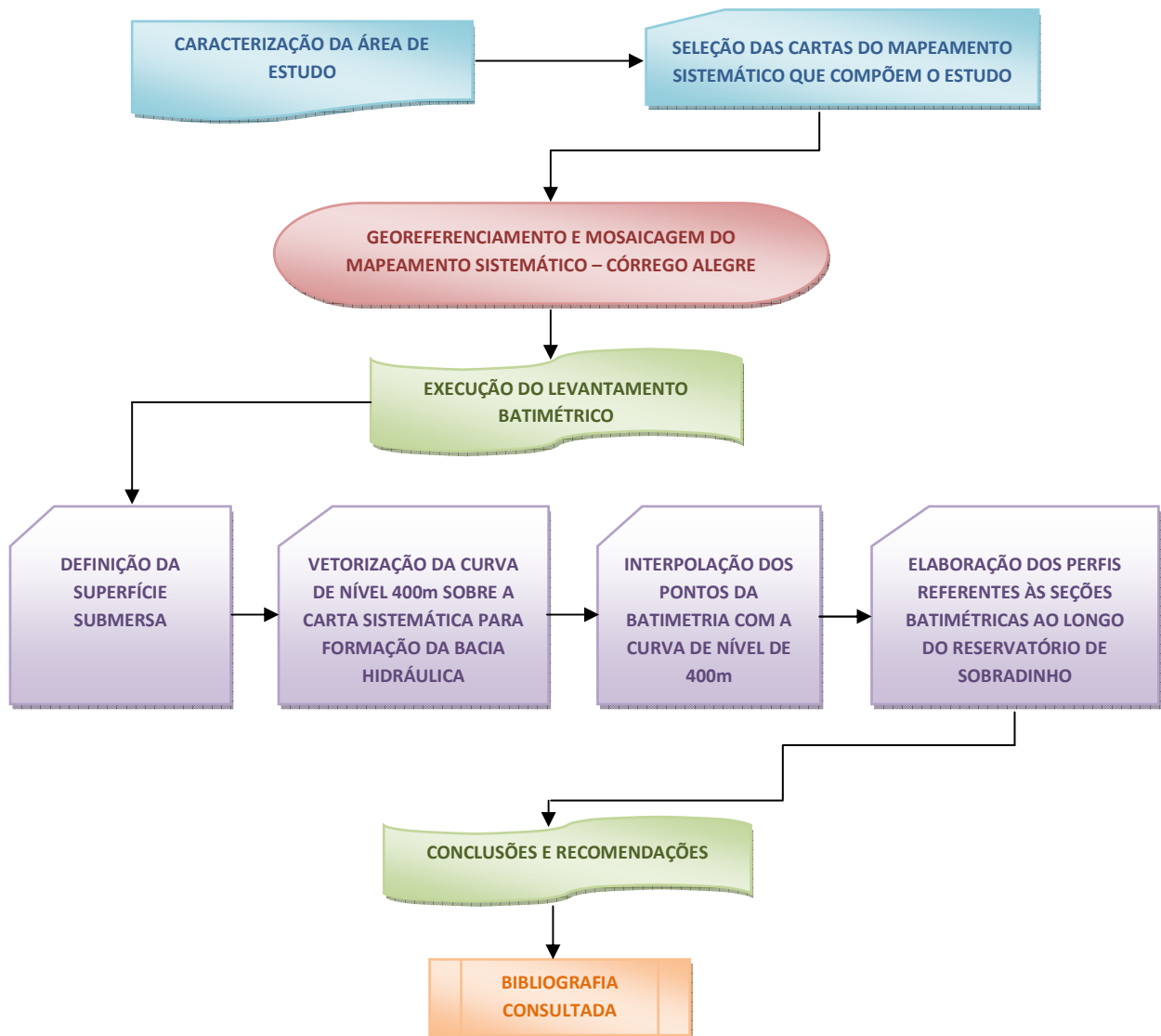


Figura 04 – Bloco de Diagrama das Atividades de Geoprocessamento

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Rio São Francisco tem recebido, em linguagem figurada, vários pseudônimos: “Grandes Caminhos da Civilização Brasileira”, “Rio da Unidade Nacional”, “Nilo Brasileiro” “Mediterrâneo Brasileiro”, “O Mais Brasileiro de Todos os Rios” – nomes justificados por sua própria característica (NOVAES, 1989).

O Rio São Francisco nasce na Serra da Canastra, ao Sul de Minas Gerais, 1.280 metros acima do nível do mar. Sua nascente fica no divisor das bacias continentais dos rios da Prata (Paraná) e Amazonas (Tocantins) (NOVAES, 1989).

É o maior rio brasileiro. Em extensão, é o décimo oitavo do mundo. O Rio São Francisco percorre 2.700 Km. Inicialmente, corre para leste e nordeste; depois para norte, a uma distância de 600 Km da costa. Conserva essa direção até a altura de Barra/BA, donde se inflete para nordeste, desenhando uma curva que passa por Sobradinho até atingir Cabrobó/PE, tomando o rumo leste até desembocar no Oceano Atlântico (NOVAES, 1989).

O São Francisco e seus afluentes banham os estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do Distrito Federal. A bacia do Rio São Francisco ocupa área de 640.000 Km², distribuída da seguinte forma (NOVAES, 1989):

Bahia	47,19%
Minas Gerais	37,19%
Pernambuco	11,25%
Alagoas	2,50%
Sergipe	1,25%
Goiás	0,62%
Distrito Federal	0,08%

Descarregando uma média de 2.810 m³/s no Oceano Atlântico, o rio São Francisco é o terceiro maior rio do Brasil. Sua bacia hidrográfica habita cerca de 13 milhões de pessoas, que correspondem a 8% da população do país. O **Quadro 1** resume dados gerais característicos da bacia (PBHSF, 2004-2013).

Quadro 01 – Área, População e Número de Municípios, por Unidade da Federação, na Bacia do São Francisco

UNIDADE DA FEDERAÇÃO	ÁREA		POPULAÇÃO		MUNICÍPIO	
	Km ²	%	Hab.	%	Nº	%
Minas Gerais	235.417	36,8	7.595.274	57,2	240	47,7
Goiás	3.142	0,5	107.858	0,8	3	0,6
Distrito Federal	1.336	0,2	2.000	-	1	0,2
Bahia	307.941	48,2	2.663.527	20,1	114	22,7
Pernambuco	69.518	10,8	1.614.565	12,2	69	13,7
Alagoas	14.338	2,2	1.002.900	7,5	49	9,7
Sergipe	7.473	1,3	291.831	2,2	27	5,4
TOTAL	639.219	100	13.297.955	100	503	100

Fonte: Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco, 2003b, p. 14.

O rio forma várias cachatas, das quais a mais pujante é a da Casca d’Anta (**Foto 01**), que se precipita de uma altura de 180 m. Apresentam-se em seu leito, outras duas cachoeiras – Paulo Afonso e Itaparica (esta submersa no reservatório da Barragem de Itaparica) – além de duas corredeiras significativas, as de Pirapora e Sobradinho, estas últimas também desaparecidas desde a construção da barragem de Sobradinho. Dada sua decisiva importância para o desenvolvimento do Nordeste brasileiro, do Médio e do Baixo São Francisco e de Minas Gerais, já foram barradas Paulo Afonso, Itaparica e Sobradinho, cujas usinas hidrelétricas compõem o maior complexo energético do Nordeste. A essas, o São Francisco soma a Represa de Três Marias (MG), e a de Xingó (AL e SE) (*NOVAES*, 1989).

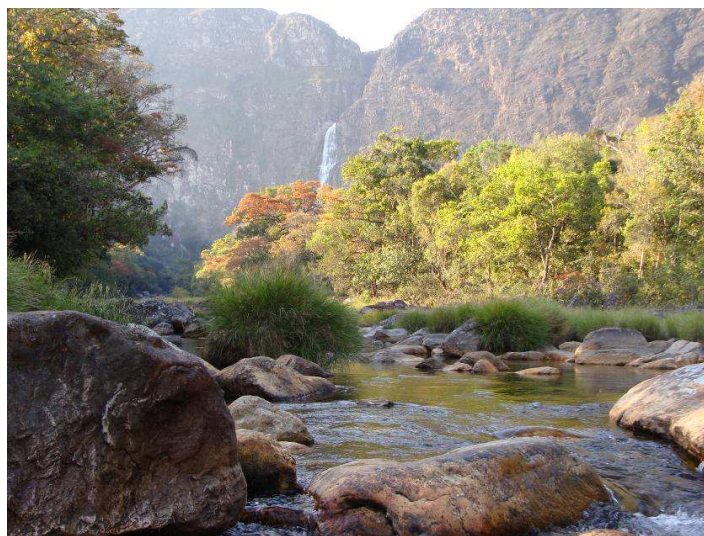


Foto 01 – Nascente do Rio São Francisco. Cachoeira Casca D’Antas do Rio São Francisco em São Roque de Minas/MG (Autor: Douglas Wanderley/CHESF, em 20/08/2010)

O Reservatório de Sobradinho é a maior obra executada no São Francisco em todos os tempos. Em 1962 a Lasa/Tecnosolo entregou a CVSF (Comissão do Vale do São Francisco) o anteprojeto da “Barragem de Sobradinho, para aproveitamento múltiplo do Rio São Francisco” (**Figura 05**) (*NOVAES, 1989*).

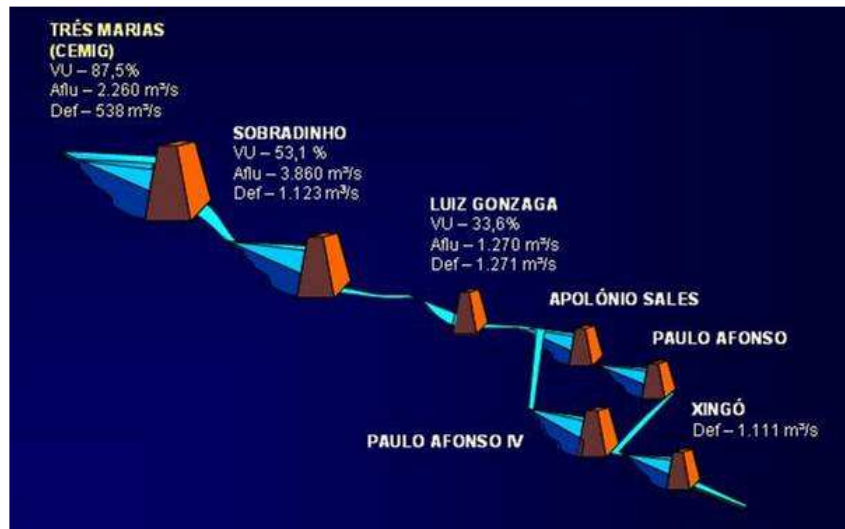


Figura 05 – Cascata do Rio São Francisco (Autor: Arnaldo Lopes/CHESF)

O projeto de Sobradinho foi realizado com a participação de expoentes da técnica brasileira e colaboração de consultores estrangeiros de renome mundial, orientado, porém, pela experiência adquirida pelos técnicos da CHESF, no seu longo período de convivência com o Rio São Francisco (*NOVAES, 1989*).

Os estudos Topográficos, Batimétricos e Geológicos da área de Sobradinho confirmaram o local da barragem tradicionalmente adotado pelos projetistas anteriores (anteprojeto Lasa/Tecnosolo). Apenas foi realizado pequeno deslocamento do eixo principal (*NOVAES, 1989*).

Após exaustivas e demoradas investigações de todos seus aspectos técnicos, a CHESF adotou o projeto definitivo elaborado pela Hidroservice Engenharia S.A., baseado nos dados explicitados, formalmente, em sua ficha técnica (*NOVAES, 1989*).

1.1. Descrição do Aproveitamento de Sobradinho

O aproveitamento hidrelétrico de Sobradinho está localizado no Estado da Bahia (**Foto 02 ‘a’ e ‘b’**), distando cerca de 40 Km a montante das cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE. Possui como principais rodovias de acesso as BRs 324/407/210 pelo lado da Bahia, perfazendo uma distância de 520 Km da capital Salvador, e pelo lado de Pernambuco as BRs 232/428/210, a uma distância de 860 Km da cidade de Recife (*CHESF, 1997*).



Foto 02 – (a) Localização da Barragem de Sobradinho e (b) Vista do barramento de Sobradinho (Autor: Site da Chesf)

A instalação do barramento leva a uma subdivisão do trecho do médio São Francisco, principal rio da região nordestina, passando o trecho a jusante da barragem e até o Complexo de Paulo Afonso a chamar-se de sub-médio São Francisco (*CHESF, 1997*).

O Reservatório de Sobradinho possui cerca de 320 Km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 Km² e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões m³ em sua cota máxima operativa normal 392,50 m, constituindo-se em um dos maiores lagos artificiais do mundo, o que garante através de uma depleção de até 12 m, juntamente com o reservatório de Três Marias/CEMIG, uma vazão regularizada de 2.060 m³/s nos períodos de estiagem, suficiente para permitir a operação de todas as usinas da CHESF situadas ao longo do Rio São Francisco (*CHESF, 1997*).

Incorpora-se a esse aproveitamento de grande porte uma eclusa, de propriedade da extinta PORTOBRAS, e atualmente pertencente à CODEBA - Companhia Docas do Estado da Bahia, cuja câmara possui 120 m de comprimento, por 17 m de largura, permitindo às embarcações vencerem o desnível de 32,5 m criados pela barragem, garantido assim a continuidade da tradicional navegação entre o trecho do Rio São Francisco compreendido entre as cidades de Pirapora/MG e Juazeiro/BA - Petrolina/PE (CHESF, 1997).

Compreendem o represamento de Sobradinho as seguintes estruturas: barragem de terra zoneada com 12.000.000 de m³ de maciço, altura máxima de 41 m e comprimento total de 8,5 Km; casa de força com seis unidades geradoras acionadas por turbinas Kaplan e potência instalada de 1.140.000 kW; vertedouro de superfície e descarregador de fundo dimensionados para extravasar a cheia de teste de segurança da obra; tomada d'água com capacidade de até 25 m³/s para alimentação de projetos de irrigação da região (CHESF, 1997).

O sistema utilizado para disponibilizar a energia gerada é composto por uma subestação elevadora com 09 transformadores monofásicos de 133,3 MVA cada um, que elevam a tensão de 13,8 kV para 500 kV (CHESF, 1997).

A partir daí a conexão com o sistema de transmissão da CHESF é efetuada através da subestação seccionadora de Sobradinho 500/230 kV, de onde partem 02 circuitos em 500 kV para Itaparica/Paulo Afonso, 01 circuito em 500 kV de interligação com a Eletronorte e 01 circuito em 230 kV que abastece todo o Sudoeste do Estado da Bahia, partindo de Juazeiro até Barreiras/BA (CHESF, 1997).

A Usina está posicionada no Rio São Francisco distando 748 Km de sua foz, possuindo, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região.

O **Quadro 02** reúne as características técnicas da Usina Hidroelétrica de Sobradinho como se apresenta.

Quadro 02 – Características Técnicas da UHE de Sobradinho

Usina	
Proprietário	CHESF
Longitude sob a barragem	40° 50' Oeste
Latitude sob a barragem	9° 35' Sul
Distância da foz	747,80 km
Município / Estado	Sobradinho - BA
Tipo de construção	Externa
Comprimento da Casa de Força	250,00 m
Altura da Casa de Força	32,00 m
Largura da Casa de Força	27,00 m
Início de Operação	
Gerador 01G1	03/03/82
Gerador 01G2	27/10/81
Gerador 01G3	29/04/81
Gerador 01G4	06/12/80
Gerador 01G5	01/04/80
Gerador 01G6	03/11/79
Gerador	
Tipo	Síncrono Vertical
Quantidade	6
Potência instalada de cada unidade	175.050 kW
Classe de isolamento rotor	F
Classe de Isolamento do estator	F
Corrente nominal	1.620 A
Frequência	60 Hz
Tensão entre fases	13.800 V
Velocidade nominal	75 rpm
Velocidade de disparo	180 rpm
Ligação	Estrela (aterrada)
Fator de potência	0,9
Turbina	
Tipo	Kaplan

Quantidade	6
Velocidade nominal	75 rpm
Velocidade de disparo	180 rpm
Engolimento	710 m ³ /s
Potência nominal	178.000 kW
Altura de queda nominal	27,2 m
Diâmetro do rotor	9,5 m
Reservatório	
Área de reservatório na cota 392,50 m	4.214 km ²
Volume total do reservatório	34.116 Hm ³
Volume útil do reservatório	28.669 Hm ³
Vazão regularizada	2.060 m ³ /s
Nível máximo <i>maximorum</i>	393,50 m
Nível máximo operativo normal	392,50 m
Nível mínimo operativo normal	380,50 m

FONTE: Site da CHESF.

Os eventos que norteiam a concepção e construção da Barragem de Sobradinho obedecem à cronologia apresentada no **Quadro 03**:

Quadro 03 – Cronologia da Concepção/Construção da UHE de Sobradinho

Julho de 1971	Presidente da Eletrobrás, Mário Bhering, decidiu pela construção da Barragem
27 de Agosto de 1971	Presidente da CHESF, Apolônio Sales, decidiu a criação da Superintendência de Sobradinho, com plena autonomia e responsabilidade total pela construção da barragem, além da nomeação do Dr. Eunápio Queiroz para Superintendência
Setembro de 1972	Início das obras do acampamento dos canteiros de acesso
26 de Julho de 1973	Início da construção da Barragem propriamente dita
Dezembro de 1977	Conclusão da construção da Barragem de Sobradinho e enchimento do reservatório
28 de Maio de 1978	Inauguração da Barragem de Sobradinho pelo Presidente Ernesto Geisel
2 de Julho de 1978	Reservatório atingiu a cota máxima de 392,50 m e a descarga regularizada de 1.260 m ³ /s
Janeiro de 1979	Iniciada a montagem das 6 turbinas da usina com potência de 175 kW, cada, adquiridas na União Soviética
Novembro de 1979	Primeira turbina entrou em operação
Dezembro de 1981	Presidente João Figueiredo inaugurou as outras 5 turbinas com potência global de 1.050.000 kW, juntamente com a eclusa para a navegação fluvial

FONTE: NOVAES, 1989.

Evidenciam-se as usinas hidrelétricas em operação no vale do São Francisco, de montante para jusante, a saber: Três Marias; Sobradinho; Itaparica (Luis Gonzaga); Moxotó (Apolônio Sales); Paulo Afonso 1, 2 e 3; Paulo Afonso 4 e Xingó. Destas, apenas Três Marias; Sobradinho e Itaparica possuem reservatórios de regularização. Sendo assim, o **Quadro 04** apresenta as principais características das usinas citadas, incluindo a localização através da distância até a foz, área de drenagem (A.D.), volume útil (V.U.), potência instalada (Pot. Inst.), vazão média de longo termo (MLT), a vazão natural máxima diária da série histórica de vazões, e a capacidade de engolimento das turbinas, que indica a capacidade que a usina tem de defluir vazões sem realizar vertimentos. (PBHSF, 2004-2013).

Quadro 04 – Principais Características das Usinas do Vale do Rio São Francisco

BARRAGEM ¹	AGENTE ¹	DIST. ATÉ A FOZ ¹ (Km)	A. D. ¹ (Km ²)	V. U. ¹ (hm ³)	Pot. Inst. ¹ (MW)	MLT ¹ (m ³ /s)	Vazão Máx. ² (m ³ /s)	Engolimento ² (m ³ /s)
Três Marias	Cemig	2.220	50.560	15.278	396	705	7.245	924
Sobradinho	Chesf	800	498.425	28.669	1.050	2.750	18.525	4.260
Itaparica	Chesf	310	587.000	3.548	1.500	2.797	18.504	2.745
Moxotó	Chesf	270	599.200	226	400	2.797	18.851	2.200
Paulo Afonso 1, 2 e 3	Chesf	270	599.200	90	1.423	2.797	18.851	2.045
Paulo Afonso 4	Chesf	270	599.200	30	2.460	2.797	18.851	2.310
Xingó	Chesf	210	608.700	5	3.000	2.807	18.851	3.000

¹ - Fonte: ONS (2003^a).

² - Fonte: ONS (2004).

6. SELEÇÃO DAS CARTAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO QUE COMPÕEM O ESTUDO

As unidades de cartas topográficas resultantes do mapeamento aerofotogramétrico e em apoio de campo (controle terrestre planialtimétrico) na escala 1/100.000, se destinam a elaboração de projetos e de estudos imprescindíveis ao desenvolvimento econômico regional. Nelas estão registrados a configuração planimétrica natural do terreno (planimetria, hidrografia e cobertura vegetal) e artificial (localidades, sistema rodoferroviário), assim como a altimétrica (curva de nível e pontos cotados). Essas configurações são representadas em 5 (cinco) cores (vermelho, azul, sépia, verde e preto), segundo convenções internacionais (SUDENE, 1997).

Essas cartas topográficas possuem grande riqueza de detalhes e alto nível de exatidão, sua utilidade se estendendo a fins econômicos, técnicos e militares (SUDENE, 1997).

Contando com essas características técnicas, selecionamos as cartas referentes ao mapeamento referido que englobam o limite geográfico do Reservatório de Sobradinho. Sendo assim, são selecionadas 10 cartas contíguas (**Quadro 05**), com seus Mapas-Índice (MI), a saber:

Quadro 05 – Articulação das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil, Escala 1/100.000

MI	NOME DA CARTA
1514	Casa Nova
1515	Petrolina
1586	Campo Grande
1587	Remanso
1588	Tombador
1589	Serra do Brejinho (Ex-Sento Sé)
1590	Campo dos Cavalos
1655	Saldanha
1656	Pilão Arcado
1721	Xique-Xique

Fonte: Ministério do Planejamento e Orçamento – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) - 1997

A **Figura 06** apresenta a articulação das cartas utilizadas pela monografia com o limite da batimetria executada no Reservatório de Sobradinho plotado sobre as mesmas.

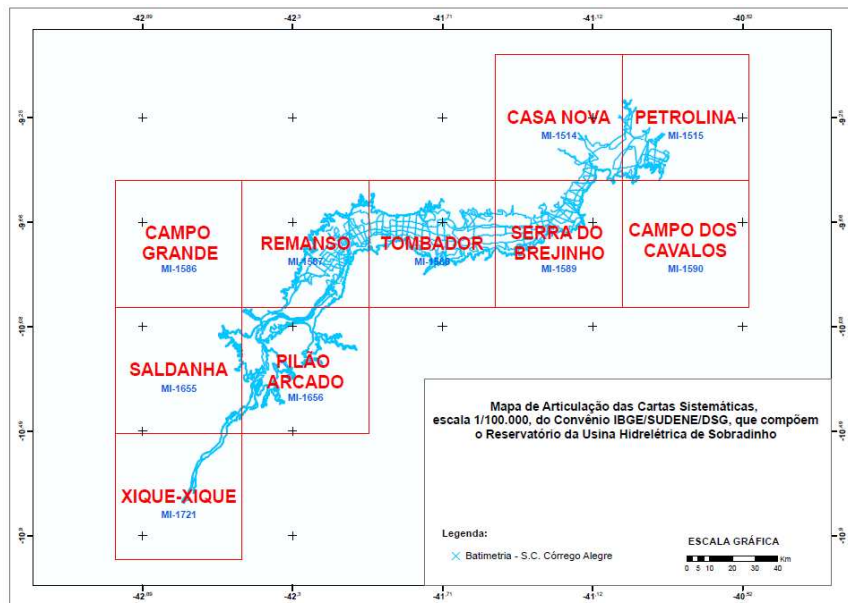


Figura 06 – Levantamento Batimétrico do Reservatório de Sobradinho plotado sobre a articulação das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil, Escala 1/100.000, com respectivos MIs

Ao ser realizada a mosaicagem das 10 cartas que compõem o mapa articulado do Reservatório de Sobradinho, pode-se verificar que a maioria das cartas, originalmente, não apresenta o Reservatório de Sobradinho desenhado, ausência essa compreendida devido ao fato da elaboração das mesmas ter sido anterior a formação do reservatório, que foi em 1979. Isso é mostrado na articulação apresentada na **Figura 07**, com as datas de elaboração de cada uma das cartas.

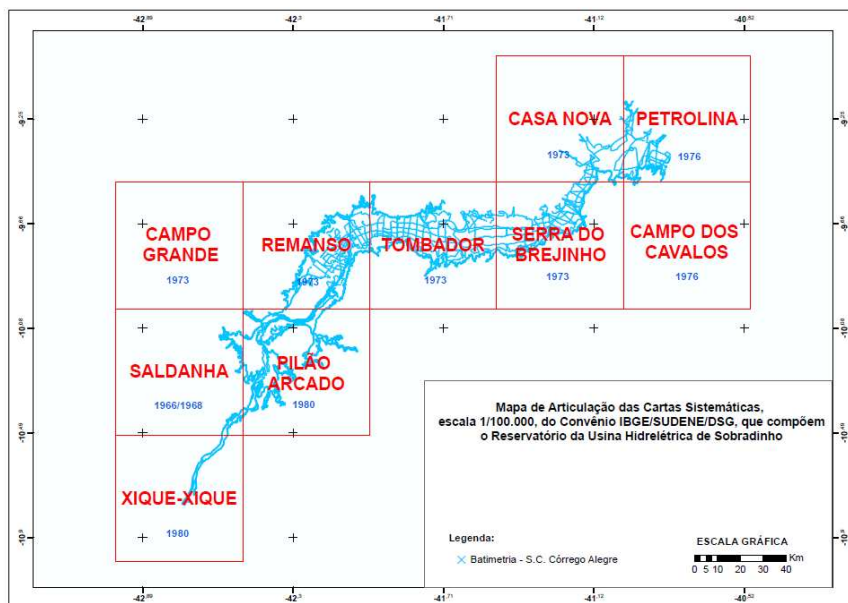


Figura 07 – Levantamento Batimétrico do Reservatório de Sobradinho plotado sobre a articulação das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil, Escala 1/100.000, com respectivas datas de elaboração

São destacadas as cartas de Pilão Arcado e Xique-Xique, ambas elaboradas no ano de 1980, que possuem o reservatório desenhado como um dos temas de sua carta, e a carta Serra do Brejinho, elaborada em 1973, que possui o limite da Represa de Sobradinho desenhado de forma aproximada.

7. GEOREFERENCIAMENTO E MOSAICAGEM DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO – CÓRREGO ALEGRE

Inicialmente destaca-se que o programa de computador empregado para consecução dessa monografia é o *ArcMap 10*, *ESRI*® *ArcMap*TM 10.0, adquirido pela Chesf.

Para a realização da mosaicagem das cartas topográficas na escala 1/100.000 executa-se a georeferência de cada carta, individualmente, que compõe o mosaico, definido para o sistema de coordenadas original do período de sua elaboração em meio analógico.

O processo de georeferência das cartas *raster* inicia-se pela definição de sua Unidade de Medição, em tela, para Decimal de grau. Após essa etapa, adiciona-se uma carta em formato *TIFF*, como um tema da <Table of Contents> (Tabela de Conteúdo). Sobre o nome da carta em formato *TIFF*, utiliza-se o *menu* do lado direito do *mouse*, o qual aciona-se o comando <Zoom To Layer>. Na <Display Area> também se define o Sistema de Coordenadas para *WGS84*. Considera-se o Sistema de Coordenadas inicialmente para *WGS84* visando georeferenciar as cartas, pelo fato de que as mesmas têm seus cantos em Graus/Minutos/Segundos. São anotados os valores dos 4 cantos da carta em decimal de grau, e com esses valores escritos na carta em formato *TIFF* e o que se apresenta na Barra de Status, é criado um arquivo novo em formato *TXT* contendo os valores medidos em cada canto da carta em decimal de grau, e o que está escrito também em cada canto da carta em decimal de grau, conforme apresentam as Figuras 08 à 17.

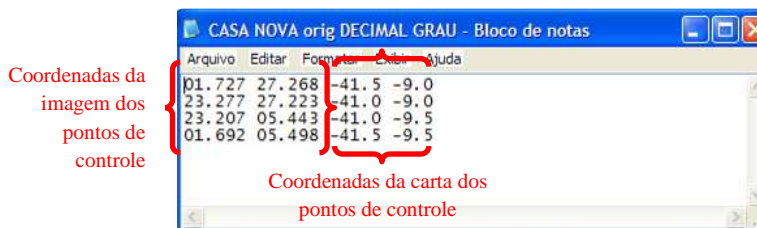


Figura 08 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Casa Nova



Figura 09 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Petrolina

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
01.312	27.283	-43.0	-09.5	
22.848	27.253	-42.5	-09.5	
22.773	05.443	-42.5	-10.0	
01.273	05.508	-43.0	-10.0	

Figura 10 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Campo Grande

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
00.657	27.283	-42.5	-9.5	
22.203	27.268	-42.0	-9.5	
22.168	05.483	-42.0	-10.0	
00.643	05.523	-42.5	-10.0	

Figura 11 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Remanso

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
01.636	27.169	-42.0	-9.5	
23.217	27.116	-41.5	-9.5	
23.146	05.306	-41.5	-10.0	
01.594	05.355	-42.0	-10.0	

Figura 12 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Tombador

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
00.647	27.612	-41.5	-9.5	
22.262	27.607	-41.0	-9.5	
22.243	05.803	-41.0	-10.0	
00.658	05.788	-41.5	-10.0	

Figura 13 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Serra do Brejinho

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
01.740	27.346	-41.0	-09.50	
23.327	27.392	-40.5	-09.50	
23.347	05.568	-40.5	-10.00	
01.793	05.538	-41.0	-10.00	

Figura 14 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Campo dos Cavalos

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
00.623	26.643	-43.0	-10.0	
22.132	26.621	-42.5	-10.0	
22.097	04.794	-42.5	-10.5	
00.618	04.833	-43.0	-10.5	

Figura 15 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Saldanha

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
01.687	28.038	-42.5	-10.0	
23.230	28.064	-42.0	-10.0	
23.223	06.185	-42.0	-10.5	
01.703	06.207	-42.5	-10.5	

Figura 16 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Pilão Arcado

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
01.747	27.959	-43.0	-10.5	
23.247	27.942	-42.5	-10.5	
23.222	06.129	-42.5	-11.0	
01.754	06.152	-43.0	-11.0	

Figura 17 – Pares de Coordenadas dos quatro cantos da carta Xique-Xique

No aplicativo *ArcMap*, na extensão <Georeferencing>, é acionado o ícone <View Link Table>, dessa forma a tabela é carregada contendo as coordenadas dos quatro cantos de cada carta, efetivando a transferência dos quatro pares de coordenadas determinados, como se apresentam as **Figuras 08 à 17**.

Os valores dos pares de coordenadas dos cantos das cartas são carregados nas tabelas, e sendo assim é calculado o valor do *RMS* (*Root Mean Square*), isto é, o Erro Quadrático Médio para cada ajuste de georeferenciamento por carta executada. Nas **Figuras 18 a 27** são apresentados os *RMS* de cada carta.

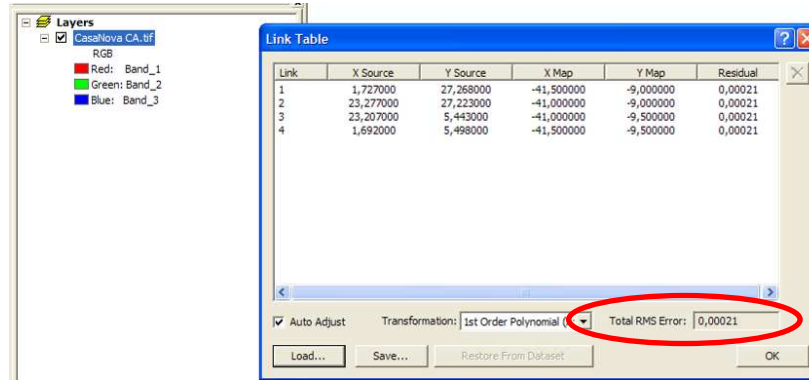


Figura 18 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Casa Nova

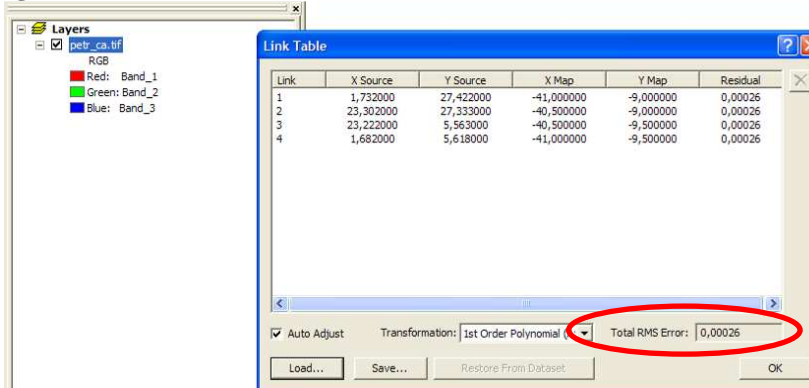


Figura 19 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Petrolina

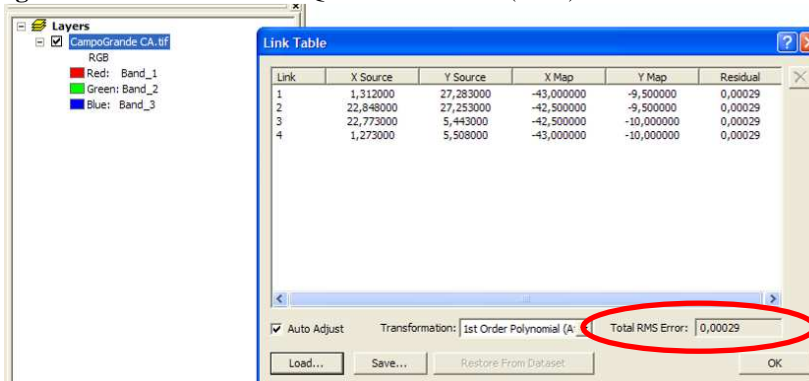


Figura 20 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Campo Grande

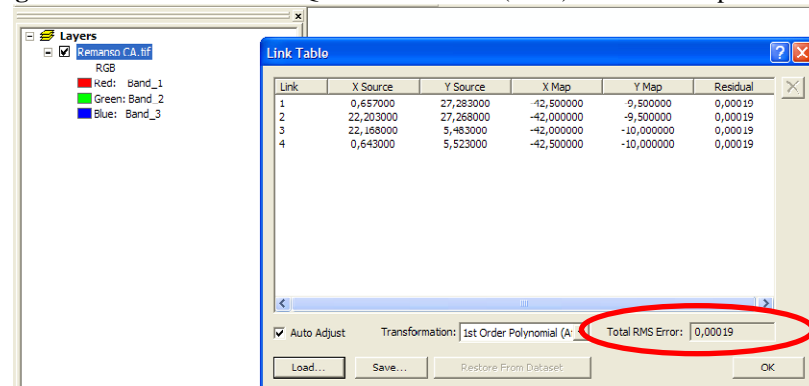


Figura 21 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Remanso

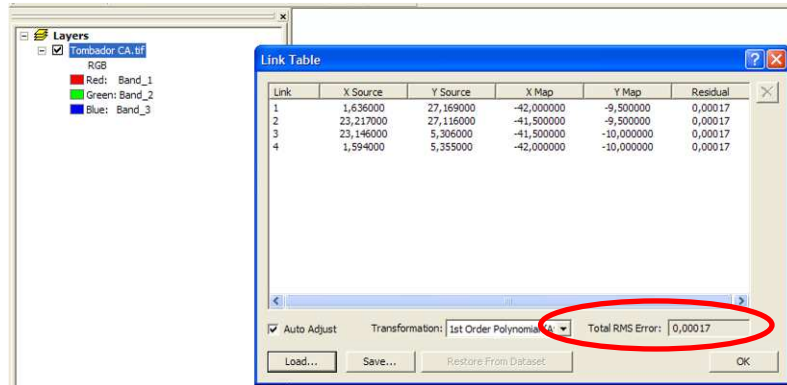


Figura 22 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Tombador

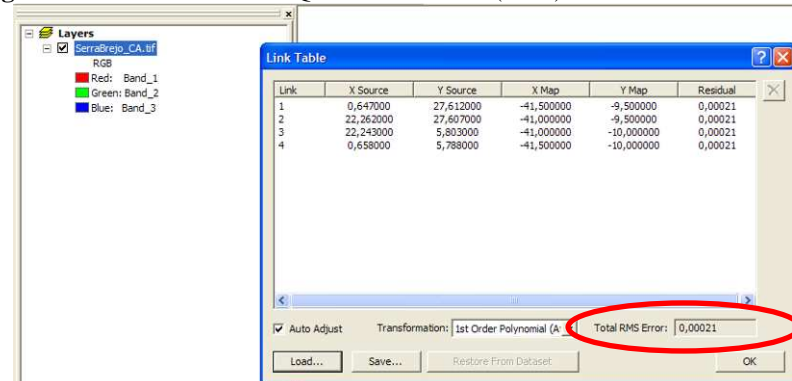


Figura 23 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Serra do Brejinho

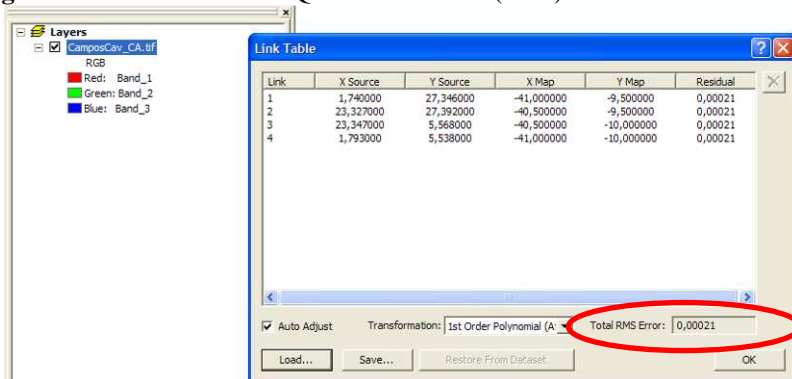


Figura 24 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Campo dos Cavalos

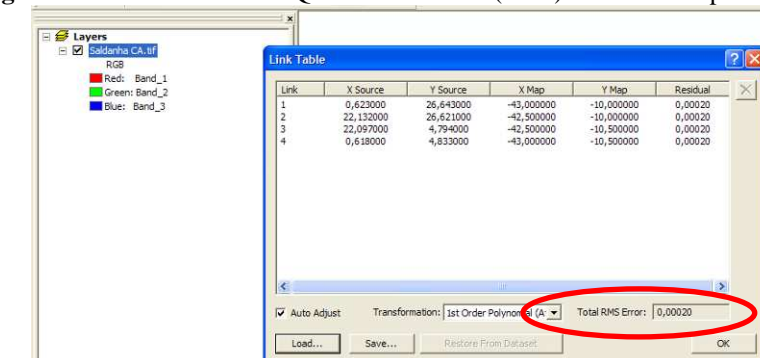


Figura 25 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Saldanha