



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

VIVIAN DA SILVA CELESTINO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE ALTIMÉTRICA
PARA PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS**

**FLORIANÓPOLIS
2014**

**UNIVERSIDADE FEDEAL DE SANTA CATAINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

VIVIAN DA SILVA CELESTINO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE ALTIMÉTRICA
PARA PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do título de DOUTOR em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Jürgen Wilhelm Philips,
Dr.-Ing.

**Florianópolis
2014**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Celestino, Vivian da Silva

Considerações Sobre a Qualidade Altimétrica para Projetos de Usinas Hidrelétricas/ Vivian da Silva Celestino; orientador, Jürgen Wilhelm Philips;– Florianópolis, SC; 2014.

347 pg.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. exatidão altimétrica. 3. cartografia. 4. relevo. 5. morfologia. I. Philips, Jürgen Wilhelm. II. Universidade Federal de Santa Catarina. III. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

VIVIAN DA SILVA CELESTINO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE ALTIMÉTRICA
PARA PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS**

A presente Tese de Doutorado foi julgada e aprovada como requisito final para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC).

Florianópolis, 06 de junho de 2014.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Ph.D.
Coordenador do PPGEC/UFSC

Prof. Jürgen Wilhelm Philips, Dr. - Ing.
Orientador - UFSC/ECV

Comissão Examinadora:

Prof. Quintino Dalmolin, Dr.– UFPR

Prof. João Carlos Chaves, Dr.– UNESP

Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.- PPGEC/UEDESC

Prof^a. Dora Maria Orth, Dr^a. – UFSC/ECV

Prof. Jucilei Cordini, Dr. - UFSC/ECV

EPÍGRAFE

Também no conhecer sinto somente a alegria de tornar-me e de gerar; e se há inocência em meu conhecimento, isso ocorre porque nele há vontade de gerar.

Friedrich Nietzsche

Admito: o homem é, acima de tudo, um animal que constrói, condenado a buscar conscientemente um objetivo e exercer a arte da engenharia, ou seja, a abrir caminho para si mesmo incessante e eternamente, não importando aonde esse caminho o leve.

Fiódor Dostoiévski

AGRADECIMENTOS

As escolas de minha vida: Escola Estadual Nísia Floresta (ensino fundamental), Escola Estadual Cecília Meireles (ensino fundamental e médio), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Curso Técnico em Hidrologia, Graduação em Engenharia Cartográfica e Mestrado em Sensoriamento Remoto) e Universidade Federal de Santa Catarina (Doutorado em Engenharia Civil).

À Eletrosul e ao meu chefe de setor, Samuel Abati, por ter cedido os dados e as informações utilizadas neste trabalho.

Ao meu antigo gerente de Departamento, Breno Vielitz Neto, por ter autorizado minha participação no curso de disciplinas do doutorado e por sugerir o tema do trabalho.

Ao meu antigo chefe de setor Wanderley Pereira Machado, pela credibilidade e pelo apoio incondicional.

Aos meus queridos companheirinhos de cotidiano: Mateus e Maria Eduarda.

Especialmente agradeço, à maior descoberta da minha vida: Rafael Reginato Moura, por permitir uma vida de amor e respeito nunca vivida anteriormente.

RESUMO

Usinas hidrelétricas causam impactos que são usualmente estimados por um indicador que é a potência hidrelétrica produzida por hectare de área inundada e, apesar dos empreendedores utilizarem bases cartográficas com qualidade declarada para atender às normas até as etapas de projeto, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos, tornando-se, na consolidação, um grande problema. Este trabalho versa sobre qualidade altimétrica necessária a suprir as demandas de projetos hidrelétricos e à legislação cartográfica Nacional e Internacional. Para atender aos objetivos foi desenvolvido um método para avaliar a qualidade de bases altimétricas priorizando a morfologia, de forma que as informações altimétricas provenientes das bases e dos levantamentos de campo, quando confrontadas, apresentem suas reais diferenças. Para tanto foram utilizadas três áreas de estudo. Para validar as bases foram realizadas avaliações pontuais de qualidade de acordo com a legislação nacional e internacional. No final, foi apresentada a proposta de avaliação morfológica que levou em consideração os relevos das regiões, as possíveis tendências sistemáticas e os consequentes reflexos ocasionados pela demarcação gráfica das superfícies simuladas. Para cada base testada foi indicada qual etapa de projeto de hidrelétrica a mesma pode ser utilizada.

Palavras chaves: exatidão altimétrica, cartografia, relevo, morfologia, modelos digitais de elevação.

ABSTRACT

Hydro power plants cause impacts that are usually estimated by hydroelectric power per hectare of flooded area produced indicator. Despite cartographic databases with stated quality are usually used by entrepreneurs to achieve the projects standards, the bases tolerance altimetry is not security enough checked to avoid impacts increasing becoming in a big issue. This thesis examines the hydropower projects demands and the national and international altimetry quality laws. A method developed to meet the goal evaluate the altimetry bases quality prioritizing morphology. The altimetry information from databases and field surveys were crossed presenting their real differences. Three study areas were used. Specific quality assessments according to national and international legislation were made to validate the bases. The proposed morphological evaluation considering the region topography, the systematic trends possibilities and the resulting reflections caused by simulated surfaces graphical demarcation was ended presented. The bases tested had the use indication for each hydropower project step.

Keywords: altimetry accuracy, cartography, relief, morphology, digital elevation models.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

2D - Duas Dimensões

3D - Três Dimensões

AC - Área Comum formada pela interseção dos polígonos da curva de referência e da curva simulada/resimulada

AD - Área de Dentro formada pelos polígonos situados entre a curva de referência e a curva simulada/resimulada

AF - Área de Fora formada pelos polígonos situados entre a curva simulada/resimulada e a curva de referência.

ALS - Airborne Laser Scanner

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

AT - Área Total formada pela união dos polígonos das curvas de referência e simulada/resimulada

BIG - Banco de Informações de Geração

CEMIG - Centrais Elétricas de Minas Gerais

CGH - Central Geradora Hidrelétrica

CGIAR CSI – International Research Centers Consortium for Spatial Information

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CNAEE - Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica

CNG - Conselho Nacional de Geografia

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental

CTRS – Conventional Terrestrial Reference System

DEM - Digital Elevation Model

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação

DM - Declividade Média

DNAE - Departamento Nacional de Águas e Energia

DoD - Department of Defense

DRA - Diretoria de Rotas Aéreas

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico

EGM 96 - Earth Gravitational Model of 1996
EIA - Estudo de Impacto Ambiental
Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMQ - Erro Médio Quadrático
EP - Erro Padrão
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EQM - Erro Quadrático Médio
ERSDAC - Earth Resources Data Analysis Center
ET-PCDG - Especificações Técnicas Relativas aos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais
EUA - Estados Unidos da América
FEMA - Federal Emergency Management Agency
FGDC - Federal Geographic Data Committee
FIBGE - Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GDEM - Global Digital Elevation Model
GNSS - Global Navigation Satellite System
GRS 80 - Geodetic Reference System of 1980
Ha - Hectare
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW - Inverse Distance Weighting
IEA - International Energy Agency
INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITHD – Interferometric Terrain Height Data
ITRF - International Terrestrial Reference Frame
JPL - Jet Propulsion Laboratory
km² - Quilômetros Quadrados
kW - Kilo Watt
LAS - LIDAR Data Exchange Format Standard
LCN - Longitude das Curvas de Nível
LI - Licença de Instalação
LIDAR - Light Detection and Ranging
LO - Licença de Operação
LP - Licença Prévia

MCH - Minicentrals Hidrelétricas
MDE - Modelo Digital de Elevação
MDEHC - Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionados
MDS - Modelo Digital de Superfície
MDT - Modelo Digital de Terreno
METI - Ministério do Comércio Internacional e Indústria do Japão
MME - Ministério das Minas e Energia
MW - Mega Watt
MWh - Mega Watt hora
NA - Nível de Alagamento
NA - Nível de Alagamento ou área formada pelo polígono da curva de referência
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NCGS - North Carolina Geodetic Survey
NDEP - National Digital Elevation Program
NIMA – National Imagery and Mapping Agency
NMAS - National Map Accuracy Standards
NSSDA - National Standard for Spatial Data Accuracy
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
P - Potência
PAP – PCD - Padrão de Acurácia e Precisão para Produtos Cartográficos Digitais
PBA - Projeto Básico Ambiental
PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas
PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico
PEC-PCDG - Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais
PNE - Plano Nacional de Energia
RADAR – Radio Detection and Ranging
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
RMSE - Root Mean Square Error
RN - Referência de Nível
SAD 69 - South American Datum of 1969
SAR – Synthetic Aperture Radar

SGB - Sistema Geodésico Brasileiro
SGH - Superintendência de Gestão e Estudos Hidroenergéticos
SGR - Sistema Geodésico de Referência
SI - Área Simulada formada pelo polígono da curva simulada/resimulada
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SIN - Sistema Interligado Nacional
SIPOT - Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico das Américas
SONAR - Sound, Navigation and Ranging
SRTM - Space Shuttle Topography Mission
STANAG - Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data
TWh - Tera Watt hora
U - União ou conjunto união de todos os polígonos relacionados espacialmente
UE - Usina Hidrelétrica
USGS - United States Geological Survey
WGS 84 - World Geodetic System of 1984

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Potência hidrelétrica produzida por hectare de área inundada no Brasil.....	38
Quadro 2:	Classes de cartas PEC.....	62
Quadro 3:	Classes de cartas PAP – PCD – planimetria.....	63
Quadro 4:	Classes de cartas PAP - PCD – altimetria.....	63
Quadro 5:	Exatidão Horizontal STANAG 2215.....	65
Quadro 6:	Exatidão Vertical STANAG 2215.....	65
Quadro 7:	Relação entre inclinação e declividade.....	92
Quadro 8:	Classes de declividade.....	95
Quadro 9:	Dimensões das Bases de Referência.....	202
Quadro 10:	Indicador de M&P para PCH's.....	263
Quadro 11:	Indicador de M&P para os NAs de referência.....	264
Quadro 12:	Indicador M&P para os SIs dos produtos testados..	265
Quadro 13:	Avaliações de qualidade dos produtos da UHEPSJ.	304
Quadro 14:	Avaliações de qualidade dos produtos da UHESD.	306
Quadro 15:	Avaliações de qualidade dos produtos da PCHCOX.....	307
Quadro 16:	Reavaliações de qualidade dos produtos da UHEPSJ.....	309
Quadro 17:	Reavaliações de qualidade dos produtos da UHESD.....	310
Quadro 18:	Reavaliações de qualidade dos produtos da PCHCOX.....	311

LISTA DE TABELA

Tabela 1:	Parâmetros dos Sistemas Geodésicos.....	71
Tabela 2:	Expectativa de exatidão planimétrica.....	127
Tabela 3:	Expectativa de exatidão altimétrica.....	128
Tabela 4:	Definição do número de pontos de controle.....	130
Tabela 5:	UHEPSJ – Pontos de Controle e suas Respectivas Coordenadas.....	131
Tabela 6:	UHESD – Pontos de Controle e suas Respectivas Coordenadas.....	132
Tabela 7:	CHCOX – Pontos de Controle e suas Respectivas Coordenadas.....	134
Tabela 8:	UHEPSJ – Cotas Interpoladas da Base Fotogramétrica 1.....	137
Tabela 9:	UHEPSJ – Cotas Interpoladas da Base Cartográfica 1.....	138
Tabela 10:	UHEPSJ – Cotas Interpoladas da base SRTM 1....	139
Tabela 11:	UHEPSJ – Cotas Interpoladas da base ASTER 1...	140
Tabela 12:	UHESD – Cotas Interpoladas da Base Fotogramétrica 2.....	141
Tabela 13:	UHESD – Cotas Interpoladas da Base Cartográfica 2.....	142
Tabela 14:	UHESD – Cotas Interpoladas da Base SRTM 2....	143
Tabela 15:	UHESD – Cotas Interpoladas da Base ASTER 2...	144
Tabela 16:	PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base Fotogramétrica 3.....	145
Tabela 17:	PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base Cartográfica 3.....	146
Tabela 18:	PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base SRTM 3..	147
Tabela 19:	PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base ASTER 3.	148
Tabela 20:	Diferenças de cota das bases testadas da UHEPSJ.	158
Tabela 21:	UHEPSJ - Retirada da Tendência Sistemática da Base SRTM 1.....	161
Tabela 22:	UHEPSJ - Retirada da Tendência Sistemática da Base ASTER 1.....	162
Tabela 23:	Diferenças de cota das bases testadas da UHESD	165
Tabela 24:	UHESD - Retirada da Tendência Sistemática da Base Cartográfica 2.....	167

Tabela 25:	UHESD - Retirada da Tendência Sistemática da Base SRTM 2.....	169
Tabela 26:	UHESD - Retirada da Tendência Sistemática da Base ASTER 2.....	170
Tabela 27:	Diferenças de cota das bases testadas da PCHCOX.....	173
Tabela 28:	PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base Fotogramétrica 3.....	175
Tabela 29:	PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base Cartográfica 3.....	176
Tabela 30:	PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base SRTM 3.....	178
Tabela 31:	PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base ASTER 3.....	180
Tabela 32:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base SRTM 1 da UHEPSJ.....	182
Tabela 33:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base ASTER 1 da UHEPSJ.....	183
Tabela 34:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base Cartográfica 2 da UHESD.....	184
Tabela 35:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base SRTM 2 da UHESD.....	185
Tabela 36:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base ASTER 2 da UHESD.....	186
Tabela 37:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX.....	187
Tabela 38:	PEC/STANAG - Reenquadramento Base Cartográfica 3 da PCHCOX.....	188
Tabela 39:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base SRTM 3 da PCHCOX.....	189
Tabela 40:	PEC/STANAG – Reenquadramento Base ASTER 3 da PCHCOX.....	191
Tabela 41:	UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.....	203
Tabela 42:	UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.....	203
Tabela 43:	UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.....	205
Tabela 44:	UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m.....	206
Tabela 45:	UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota	

	simulada 130 m.....	207
Tabela 46:	UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota resimulada 135 m.....	208
Tabela 47:	UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota simulada 130 m.....	209
Tabela 48:	UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota resimulada 135 m.....	210
Tabela 49:	UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.....	211
Tabela 50:	UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m.....	212
Tabela 51:	UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m.....	213
Tabela 52:	UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.....	214
Tabela 53:	UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota simulada 345 m.....	215
Tabela 54:	UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.....	216
Tabela 55:	UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota simulada 345 m.....	217
Tabela 56:	UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota resimulada 352 m.....	218
Tabela 57:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.....	220
Tabela 58:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.....	220
Tabela 59:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.....	220
Tabela 60:	PCHCOX – Dimensões Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.....	222
Tabela 61:	PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota simulada 870 m.....	223
Tabela 62:	PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.....	224
Tabela 63:	PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota simulada 870 m.....	225
Tabela 64:	PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota resimulada 876 m.....	226
Tabela 65:	UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.....	227

Tabela 66:	UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.....	228
Tabela 67:	UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.....	230
Tabela 68:	UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m.....	231
Tabela 69:	UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota simulada 130 m.....	233
Tabela 70:	UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota resimulada 135 m.....	233
Tabela 71:	UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota simulada 130 m.....	235
Tabela 72:	UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota resimulada 135 m.....	236
Tabela 73:	UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.....	238
Tabela 74:	UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m.....	238
Tabela 75:	UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m.....	240
Tabela 76:	UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.....	241
Tabela 77:	UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota simulada 345 m.....	243
Tabela 78:	UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.....	243
Tabela 79:	UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota simulada 345 m.....	245
Tabela 80:	UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota resimulada 352 m.....	246
Tabela 81:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.....	248
Tabela 82:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.....	248
Tabela 83:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.....	249
Tabela 84:	PCHCOX – Dimensões Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.....	251
Tabela 85:	PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota simulada 870 m.....	253
Tabela 86:	PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota	

	resimulada 880 m.....	253
Tabela 87:	PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota simulada 870 m.....	255
Tabela 88:	PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota resimulada 880 m.....	255

LISTA DE FIGURA

Figura 1:	Cálculo da inclinação de uma encosta.....	92
Figura 2:	Cálculo da declividade.....	92
Figura 3:	Formas de relevo.....	94
Figura 4:	Curvas de Nível.....	96
Figura 5:	Interpolação de altitudes entre curvas de nível.....	98
Figura 6:	Linha de Descendência Máxima.....	104
Figura 7:	Interpolação linear.....	105
Figura 8:	Interpolação não linear.....	105
Figura 9:	Extrapolação linear.....	106
Figura 10:	Extrapolação não linear.....	106
Figura 11:	UHEPSJ – Vista Panorâmica.....	113
Figura 12:	UHESD – Fotografia Simulada.....	114
Figura 13:	PCHCOX – Fotografia.....	115
Figura 14:	UHEPSJ – Curvas de Nível Setorizadas.....	125
Figura 15:	UHESD – Curvas de Nível.....	126
Figura 16:	PCHCOX – Curvas de Nível.....	127
Figura 17:	UHEPSJ – Distribuição dos Pontos de Controle.....	135
Figura 18:	UHESD – Distribuição dos Pontos de Controle.....	136
Figura 19:	PCHCOX – Distribuição dos Pontos de Controle... ..	136
Figura 20:	Gráfico de dispersão da UHEPSJ.....	160
Figura 21:	Gráfico de dispersão da UHEPSJ sem tendência sistemática.....	164
Figura 22:	Gráfico de dispersão da UHESD.....	166
Figura 23:	Gráfico de dispersão da UHESD sem tendência sistemática.....	172
Figura 24:	Gráfico de dispersão da PCHCOX.....	174
Figura 25:	Gráfico de dispersão da PCHCOX sem tendência sistemática.....	181
Figura 26:	UHEPSJ – MDE Base Fotogramétrica 1.....	192
Figura 27:	UHEPSJ – MDE Base Cartográfica 1.....	193
Figura 28:	UHEPSJ – MDE Base SRTM 1.....	194
Figura 29:	UHEPSJ – MDE Base ASTER 1.....	195
Figura 30:	UHESD – MDE Base Fotogramétrica 2.....	196
Figura 31:	UHESD – MDE Base Cartográfica 2.....	197

Figura 32:	UHESD – MDE Base SRTM 2.....	198
Figura 33:	UHESD – MDE Base ASTER 2.....	199
Figura 34:	PCHCOX – MDE Base Fotogramétrica 3.....	200
Figura 35:	PCHCOX – MDE Base Cartográfica 3.....	200
Figura 36:	PCHCOX – MDE Base SRTM 3.....	201
Figura 37:	PCHCOX – MDE Base ASTER 3.....	202
Figura 38:	UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.....	204
Figura 39:	UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.....	204
Figura 40:	UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.....	206
Figura 41:	UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m.....	207
Figura 42:	UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota simulada 130 m.....	208
Figura 43:	UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota resimulada 135 m.....	209
Figura 44:	UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota simulada 130 m.....	210
Figura 45:	UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota resimulada 135 m.....	211
Figura 46:	UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.....	212
Figura 47:	UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m.....	213
Figura 48:	UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m.....	214
Figura 49:	UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.....	215
Figura 50:	UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota simulada 345 m.....	216
Figura 51:	UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.....	217
Figura 52:	UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota simulada 345 m.....	218
Figura 53:	UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota resimulada 352 m.....	219
Figura 54:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.....	221

Figura 55:	PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.....	221
Figura 56:	PCHCOX – Dimensões Base fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.....	222
Figura 57:	PCHCOX – Dimensões Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.....	223
Figura 58:	PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota simulada 870 m.....	224
Figura 59:	PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.....	225
Figura 60:	PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota simulada 870 m.....	226
Figura 61:	PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota resimulada 876 m.....	227
Figura 62:	UHEPSJ – Apresentação base fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.....	229
Figura 63:	UHEPSJ – Apresentação base fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.....	230
Figura 64:	UHEPSJ – Apresentação base cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.....	232
Figura 65:	UHEPSJ – Apresentação base cartográfica 1 cota simulada 130 m.....	232
Figura 66:	UHEPSJ – Apresentação base SRTM 1 cota simulada 130 m.....	234
Figura 67:	UHEPSJ – Apresentação base SRTM 1 cota resimulada 135 m.....	235
Figura 68:	UHEPSJ – Apresentação base ASTER 1 cota simulada 130 m.....	237
Figura 69:	UHEPSJ – Apresentação base ASTER 1 cota resimulada 135 m.....	237
Figura 70:	UHESD – Apresentação base fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.....	239
Figura 71:	UHESD – Apresentação base fotogramétrica 2 cota restituída 345.....	240
Figura 72:	UHESD – Apresentação base cartográfica 2 cota simulada 345 m.....	242
Figura 73:	UHESD – Apresentação base cartográfica 2 cota resimulada 340 m.....	242
Figura 74:	UHESD – Apresentação base SRTM 2 cota simulada 345 m.....	244
Figura 75:	UHESD – Apresentação base SRTM 2 cota	

	resimulada 350 m.....	245
Figura 76:	UHESD – Apresentação base ASTER 2 cota simulada 345 m.....	247
Figura 77:	UHESD – Apresentação base ASTER 2 cota resimulada 352 m.....	247
Figura 78:	PCHCOX – Apresentação base fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.....	250
Figura 79:	PCHCOX – Apresentação base fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.....	250
Figura 80:	PCHCOX – Apresentação base fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.....	251
Figura 81:	PCHCOX – Apresentação base cartográfica 3 cota resimulada 880 m.....	252
Figura 82:	PCHCOX – Apresentação base SRTM 3 cota simulada 870 m.....	254
Figura 83:	PCHCOX – Apresentação base SRTM 3 cota resimulada 880 m.....	254
Figura 84:	PCHCOX – Apresentação base ASTER 3 cota simulada 870 m.....	256
Figura 85:	PCHCOX – Apresentação base ASTER 3 cota resimulada 880 m.....	257
Figura 86:	UHEPSJ – Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m (PB).....	271
Figura 87:	UHEPSJ – Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m (DB).....	271
Figura 88:	UHEPSJ – Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.....	272
Figura 89:	UHEPSJ – Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m (PB).....	273
Figura 90:	UHEPSJ – Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m (DB).....	274
Figura 91:	UHEPSJ – Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m (PB).....	274
Figura 92:	UHEPSJ – Base Cartográfica cota simulada 130 m (DB).....	275
Figura 93:	UHEPSJ – Base SRTM 1 cota simulada 130 m (PB).....	276
Figura 94:	UHEPSJ – Base SRTM 1 cota simulada 130 m (DB).....	277
Figura 95:	UHEPSJ – Base SRTM 1 cota resimulada 135 m (PB).....	277

Figura 96:	UHEPSJ – Base SRTM 1 cota resimulada 135 m (DB).....	278
Figura 97:	UHEPSJ – Base ASTER 1 cota simulada 130 m (PB).....	279
Figura 98:	UHEPSJ – Base ASTER 1 cota simulada 130 m (DB).....	280
Figura 99:	UHEPSJ – Base ASTER 1 cota resimulada 135 m (PB).....	280
Figura 100:	UHEPSJ – Base ASTER 1 cota resimulada 135 m (DB).....	281
Figura 101:	UHESD – Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m (detalhe).....	282
Figura 102:	UHESD – Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m (detalhe).....	283
Figura 103:	UHESD – Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m (detalhe).....	284
Figura 104:	UHESD – Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.....	285
Figura 105:	UHESD – Base SRTM 2 cota simulada 345 m (PB).....	286
Figura 106:	UHESD – Base SRTM 2 cota simulada 345 m (DB).....	287
Figura 107:	UHESD – Base SRTM 2 cota resimulada 350 m....	287
Figura 108:	UHESD – Base ASTER 2 cota simulada 345 m (PB).....	289
Figura 109:	UHESD – Base ASTER 2 cota simulada 345 m (DB).....	289
Figura 110:	UHESD – Base ASTER 2 cota resimulada 352 m (PB).....	290
Figura 111:	UHESD – Base ASTER 2 cota resimulada 352 m (DB).....	290
Figura 112:	PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m (PB).....	292
Figura 113:	PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m (DB).....	293
Figura 114:	PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m (PB).....	293
Figura 115:	PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m (DB).....	294
Figura 116:	PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota	

	resimulada 875 m.....	294
Figura 117:	PCHCOX – Base Cartográfica 3 cota simulada 870 m.....	295
Figura 118:	PCHCOX – Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.....	296
Figura 119:	PCHCOX – Base SRTM 3 cota simulada 870 m (PB).....	297
Figura 120:	PCHCOX – Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.....	298
Figura 121:	PCHCOX – Base ASTER 3 cota simulada 870 m (PB).....	299
Figura 122:	PCHCOX – Base ASTER 3 cota simulada 870 m (DB).....	300
Figura 123:	PCHCOX – Base ASTER 3 cota resimulada 876 m.....	300

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	35
1.1	Justificativa.....	37
1.2	Objetivos.....	43
1.3	Hipóteses.....	43
1.4	Organização da Tese.....	43
2.	RESVISÃO DE LITERATURA.....	45
2.1	Energia Elétrica no Brasil.....	45
2.1.1	Legislação do Setor Elétrico.....	47
2.1.2	Etapas de Estudos e Projetos para Implantação de Hidrelétricas.....	50
2.1.3	Regulamentação dos Projetos Hidrelétricos.....	54
2.1.4	Coleta e Análise de Dados.....	55
2.1.5	Considerações.....	58
2.2	Legislação e Qualidade Cartográfica.....	59
2.2.1	Legislação Cartográfica Brasileira.....	61
2.2.2	Legislação Cartográfica Internacional.....	64
2.2.3	Considerações Acerca da Qualidade Cartográfica.....	67
2.3	Geodésia.....	68
2.4	Fontes de Informações Altimétricas.....	71
2.4.1	Levantamentos de Campo.....	71
2.4.2	Levantamentos Remotos.....	75
2.4.3	Sistemas Ativos de Levantamentos Remotos.....	77
2.4.4	Sistemas Passivos de Levantamentos Remotos.....	81
2.4.5	Cartografia Sistemática Brasileira.....	83
2.5	Topologia, Morfologia e Representação do Relevo.....	86
2.5.1	Geomorfologia e Relevo.....	88
2.5.2	Morfologia Matemática.....	90
2.5.3	Aspectos do Relevo.....	90
2.6	Modelo Digital de Elevação – MDE.....	98
2.7	Teoria Elementar da Amostragem e da Decisão Estatística.....	100
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	113
3.1	Definição e Identificação das Áreas de Estudo.....	113
3.2	Materiais.....	115
3.3	Método.....	117
3.3.1	Definição do Método de Avaliação da Qualidade por	

	Ponto de Controle.....	117
3.3.2	Definição do Método de Avaliação Morfológica.....	119
3.3.3	Definição das Aplicações.....	123
4.	RESULTADOS.....	125
4.2	Classificação do Relevo das Áreas de Estudo.....	125
4.3	Avaliação da Qualidade por Ponto de Controle.....	127
4.3.1	Cálculo da expectativa de exatidão a priori dos produtos testados.....	127
4.3.2	Levantamento dos pontos controle.....	128
4.3.3	Discretização das bases de referência.....	129
4.3.4	Quantidade de pontos de controle.....	129
4.3.5	Distribuição dos pontos de controle.....	130
4.3.6	Interpolação dos pontos de controle.....	136
4.3.7	Enquadramento no PEC.....	149
4.3.8	Enquadramento no STANAG 2215.....	154
4.3.9	Análise de Tendência.....	158
4.3.10	Reenquadramento no PEC e no STANAG.....	182
4.4	Método de Avaliação Morfológica.....	192
4.4.1	Geração de Modelos Digitais de Elevação.....	192
4.4.2	Avaliação de acordo com o Código Civil Brasileiro.....	202
4.4.3	Avaliação Morfológica Quantitativa.....	227
4.4.4	Aplicação às Etapas de Projetos de Hidrelétricas.....	257
4.4.5	Aplicação ao Indicador de Moreira e Polle – M&P.....	262
4.4.6	Método de Avaliação Morfológica – Considerações.....	269
5.	RESUMO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	301
5.1	Resumo dos Resultados.....	301
5.2	Análise dos Resultados.....	311
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	325
6.1	Conclusões.....	325
6.2	Recomendações.....	329
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	331
	APÊNDICES - CD.....	347

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é composta, predominantemente, por recursos hídricos, aproximadamente 14,2% dos 113 trilhões de m³ de toda a água doce existente no mundo, distribuídos por nove grandes Bacias Hidrográficas.

O cenário atual do parque gerador de energia elétrica brasileiro é reflexo desta abundância hídrica, possuindo uma capacidade instalada para produção fornecida principalmente pelas usinas hidrelétricas, ou seja, aproximadamente 74% de toda a geração e 82.159 Mega Watt (MW) de potência instalada.

No passado, o parque hidrelétrico chegou a representar 90% da capacidade instalada. Esta redução tem três razões. Primeira, a necessidade da diversificação da matriz elétrica revista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança do abastecimento. Segunda, a dificuldade em ofertar novos empreendimentos hidráulicos pela ausência da oferta de estudos e inventários. A terceira, o aumento de entraves jurídicos que protelam o licenciamento ambiental de usinas de fonte hídrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 2008).

Os recursos hídricos são corpos físicos compostos basicamente por lagos, lagoas, rios, arroios, entre outros. Tais corpos possuem características dinâmicas devido à atuação das forças físicas da Terra, principalmente a gravitacional, que atrai as águas para as regiões de alta pressão, ou seja, movimenta as águas para as regiões de baixas altitudes até o encontro com o oceano ou uma barreira natural ou artificial.

“Toda a água que cai sobre o solo, abstração feita da que se evapora ou se infiltra, vai ter ao mar, por mais afastado que esteja o litoral do ponto de partida e por mais fraca que seja a declividade do terreno na região percorrida (ESPARTEL, 1965).”

Quando o fluxo das águas encontra um anteparo artificial, ou seja, uma barragem e passa por uma usina é gerada uma energia, denominada hidrelétrica.

As hidrelétricas, com exceção de pouquíssimas usinas a fio d'água, utilizam reservatórios para equalizar as vazões da água que move as turbinas. Essas barragens são construídas preferencialmente em gargantas estreitas, com grande profundidade e relativamente pequenas áreas inundadas. Esse foi o caso da hidrelétrica de Paulo Afonso (Bahia), da Hoover Dam (próxima ao Grand Canyon e que viabilizou o crescimento de Las Vegas) e das barragens construídas nos Alpes. Como são poucos os lugares que reúnem tais condições, constroem-se também as barragens de concreto e enrocamento (pedras e terra) com altura menor e grande comprimento, o que inunda vastas extensões superficiais (GOLDEMBERG E LUCON, 2008).

Nos últimos 30 anos, de acordo com levantamentos da *International Energy Agency* (IEA), a oferta de energia hidrelétrica aumentou em apenas dois locais do mundo: Ásia, em particular na China, e América Latina, em função do Brasil, país em que a hidreletricidade responde pela maior parte da produção da energia elétrica (ANEEL, 2008).

De acordo com o estudo sobre hidroeletricidade do Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), são notáveis as taxas de aproveitamento da França, Alemanha, Japão, Noruega, Estados Unidos e Suécia, em contraste com as baixas taxas observadas em países da África, Ásia e América do Sul. No Brasil, o aproveitamento do potencial hidráulico é da ordem de 30%.

Em 2010, de acordo com a revista *Análise e Energia* (2012), os maiores geradores de energia elétrica do mundo foram a China com 549 Tera Watt hora (TWh) de potência instalada, seguida do Brasil com 387, o Canadá com 363, os Estados Unidos com 272, a Rússia com 162, a Noruega com 125 e a Índia com 104.

Mesmo nessas últimas regiões, a expansão não ocorreu na velocidade prevista, porque, apesar de serem consideradas eficientes para geração de energia elétrica, as grandes usinas hidrelétricas causam certos impactos. O principal argumento contrário à construção das hidrelétricas é o impacto provocado sobre o modo de vida da população, da flora e da fauna locais, pela formação, principalmente, de grandes reservatórios e o consecutivo aumento do nível dos rios ou alterações em seu curso, após o represamento.

Hidrelétricas, principalmente as grandes (acima de 500 MW de capacidade instalada), interferem no meio ambiente pela construção de grandes represas, formação de lagos e interferência geral sobre os fluxos dos rios e migração de peixes. A realocação das populações é um problema social de magnitude em muitos casos (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Os maiores entraves à expansão hidrelétrica do país, além dos de natureza ambiental, são os judiciais e legais, devido à dificuldade para obtenção do licenciamento ambiental provocada por questionamentos na justiça, ações e liminares.

1.1 Justificativa

O impacto de um empreendimento hidrelétrico pode ser usualmente estimado por um indicador que é a potência produzida em kilo Watt (kW) por hectare (ha) de reservatório. Quanto maior for esse número, menores são os possíveis impactos sobre o meio ambiente. O QUADRO 1 fornece alguns exemplos das usinas hidrelétricas existentes no Brasil (MOREIRA e POLLE, 1993; GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

No QUADRO 1, destaca-se o caso da usina Balbina, localizada no rio Uatumã na Bacia Amazônica, notória como um desastre ecológico por possuir área inundada de 2.360 quilômetros quadrados (km²) e potencial energético de apenas 250 mW.

QUADRO 1: Potência hidrelétrica produzida por hectare de área inundada no Brasil.

Usina (existente ou em construção)	Potência (MW)	Potência (kW)/Área (ha)
Paulo Afonso I, II e III	1417,2	2952,5
Paulo Afonso IV	2462,4	1908,8
Xingu	5000	588,2
Belo Monte	11230	218
Segredo	1260	152,7
Jirau	3300	128
Itá	1620	116,7
Itaipu	12600	93,6
Santo Antônio	3150	90
Belo Monte	11000	89,8
Teles Pires	1800	54
Santa Isabel	1090	46
Machadinho	1200	45,8
Estreito	1087	27
Garabi	1800	22,5
Itaparica	1500	18,0
Balbina	250	1,1

Fonte: Moreira e Polle (1993); Goldemberg e Lucon (2008).

De acordo com Moreira e Polle (1993), a área inundada por usinas hidrelétricas é, geralmente, mais valiosa do que a região circundante da usina como um todo, um ponto que é muitas vezes esquecido, mas que deve ser considerado quando se compara com outras opções de energia renovável. A terra explorada por este último deve ser menos valiosa, tanto em termos econômicos quanto ecológicos. O cálculo da capacidade instalada de uma hidrelétrica com base na área inundada é uma medida aproximada que causa impacto ambiental, pois muitas hidrelétricas variam enormemente esta medida na implantação.

De acordo com a revista *Análise Energia* (2012), as Usinas de Jirau, de Santo Antônio, de Teles Pires, de Estreito e de Santa Isabel estão sendo construídas ou já foram outorgadas e, de Belo Monte no Rio Xingu, no Estado do Pará, que tem previsão de entrar em operação em 2015, quando estiver concluída será a maior hidrelétrica do País.

O alagamento é um indicador importante para o impacto ambiental de hidrelétricas, mas não o único. Dentre os impactos, destacam-se: remoção de populações (inclusive as indígenas tradicionais), alteração no regime dos rios a jusante, assoreamento a montante, barreiras à migração de peixes, proliferação de algas, aguapés e mosquitos, extinção de espécies endêmicas, perda de patrimônio histórico, arqueológico e turístico. Devem ser considerados também os riscos associados ao rompimento das barragens (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Os opositores à construção de usinas argumentam que as construções provocam impacto na vida da população, na flora e fauna locais e interferem no traçado natural e no volume de água dos rios.

É necessário construir novas usinas – com impacto socioambiental mínimo - para produzir a energia suficiente para o crescimento econômico e ampliação da oferta de empregos (ANEEL, 2008).

O preço da hidreletrecidade é um dos mais baratos entre as alternativas disponíveis no Brasil. O valor por MWh chegou a 102 reais para Jirau no leilão (A - 3) realizado em agosto de 2011. Este valor é maior para as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). No leilão de fontes alternativas de 2010, o preço ficou em 141,93 reais o MWh, mas os investimentos menores e custos de manutenção reduzidos justificam o interesse na modalidade. No entanto, a vantagem diminui muito, especialmente com o aumento das alternativas. O preço da eólica ficou em 99,52 reais por MWh naquele leilão, enquanto o valor das termelétricas a gás ficou em 103,26 reais e a termo de biomassa ficou em 102,41 reais por MWh (ANÁLISE ENERGIA, 2012).

Dentre todas as fontes de energia elétrica, as que mais exigem um estudo aprofundado e integrado, referentes à topografia, geologia, geotecnia, hidrologia e meio ambiente, são as que utilizam os recursos hídricos. Apesar da utilização de bases cartográficas com qualidade declarada para atender às normas da ANEEL e Eletrobras, nas diferentes etapas de implantação de um projeto hidrelétrico, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos socioambientais.

Em termos físicos, em uma bacia hidrográfica, as características de

tipologias de leito, dos canais e de padrões de drenagens, analisadas em conjunto, promovem uma dinâmica peculiar das águas correntes que, associada à geometria e hidráulica, culmina em processos específicos fluviais de erosão, transporte e deposição (CUNHA, 2001).

De acordo com Coelho (2008), em um rio a velocidade das águas sofre variações em diversos setores por onde ela flui.

O dinamismo das águas, associado a vários fatores, define a geomorfologia do relevo das bacias hidrográficas de uma dada região e, devido à complexidade destas formações, as questões altimétricas crescem em importância, tendo em vista que uma definição altimétrica equivocada pode comprometer o cálculo da área de abrangência e do volume de água necessário ao empreendimento hidrelétrico. A utilização de bases cartográficas com qualidade, com suas limitações sendo levadas em consideração pelos empreendedores, é imprescindível para a gestão territorial de possíveis áreas atingidas, pois seu uso pode minimizar os impactos inerentes à implantação de usinas desde as fases de estudos.

Nas diretrizes da ANEEL e Eletrobras verifica-se a necessidade de padronização de uma tolerância altimétrica para aplicação em projetos hidrelétricos, pois este quando desenvolvido com base em dados altimétricos incorretos pode acarretar em dimensionamentos equivocados em relação, principalmente, à cota de inundação e às áreas atingidas pelo alague e de preservação permanente.

Resumidamente, no decorrer do empreendimento, as determinações altimétricas erradas podem comprometer a (o):

- Construção - determinação de locais não ideais às construções civis;
- Caráter socioeconômico - aumento do número de propriedades atingidas;
- Meio ambiente - aumento da área de vegetação que deve ser suprimida;
- Potência energética - diminuição da eficiência energética do empreendimento.

Este trabalho versa sobre padrão de exatidão altimétrico necessário a

suprir as demandas de projetos hidrelétricos para atender à legislação Nacional e Internacional, atrelado à relevância científica e proposta de soluções para diminuir a relação apresentada por Goldemberg e Lucon (2008): potência hidrelétrica produzida por hectare de área inundada. Também apresenta questionamentos em relação à utilização indiscriminada de qualquer produto cartográfico para desenvolvimento de estudos e projetos de hidrelétricas e apresenta as limitações de alguns deles, de forma que os mesmos se mostrem suficientes ou não para minimizar as diferenças entre as informações declaradas nos projetos quando confrontadas com as informações levantadas nos projetos executivos.

O nível de alagamento (NA) pode ser definido como a linha formada pela inundação por água quando do enchimento de um determinado reservatório e sua cota é a mesma em todo o percurso. Serão considerados sinônimos neste trabalho os termos cota de alagamento, cota de alague, nível de inundação e nível de alagamento.

Na implantação de um projeto de grande porte (Pequena Central Hidroelétrica (PCH) ou Usina Hidroelétrica (UHE)) é natural e inevitável que ocorram discrepâncias entre o planejado e o construído, entre as concepções genéricas de um projeto e as realidades das etapas da construção da obra. Diante deste fato o que se busca é a manutenção destas discrepâncias dentro de limites admissíveis, de tal forma que os impactos decorrentes das mesmas, embora possa causar variações relevantes dos quantitativos previstos, não sejam significativos, a ponto de comprometer seriamente os cronogramas e os custos globais do empreendimento. A prática atual, no entanto, tem demonstrado que estes impactos vão muito além dos limites admissíveis, com interferências substanciais no andamento previsto na obra. Tais implicações têm levado a uma profunda rediscussão dos modelos vigentes de contratos de grandes obras (ALMEIDA, 2006).

No Brasil, a opção pela exploração do potencial hidrelétrico ocorreu no período de acelerada industrialização e urbanização, após a Segunda Guerra Mundial. Na época, optou-se por uma exploração do potencial dos rios considerados de planaltos, espalhados por todo país. Dentre esses rios, os que compunham a bacia do rio Uruguai, apresentavam-se com grande potencial devido aos seus desníveis naturais, com várias cachoeiras e quedas d'água no seu curso. Este potencial levou à realização de estudos, na década de setenta do século passado,

resultando na proposta da implantação de 22 barragens destinadas a produção de energia elétrica (CANALI, 2002).

De acordo com Castro (2008), a engenharia busca, na grande maioria das situações, modelos simplificados que representem satisfatoriamente o fenômeno de uma forma adequada, técnica e econômica. A graduação da inexatidão ou incerteza se dá na razão direta da restrição de fenômenos a serem descritos. Quanto maior o campo do conhecimento a ser descrito, ou seja, quanto maior a parcela da natureza, maior a inexatidão ou incerteza envolvida. A autora descreveu os riscos geológicos e geotécnicos associados a projetos de implantação de PCHs. Verificou as dificuldades e incertezas envolvidas na descrição das formações geológicas e materiais naturais (tão variados como os solos e rochas dentro de um projeto na área de engenharia e a sua possível inobservância) e citou a seguinte crítica em relação às práticas de engenharia empregadas:

“A prática da engenharia ao longo do século XX sob o jugo do ‘melhor, mais rápido e mais barato’, esqueceu sua natureza aproximada e essencialmente estatística. Os projetos e orçamentos das obras de engenharia, e, em consequência, os seus contratos, de caráter essencialmente determinístico, contem uma série de aproximações, desde a estimativa de quantitativos, passando pelas propriedades dos materiais naturais, até a modelagem previsional do seu comportamento, todos de natureza essencialmente estatística. Nas obras de infraestrutura essa divergência entre a previsão determinística do contrato e a realidade estatística da obra é mais acentuada, devido a grande interveniência do fator subsolo e, só por acaso, o realizado será igual ao previsto (PITTA ET AL, 2005).”

Devido a limitação de tempo e de recurso, este trabalho tem como foco somente a determinação e limitação geométrica na simulação da linha de alague proveniente de diferentes bases cartográficas. Não serão tratadas outras questões relevantes que devem ser consideradas quando da concepção de um projeto de UHE ou PCH, como determinação de locais ideais às construções civis, o provável número de propriedades atingidas, a quantidade de área de vegetação que deve ser suprimida, entre outros.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método para avaliar a qualidade altimétrica de bases altimétricas, de forma que as informações apresentem suas reais diferenças. Para tanto foram utilizadas três áreas de estudo.

Especificamente, os objetivos são:

- Desenvolver um método de avaliação da qualidade altimétrica de forma não isolada;
- Indicar os produtos altimétricos que podem ser utilizados para simular o nível de alagamento em diferentes etapas de projetos hidrelétricos;
- Determinar a tolerância altimétrica por produto testado;
- Verificar se a qualidade apresentada pelos produtos varia quando utilizados em áreas de diferentes declividades/inclinações.

1.3 Hipóteses

A primeira hipótese é: a inclinação/declividade da área onde será situada a PCH/UHE deve ser levada em consideração no momento de definir quais produtos altimétricos podem ser utilizados nos projetos hidrelétricos? Ou a informação referente à declividade/inclinação é irrelevante nesta definição, podendo ser considerada toda base altimétrica utilizada com distribuição de qualidade homogênea?

A segunda hipótese: somente o método de avaliação altimétrico por ponto isolado, definido na Legislação Brasileira (BRASIL, 1984), é suficiente para validar a qualidade de produtos altimétricos que serão utilizados como base na geração de informações que comporão uma superfície (NA)? Ou é necessário utilizar, além do preconizado em Lei, um método de avaliação que leve em consideração a superfície formada por estes pontos?

1.4 Organização da Tese

Esta tese está organizada em capítulos:

- No primeiro capítulo esta sendo apresentada a justificativa da proposta, o contexto hidroenergético do País, os problemas inerentes à implantação de projetos de hidrelétricas, os objetivos geral e específico, a hipótese da pesquisa e a organização do trabalho;
- No segundo capítulo são apresentadas as conceituações teóricas necessárias ao entendimento do trabalho, como: a energia elétrica no Brasil e sua respectiva legislação, as etapas de projetos de hidrelétricas, a qualidade e a legislação cartográfica nacional e internacional, os produtos e métodos geradores de informações altimétricas, os tipos de interpoladores utilizados e os métodos de amostragem, considerações sobre geomorfologia e relevo, entre outros;
- No terceiro capítulo estão sendo apresentadas as áreas de estudo, os materiais e os métodos utilizados para alcançar os objetivos;
- No quarto capítulo estão sendo apresentados os resultados, as considerações e as análises da pesquisa;
- No último capítulo estão sendo apresentadas as conclusões e as recomendações.

2. RESVISÃO DE LITERATURA

As referências apresentadas, a seguir, versam sobre a energia elétrica no Brasil e sua respectiva legislação, bem como as etapas dos projetos hidrelétricos. Especificamente serão apresentados, também, conceitos acerca de geomorfologia e relevo, métodos diretos e indiretos de levantamento de informações altimétricas, alguns produtos altimétricos disponíveis no mercado, a legislação cartográfica brasileira e os padrões de exatidão internacionais, os modelos digitais de terrenos, métodos de amostragem e interpoladores de superfície, entre outros.

2.1 Energia Elétrica no Brasil

O Brasil vem aproveitando seu potencial hidrelétrico de maneira a tornar o país autossuficiente em energia elétrica, com base em uma fonte renovável, de baixo custo e com tecnologia nacional. Por ser um dos usuários da água, o setor de energia elétrica tem a responsabilidade e o dever de planejar a utilização deste recurso como insumo para a produção de eletricidade de forma racional, otimizada e colocando-se no contexto dos demais usuários do mesmo. Este fator remete, atualmente, a um arcabouço legal e institucional que abrange diferentes órgãos governamentais e permite a participação de diversos agentes (Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT), ELETROBRAS, 2007).

A hidroeletricidade é a energia obtida através da passagem da água numa máquina hidráulica, denominada turbina hidráulica. A potência (P) gerada é proporcional à altura da queda de água e à vazão do líquido. A energia é obtida através da passagem de água, que é liberada em determinada quantidade em uma turbina, que aciona um gerador elétrico. A queda d'água pode ser natural ou artificial, criada por uma barragem.

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, o Brasil contava, em novembro de 2008, com 1768 usinas em operação, que correspondem a uma capacidade instalada de 104.816 MW – número que exclui a participação paraguaia na usina de Itaipu.

Do total de usinas, 159 são hidrelétricas, 1042 térmicas abastecidas por fontes diversas (gás natural, biomassa, óleo diesel ou combustível), 320 PCHs, duas nucleares, 227 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) e uma solar. Este segmento conta com mais de 1100 agentes regulados entre concessionários de serviço público de geração, comercializadores, autoprodutores e produtores independentes (ANEEL, 2008).

No Brasil, de acordo com a Eletrobras (2013), as centrais elétricas são classificadas, de acordo com a potência em:

- Microcentrais Hidrelétricas: $P < 100 \text{ kW}$
- Minicentrais Hidrelétricas (MCH): $100 \text{ kW} \leq P \leq 1000 \text{ kW}$
- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH): $1000 \text{ kW} \leq P \leq 30000 \text{ kW}$
- Grandes Centrais Hidrelétricas ou Usinas Hidrelétricas (UHE): $P > 30000 \text{ kW}$

De acordo com Moreira e Poole (1993), a mesma classificação já é utilizada nos Estados Unidos desde os anos 1980.

O Brasil é um país favorável à implantação de reservatórios devido ao seu grande potencial hídrico. Estes reservatórios têm por finalidade suprir as necessidades de abastecimento d'água, irrigação e fornecimento de energia elétrica, dentre outras. A área do reservatório representa a superfície do terreno inundada pelo represamento da água de um rio, na cota correspondente ao nível máximo de operação. Os reservatórios se caracterizam pela superfície inundada e pela capacidade de geração de energia. Sua capacidade depende do volume ativo de água, que é definido pelos níveis máximos e mínimos operativos (MÜLLER, 1996).

Uma PCH é todo aproveitamento hidrelétrico caracterizado por uma potência instalada entre 1 e 30 MW e área inundada de até $3,0 \text{ km}^2$, para a cheia centenária (RESOLUÇÃO ANEEL 394, 1998). A Lei nº 9648 de 1998 autoriza dispensa de licitações para a implantação de PCHs e a concessão será outorgada mediante autorização, até esse limite de potência. De acordo com Almeida (2006) este conceito pode induzir a ideia de se tratar de um empreendimento de pequeno porte, desvinculado da necessidade de estudos mais detalhados ou com modificações substanciais em relação a projetos de grandes usinas. Na

verdade uma PCH constitui uma obra específica e complexa, que pode incorporar grandes estruturas de barramento e cujos projetos são comumente afetados por condicionantes hidrológicos e geotécnicos tão críticos quanto à de outros projetos de maior parte.

Utilizando o indicador de Moreira e Poole (1993) como parâmetro no caso de uma PCH, ou seja, de 30000 kW de energia gerada para uma área inundada de, no máximo, 300 ha, chega-se ao valor de 100. Este seria o valor mínimo ideal para se considerar viável uma PCH.

Todos os empreendimentos relacionados à geração de energia elétrica são supervisionados pela ANEEL, através da Superintendência de Gestão e Estudos Hidroenergéticos (SGH).

2.1.1 Legislação do Setor Elétrico

No trabalho de Baggio (2003), que investigou de que modo a implantação da UHE Quebra Queixo interferiu nas condições de sobrevivência dos agricultores atingidos, sobretudo em relação a sua reprodução social de ciclo curto, pode ser extraído o histórico abaixo descrito:

“As primeiras hidrelétricas do Brasil foram, quase na sua maioria, iniciativas de empresas privadas internacionais. Com o aumento significativo da demanda é que o Estado entrou como um empreendedor, a fim de aumentar a estrutura existente. Em 1931, Getúlio Vargas regulamentou o aproveitamento e a propriedade das quedas d’água e, em 1934, com a promulgação do Código de Águas (Decreto nº 24.643, de 10 de julho), foi regulamentado o setor de energia elétrica e estabelecida a primeira regulamentação sobre os aproveitamentos hidroenergéticos (SILVA, 1997).

Após o Código de Águas, outros Marcos Institucionais foram criados, tanto para regulamentar, fiscalizar e planejar, quanto para investir em energia elétrica gerada por fonte hidráulica. O Ministério das Minas e Energia (MME) foi criado pela Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960; em 25 de abril de 1961, foram criadas, através da Lei nº 3.390, as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), que absorvem várias das atribuições anteriormente de competência do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), criado em 1939 e diretamente subordinado à Presidência da República. Entretanto, foi com a criação da CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) em 1945; da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) em 1952; de Furnas

Centrais Elétricas em 1957; e da instalação da Eletrobras e suas subsidiárias em 1962, que se intensificou a ação do Estado em relação à produção de energia elétrica no país. Em 1965, a Divisão de Águas foi transformada no Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), que posteriormente passou a ser denominado Departamento de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) (LEME, 2001).

Todavia, pesquisadores, tais como Santos e Henriques (2001), apontam que com a substituição da responsabilidade do Estado Brasileiro através da atuação da Eletrobras e de suas subsidiárias, por uma série de diferentes atores (consórcios privados), em termos de compensação pelos prejuízos decorrentes de projetos de hidroeletricidade, corre-se o risco de haver um retrocesso em termos das conquistas socioambientais das populações locais, que podem ser perdidas neste novo contexto da privatização do setor elétrico, e restará também, pouco espaço para discutir os direitos das populações afetadas.”

A ANEEL foi criada em 1996, através da Lei nº 9.427, logo após o processo de reestruturação do setor elétrico em 1995, quando houve a publicação da Lei de Concessões de Serviços Públicos nº 8.987 e o seu complemento setorial específico (LEI Nº 9.074/95).

Após a sua criação, a ANEEL e o MME têm intermediado as ações que envolvem a regulamentação e a complementação das Leis no Congresso Nacional e no Poder Executivo.

Neste sentido a Lei nº 9433 de 08/01/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e conceitua a bacia hidrográfica como uma unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Neste contexto, a SGH, possui competência para desempenhar suas atividades fundamentadas nos Decretos nº 4.932/2003 e nº 4.970/2003, bem como pela Resolução Normativa nº 116/2004.

Os Decretos nº 4.932 e nº 4.970 dispõem sobre a delegação de competências à ANEEL que compreendem as outorgas de autorização de empreendimentos de energia elétrica e as declarações de necessidade ou de utilidade pública.

De acordo com a Resolução Normativa nº 116 (ANEEL, 2004), que trata da criação da SGH, as atividades de sua competência são:

- Registrar a execução de estudos de inventários e de viabilidade e projetos básicos, tornar público os registros, fixar prazos para apresentação de relatórios, selecionar estudos de inventários concorrentes;
- Analisar os estudos cartográficos, topográficos, hidrológicos, geológico-geotécnicos, o dimensionamento energético e as alternativas de divisão de quedas em cursos d'água, nos termos do §3º, art. 5º, da Lei nº 9.074/1995, referentes aos estudos de inventários de potenciais hidrelétricos, para fins de aprovação;
- Analisar os estudos cartográficos, topográficos, hidrológicos, geológico-geotécnicos, o dimensionamento energético e as alternativas de arranjo referentes aos estudos de viabilidade e projetos básicos de aproveitamentos hidrelétricos, para fins de aprovação;
- Aprovar estudos de inventários, viabilidade e projetos básicos e auditar e reconhecer estes custos nos termos da legislação vigente;
- Autorizar a realização de levantamentos de campo, estipulando a caução, em dinheiro, para eventuais indenizações de danos causados à propriedade;
- Promover a obtenção da declaração de reserva de disponibilidade hídrica necessária à licitação de concessões ou autorização de uso do potencial de energia hidráulica em corpo de água de domínio da União, Estados ou Distrito Federal;
- Acompanhar e avaliar, para fins de aprovação, as atividades de hidrologia desempenhadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) vinculadas ao planejamento e à operação do Sistema Interligado Nacional (SIN);
- Realizar estudos hidroenergéticos referentes aos aproveitamentos hidrelétricos, para fins de avaliação dos impactos das restrições hidráulicas e dos usos múltiplos na geração de energia elétrica; e
- Realizar estudos hidroenergéticos para acompanhamento da evolução tecnológica dos modelos e metodologias aplicadas no planejamento, operação e otimização do SIN.

Para uniformizar as informações e exigências pertinentes a estudos e projetos relacionados à implantação de centrais hidrelétricas no tocante

à cartografia e topografia, a ANEEL disponibiliza diretrizes baseadas nos Manuais e Diretrizes publicadas pela Eletrobras e MME, além das normas técnicas e legislações pertinentes.

A legislação e normas técnicas que são utilizadas como bases pela ANEEL estão listadas a seguir:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro: (ABNT, 1994).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Resolução nº 22/1983. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Resolução nº 23/1989. Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos.
- Decreto-Lei nº 243/1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Resolução nº 01/2005. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro.
- Lei nº 89.817/1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.
- Decreto nº 5.334/2005. Revoga o artigo 22 do Decreto nº 89.817/1984.

2.1.2 Etapas de Estudos e Projetos para Implantação de Hidrelétricas

Cada sítio escolhido para uma usina hidrelétrica é único, com condições topográficas, geológicas e hidrológicas particulares. A concepção de um determinado arranjo é uma arte, normalmente resultado de um processo iterativo, onde várias opções são concebidas, dimensionadas e orçadas para chegar à melhor solução. Por definição, o melhor arranjo para um determinado aproveitamento hidrelétrico é aquele que consegue posicionar todos os elementos do empreendimento de maneira a combinar a segurança requerida pelo projeto e as facilidades de operação e manutenção com o custo global mais baixo. Entretanto, com o objetivo de padronizar, onde forem possíveis, as soluções desenvolvidas para diferentes locais, procura-se definir um conjunto de

critérios básicos que representam a maioria das soluções utilizadas no Brasil (ELETROBRAS, 2007). Os elementos que podem compor o arranjo geral de um aproveitamento hidrelétrico são:

- **Barragem:** estrutura em solo ou concreto construída no vale do rio, da ombreira de uma margem para a da outra, com o objetivo de elevar o nível de água do rio até o nível máximo normal do reservatório;
- **Dique:** estrutura usualmente em solo que fecha eventuais selas topográficas, a fim de evitar fugas da água do reservatório;
- **Sistema de desvio do rio:** localizado junto à barragem com o objetivo de desviar as águas do rio por meio de canal, galerias, adufas, túneis ou mesmo estrangulamento do leito do rio de modo a permitir a construção das estruturas localizadas no leito do rio a seco;
- **Circuito de geração:** constituído por canais, tomadas d'água, condutos ou túneis de adução de baixa pressão; eventuais chaminés de equilíbrio ou câmaras de carga; condutos ou túneis forçados de alta pressão; casa de força externa ou subterrânea e; canal ou túneis de fuga. O circuito de geração tem por finalidade aduzir a água para a transformação de energia mecânica em energia elétrica;
- **Estrutura de vertimento:** composto de canal de aproximação, vertedor com ou sem controle (comportas), dissipador de energia e canal de restituição. Como no caso do circuito de geração, as obras das estruturas de vertimento podem ficar localizadas junto ou distante da barragem, dependendo das características particulares do sítio em estudo;
- **Descarregador de fundo:** estrutura dotada de comportas ou válvulas para liberar as águas para jusante da barragem;
- **Sistema de transposição de desnível:** estruturas que permitem a transposição de cargas ou passageiros transportados pela via navegável, superando o desnível decorrente da implantação da barragem;
- **Sistema de transposição de fauna aquática migratória:** estruturas que permitem a transposição da fauna aquática, superando o desnível decorrente da implantação da barragem.

A Eletrobras disponibiliza uma série de manuais que norteiam as exigências para a elaboração de projetos de hidrelétricas. Tais manuais

são complementados constantemente com série de revisões e disponibilizados pela internet.

De acordo com os manuais (Instruções para Estudos de Viabilidade de 1997; Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas de 1999; Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas de 2000; Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas – 3º edição de 2007), as etapas de estudos e projetos para implantação de um aproveitamento hidrelétrico são divididas em várias fases e são descritas nos tópicos a seguir:

- **Estimativa do Potencial Hidrelétrico:** Nesta etapa é procedida a análise preliminar das características da bacia hidrográfica, especialmente quanto aos aspectos topográficos, hidrológicos, geológicos, e ambientais, no sentido de verificar sua vocação para geração de energia elétrica. Essa análise, exclusivamente pautada nos dados disponíveis, e realizada em escritório, permite a primeira avaliação do potencial e estimativa de custo do aproveitamento da bacia hidrográfica e a definição de prioridade para a etapa seguinte.
- **Inventário Hidrelétrico:** Etapa caracterizada pela concepção e análise de várias alternativas de divisão de queda para a bacia hidrográfica, formadas por um conjunto de projetos, que são comparadas entre si, visando selecionar aquela que apresente melhor equilíbrio entre os custos de implantação, benefícios energéticos e impactos socioambientais. Essa análise é efetuada com base em dados secundários, complementados com informações de campo, e pautado em estudos básicos cartográficos, hidrometeorológicos, energéticos, geológicos e geotécnicos, socioambientais e de usos múltiplos de água. Dessa análise deve resultar um conjunto de aproveitamentos, suas principais características, índices custo/benefício e índices socioambientais. Faz parte dos Estudos de inventário submeter os aproveitamentos da alternativa selecionada a um estudo de avaliação ambiental integrada visando subsidiar os processos de licenciamento. Estes aproveitamentos passam então a ser incluídos no elenco de aproveitamentos inventariados do País, passíveis de compor planos de expansão. Os Estudos de inventário hidrelétrico de uma bacia hidrográfica são realizados em quatro fases:

- *Planejamento do Estudo*: fase inicial onde se planejam e se organizam as atividades do Estudo de Inventário, discriminando os levantamentos e estudos necessários e estimando a sua duração e o seu custo. O produto final é um relatório gerencial contendo o programa de trabalho a executar.
 - *Estudos Preliminares*: propõem alternativas de divisão de queda para o aproveitamento do potencial hidrelétrico, avalia-se preliminarmente esse potencial e são estimados os custos e impactos socioambientais negativos associados a sua utilização com base em dados secundários. Os Estudos Preliminares visam selecionar as alternativas mais atraentes sob os pontos de vista socioambiental, energético e econômico, para que sejam examinadas em maior detalhe na fase subsequente.
 - *Estudos Finais*: determina-se um conjunto de obras e instalações que corresponda ao desenvolvimento integral do potencial hidrelétrico socioambiental e economicamente aproveitável da bacia. Esta fase é caracterizada pelo aprofundamento dos estudos, incorporando-se na análise as avaliações dos impactos socioambientais positivos e pela realização de levantamentos complementares de campo para os aproveitamentos constantes das alternativas de divisão de queda selecionadas na fase anterior.
 - *Avaliação Ambiental Integrada da Alternativa Selecionada*: tem como finalidade complementar e consolidar os estudos socioambientais da alternativa selecionada nos estudos finais, de modo a destacar os efeitos cumulativos e sinérgicos resultantes dos impactos negativos e positivos ocasionados pelo conjunto de aproveitamentos que a compõem. Nesta etapa são estabelecidas diretrizes socioambientais para a continuidade dos estudos de concepção dos projetos e para futuros estudos socioambientais na bacia, bem como para subsidiar o processo de licenciamento ambiental dos futuros empreendimentos.
- **Viabilidade**: Etapa na qual são efetuados estudos mais detalhados, para a análise da viabilidade técnica, energética, econômica e socioambiental que leva a definição do

aproveitamento ótimo que irá ao leilão de energia. Os estudos contemplam investigações de campo no local e compreendem o dimensionamento do aproveitamento, do reservatório e da sua área de influência e das obras de infraestrutura locais e regionais necessárias para sua implantação. Incorporam análises dos usos múltiplos da água e das interferências socioambientais. Com base nesses estudos são preparados o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) de um empreendimento específico, tendo em vista a obtenção da Licença Prévia (LP), junto aos órgãos ambientais.

- **Projeto Básico:** Na sequência de desenvolvimento do projeto, após a licitação inicia-se a elaboração do projeto básico, concebido nos estudos de viabilidade e detalhado, de modo a definir, com maior precisão, as características técnicas do projeto, as especificações técnicas das obras civis e equipamentos eletromecânicos, bem como os programas socioambientais. Deve ser elaborado o Projeto Básico Ambiental (PBA) com a finalidade de detalhar as recomendações incluídas no EIA, visando à obtenção da Licença de Instalação (LI), para a contratação das obras.
- **Projeto Executivo:** Na etapa de projeto executivo, é contemplada a elaboração dos desenhos dos detalhamentos das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos, necessários à execução da obra e à montagem dos equipamentos. Nesta etapa são tomadas todas as medidas pertinentes à implantação do reservatório, incluindo a implementação dos programas socioambientais, para prevenir, minimizar ou compensar os danos socioambientais, devendo ser requerida a Licença de Operação (LO).

Finalizada a construção, tem-se a fase de enchimento do reservatório e o início da operação, em que a geração de energia é acompanhada por ações que visam ao monitoramento e, eventualmente, à correção das medidas tomadas nas etapas anteriores. A operação só poderá ser iniciada após a obtenção da LO.

2.1.3 Regulamentação dos Projetos Hidrelétricos

A resolução ANEEL 393/2001 estabeleceu os procedimentos para registro e aprovação dos estudos e etapas descritas no item 2.1.2,

prevendo a efetivação por empreendedores. O ressarcimento, porém, dos custos somente acontecerá caso os aproveitamentos identificados venham a ser licitados, o que exclui as PCHs, cujos processos de autorização não preveem licitações.

A resolução ANEEL 398/2001 prevê a possibilidade de concessão de mais de um registro de inventário para um determinado trecho de rio, estabelecendo os procedimentos para apresentação dos estudos, bem como os critérios de decisão sobre as melhores alternativas apresentadas.

A iniciativa de executar estudos de inventário não traz qualquer tipo de benefício ou vantagem para o executante nas etapas seguintes do processo de autorização. Principalmente pelo fato que a partir da aprovação dos estudos de inventário, estes se tornam públicos e abertos à participação de terceiros para o registro de projeto básico, em tese concorrendo em condições de igualdade com o executante para a obtenção da autorização de exploração (PRADO JUNIOR, 2008).

Consequentemente, os empreendedores muitas vezes minimizam as despesas com os estudos de inventário além do razoável e os rios são inventariados em trechos muito curtos de modo a abranger apenas um aproveitamento previamente identificado de forma intuitiva. A função principal do inventário, identificar a melhor divisão de quedas para um determinado rio, sob múltiplos aspectos, é anulada (Ver exemplos no trabalho de PRADO JUNIOR, 2008). Segundo o autor os cortes nos orçamentos tendem a afetar mais os trabalhos de campo em relação à topografia e sondagens, que não podem ser avaliados pela ANEEL, e comprometem a qualidade do estudo, além de serem um convite à omissão de informações levantadas, que só serão verificadas posteriormente na fase de projeto básico.

2.1.4 Coleta e Análise de Dados

A fase de coleta e análise de dados está contida no planejamento e tem como objetivo programar as etapas posteriores do estudo de inventário, quais sejam: estudos preliminares e estudos finais, incluindo os estudos de avaliação ambiental integrada. O produto gerado desta fase deve conter um relatório gerencial contendo o plano de trabalho dos estudos de inventário, com seu cronograma e custo.

As informações a serem levantadas, nesta fase, compreendem dados cartográficos, geológicos, geotécnicos, hidrometeorológicos, sedimentométricos, socioambientais e de custo, de caráter regional e local. A análise desses dados permite:

- Avaliar os levantamentos e investigações de campo necessárias para as etapas posteriores;
- Indicar prováveis locais de barramento;
- Propor, preliminarmente, alternativas de divisão de queda;
- Estimar o potencial energético.

O planejamento dos estudos é elaborado considerando parâmetros, restrições e fatores identificados que condicionam o desenvolvimento dos trabalhos. Em áreas relativamente bem conhecidas, esta fase deve basear-se, principalmente, em informações de natureza bibliográfica e documental, coletadas junto a entidades governamentais e particulares. Os reconhecimentos de campo têm, nesta fase, caráter expedito, visando à coleta e confirmação de informações relevantes, de fácil e rápida obtenção.

Em regiões pouco conhecidas, a precariedade de informações poderá requerer, mesmo durante o planejamento dos estudos, a necessidade de trabalhos de campo mais aprofundados para que se obtenha uma aceitável precisão dos resultados.

Durante o desenvolvimento desta etapa, deverá ser realizada uma comunicação sobre os estudos, contendo a descrição das atividades, análises e prospecções que serão realizadas na bacia, destacando seus objetivos. Tal comunicação estabelece um canal com os órgãos ambientais, comitês, associações ou outras instituições relacionadas com o gerenciamento dos recursos hídricos e facilitar a coleta dos dados que se farão necessários.

Dados Cartográficos

A qualidade do planejamento depende da quantidade, da variedade, da representatividade e da consistência dos dados disponíveis. Tradicionalmente, devem ser prospectadas cartas topográficas e mapas temáticos junto aos órgãos públicos de produção cartográfica ou empresas de mapeamento, que devem ser selecionados de acordo com a

área de interesse, escala e finalidade.

Deverá ser realizada, *a priori*, a análise da confiabilidade destes documentos, baseada na necessidade do usuário e de acordo com a metodologia utilizada para sua obtenção e classificação, ou seja, deve atender ao Decreto 89.817/1984, que define o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC. Tal avaliação viabiliza a utilização dos documentos cartográficos nas fases posteriores do projeto, garantindo a sua utilização dentro da qualidade definida.

A Eletrobras determina a utilização de:

- **Pontos de apoio planimétrico e altimétrico:** levantamento da existência de apoio geodésico junto aos órgãos competentes. Devem ser verificadas a precisão, disponibilidade e integridade dos marcos de apoio fundamental. Podem ser utilizados trabalhos de natureza geodésica ou topográfica realizados por entidades governamentais ou empresas privadas, desde que compatíveis com a qualidade exigida pelas normas técnicas relativas aos assuntos abordados.
- **Sistemas de Informação Geográfica:** obtenção de informações junto às empresas públicas e/ou privadas, as quais poderão ser selecionadas de acordo com a base cartográfica utilizada na sua confecção e a qualidade do banco de dados associado.

Outros documentos úteis, em especial para fases posteriores, são:

- **Imagens de Sensoriamento Remoto:** coleta de informações junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), IBGE, Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) e outras instituições/empresas que possuam informações dessa natureza, verificando a cobertura existente sobre a área de interesse, em especial: o índice de cobertura de nuvens, as datas da tomada das cenas, os tipos de sensores que as produziram, as resoluções espacial ou geométrica, espectral e temporal, escalas de mapeamento possíveis e a existência de estereopares.
- **Fotografias aéreas:** coleta de informações junto a órgãos públicos ou empresas de mapeamento. Essas informações deverão ser analisadas quanto a sua utilidade para fases posteriores. Devem ser pesquisadas a existência e disponibilidade

de fotos aéreas da área de interesse, além de mosaicos e ortofotocartas e também fotografias aéreas não métricas.

- **Mapa geoidal:** coleta de informações junto ao IBGE e a universidades.

Faz-se necessária uma análise criteriosa dos produtos coletados, não só quanto à qualidade decorrente da metodologia empregada, mas também quanto ao sistema de projeção utilizado e a compatibilidade de referência entre eles.

Existindo a necessidade de se proceder a um levantamento específico ou complementar da bacia para os estudos finais, devem ser produzidas informações de acordo com as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Decreto nº 89.817/1984.

2.1.5 Considerações

De acordo com a Deliberação Normativa nº 87 de 17 de junho de 2005 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), o volume do reservatório é o volume total do material, líquido e/ou sólido, depositado após a construção da barragem e durante os possíveis alteamentos, nele incluindo o material de assoreamento, vinculado ou não às atividades do empreendimento. Para isto, sempre se deve tomar como base a topografia da fundação do reservatório.

O estudo topográfico que determina o volume de um reservatório depende da organização de bases de dados georeferenciados, isto aliado a modelagem subsidia a simulação de sistemas e problemas mais complexos. Neste sentido, a formulação de modelos com uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) aumenta a rapidez e a eficiência na determinação automática da capacidade de armazenamento de um reservatório (MACHADO ET AL, 2010).

Nas aplicações hidrológicas em SIG, os dados de relevo são comumente representados por Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionados (MDEHC). Esses modelos permitem que as delimitações das bacias sejam realizadas com maior precisão, pois consideram os dados altimétricos do terreno em suas etapas de processamento (RIBEIRO ET AL, 2005). Eles também apresentam uma coincidência acentuada entre a drenagem derivada numericamente e a hidrografia

real, estando isentos de sumidouros (depressões espúrias) que bloqueiem o trajeto do escoamento de água superficial (HUTCHINSON, 1989).

Os SIGs possibilitam uma obtenção rápida e acurada de parâmetros fisiográficos, como a declividade, comprimento do curso de água principal, densidade de drenagem e outros. Os principais SIGs comercialmente disponíveis já contam com diversos recursos, e bastantes precisos, para uma elaboração de mapas e modelos que possuam caráter dinâmico perante os desafios estabelecidos para determinação das características físicas da localização do empreendimento. O relevo em formato de modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados, viabilizam a determinação automática de vários parâmetros (MACHADO ET AL, 2010).

Em geral, os reservatórios são formados por barragens implantadas nos cursos d'água. Suas características físicas, em especial a capacidade de armazenamento, dependem das características topográficas do vale no qual está situado. Tal fato aumenta a complexidade da definição dos parâmetros de alagamento (área e volume), importantes variáveis no gerenciamento global dos reservatórios sejam eles hidrelétricos ou não (SOUSA JUNIOR, 1998).

Segundo Tiago Filho et al. (2008), tem crescido a necessidade de se desenvolver ferramentas para detecção de potenciais para estudo de inventario e análise de viabilidade para implantação de centrais hidroenergéticas de pequeno porte utilizando ferramentas SIG. Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um módulo para determinação automática da capacidade de armazenamento (volume e área) de um reservatório com uso de SIG.

2.2 Legislação e Qualidade Cartográfica

“Consideraremos, portanto, conhecimento *a priori*, todo aquele que seja adquirido independentemente de qualquer experiência. A ele se opõem os conhecimentos empíricos, isto é, só possíveis *a posteriori*, quer dizer, por meio da experiência (KANT, 2010).”

Em relação à qualidade, a maioria dos produtos cartográficos é avaliada em relação a dois padrões estatísticos correntes consolidados nacional e

internacionalmente, a saber, a exatidão e a precisão. São sinônimos do termo exatidão os termos acurácia e precisão posicional. São sinônimos do termo precisão os termos desvio padrão e erro quadrático médio (EQM), cuja fórmula está descrita a seguir:

$$EQM = ((\sum (xi - \mu)^2)/n)^{1/2} \quad (01)$$

Onde:

- xi = valor observado
- μ = média dos valores observados
- n = número da amostra

Conforme Gemael (1994), o termo exatidão está vinculado a efeitos aleatórios e sistemáticos e diz respeito à dispersão de valores em relação ao valor exato da observação, enquanto que a precisão está vinculada a efeitos aleatórios e diz respeito à dispersão de valores em relação à média das observações. O autor destaca que a exatidão cartográfica está vinculada ao termo acurácia e corresponde aos efeitos aleatórios somados aos erros sistemáticos, enquanto que o termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios (à dispersão das observações). A precisão está diretamente associada a repetibilidade de medidas sucessivas feitas em condições semelhantes pelo mesmo observador e normalmente é indicada pela variância estimada, ou pelo desvio-padrão, ou ainda, erro médio quadrático. Portanto, estes dois aspectos devem ser analisados na avaliação de produtos cartográficos.

O teste de tendência do produto cartográfico, segundo Merchant (1982) é baseado na análise estatística das discrepâncias entre as altitudes observadas no produto e suas homólogas de referência, calculada para cada ponto (i), média e desvio-padrão. No caso específico para verificação de média amostral (μ) são utilizadas as seguintes hipóteses:

Hipótese nula H0: quando $\mu = 0$, (i) não é tendencioso

Hipótese um H1: quando $\mu \neq 0$, (i) é tendencioso

2.2.1 Legislação Cartográfica Brasileira

No Brasil, a Legislação que trata da qualidade dos produtos cartográficos é o Decreto nº 89.817 de 1984, que estabelece Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional e define procedimentos de padronização, permitindo a avaliação e produção de cartas com qualidade compatível com padrões internacionais (BRASIL, 1984).

O referido Decreto apresenta uma avaliação da qualidade de cartas/mapas no tocante à exatidão das informações cartográficas, criando o PEC, e uma classificação das cartas em Classes A, B e C, conforme apresentação do Quadro 2. Em síntese:

- Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos;
- A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão (EP). $PEC = 1,6449 \times EP$;
- O EP isolado num trabalho cartográfico não ultrapassará 60,8% do PEC;
- Para efeito das presentes instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro Padrão (EP), Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

As, cartas (produtos cartográficos), quanto a sua exatidão, devem obedecer ao PEC, segundo o critério abaixo indicado:

- 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC – planimétrico – estabelecido;
- 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC – altimétrico – estabelecido.

QUADRO 2: Classes de cartas PEC

Carta	PEC planimétrico	EP	PEC altimétrico	EP
Classe A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 eqüidistância	1/3 da eqüidistância
Classe B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 eqüidistância	2/5 da eqüidistância
Classe C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 eqüidistância	1/2 da eqüidistância

Fonte: BRASIL (1984)

Através do Decreto nº 6.666 de 2008, foi criada a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), definida como o conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento; padrões e acordos, necessários para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal (BRASIL, 2008).

Para atender ao processo de implantação da INDE, coube a DSG a responsabilidade pela elaboração de novas Especificações Técnicas relativas aos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG). Foi adotado um novo padrão de qualidade, denominado Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCDG).

O conjunto de valores preliminares para estes padrões foi intitulado PAP – PCD (Padrão de Acurácia e Precisão para Produtos Cartográficos Digitais), com definições e valores análogos ao PEC. Os valores planimétricos estão no Quadro 3.

QUADRO 3: Classes de cartas PAP – PCD - planimetria

Carta	PEC - PCD	Erro padrão
Classe A	0,25 mm x Escala	0,15 mm x Escala
Classe B	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala
Classe C	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala
Classe D	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala

Fonte: BRASIL (2014)

Tal padrão adotou para a altimetria os mesmos valores do PEC 1984 e incluiu a Classe D com valores de 1 equidistância para a exatidão e de 3/5 da equidistância para o Erro Padrão. Foram definidas também tolerâncias para produtos digitais como: Modelos Digitais de Terreno (MDTs), Modelos Digitais de Elevação (MDEs), Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Pontos Cotados, conforme apresentação do QUADRO 4.

QUADRO 4: Classes de cartas PAP - PCD - altimetria

Carta	PEC PCD 2011	Erro padrão
Classe A	3/11 equidistância	1/6 da equidistância
Classe B	1/2 equidistância	1/3 da equidistância
Classe C	3/5 equidistância	2/5 da equidistância
Classe D	3/4 equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: BRASIL (2014)

O artigo 500 da Lei Nº 10.406 de 2002, que institui o Código Civil Brasileiro, mesmo sendo considerado somente para fins jurídicos em negócios de compra e venda de imóveis onde haja divergência em relação à área, pode ser atribuída especificamente como um padrão de qualidade nas avaliações de superfície como um todo, pois especifica:

“Art. 500. Se, na venda de um imóvel, se estipular o preço por medida de extensão, ou se determinar a respectiva área, e esta não corresponder, em qualquer dos casos, às dimensões dadas, o comprador terá o direito de exigir o complemento da área, e, não sendo isso possível, o de reclamar a resolução do contrato ou abatimento proporcional ao preço.

§ 1o Presume-se que a referência às dimensões foi simplesmente

enunciativa, quando a diferença encontrada não exceder de um vigésimo da área total enunciada, ressalvado ao comprador o direito de provar que, em tais circunstâncias, não teria realizado o negócio.

§ 2o Se em vez de falta houver excesso, e o vendedor provar que tinha motivos para ignorar a medida exata da área vendida, caberá ao comprador, à sua escolha, completar o valor correspondente ao preço ou devolver o excesso.”

No inciso primeiro é definido que a diferença tem que ultrapassar um vigésimo da área para que seja formalizada diferença de dimensão. Um vigésimo de área corresponde a 5% de área.

2.2.2 Legislação Cartográfica Internacional

Internacionalmente, em relação à legislação cartográfica, existem vários documentos vigentes e em elaboração. Abaixo são descritos alguns destes documentos e suas definições:

Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data (STANAG) 2215 – Avaliação de Mapas, Cartas Aeronáuticas e Dados Topográficos Digitais Terrestres: documento proveniente do acordo de padronização da Organização do Tratado do Atlântico Norte, do termo em inglês *North Atlantic Treaty Organisation* (NATO) 2001, descreve a metodologia para a aquisição de informações planialtimétricas baseados em uma amostra constituída por 167 pontos, para uma área produzida com certa escala (NSA, 2001).

Segundo Afonso, Dias e Teodoro (2006) e Natural Resources Canadá (2009), as classificações dos produtos em relação às exatidões necessárias, de acordo como o STANAG 2215, estão listadas nos Quadro 5 e Quadro 6:

QUADRO 5: Exatidão Horizontal STANAG 2215.

Classificação	Escala 1/25.000	Escala 1/50.000	Escala 1/100.000	Escala 1/200.000	Escala 1/250.000	Distância gráfica
A	12,5 m	25 m	50 m	100 m	125 m	0.5 mm
B	25 m	50 m	100 m	200 m	250 m	1.0 mm
C	50 m	100 m	200 m	400 m	500 m	2.0 mm
D	Pior que classe C					>2,0 mm
E	Não determinada					

Fonte: Adaptado de Afonso, Dias e Teodoro (2006) e Natural Resources Canadá (2009).

QUADRO 6: Exatidão Vertical STANAG 2215.

Classe	Escala 1/25 000	Escala 1/50 000	Escala 1/100 000	Escala 1/200 000	Escala 1/250 000
0	2,5m	5m	10m	20m	25m
1	5m	10m	20m	40m	50m
2	10m	20m	40m	80m	100m
3	Pior que classe 2				
4	Não determinada				

Fonte: Adaptado de Afonso, Dias e Teodoro (2006) e Natural Resources Canadá (2009).

O STANAG trata da exatidão horizontal absoluta como erro circular compatível a um raio composto por uma elipse de erros com 90% de confiança em relação à posição estimada; e a exatidão vertical absoluta como um erro linear ao longo do eixo Z com mesmo intervalo de confiança.

Em 1998, o Comitê Federal de Dados Geográficos dos Estados Unidos da América (EUA), do termo em inglês *Federal Geographic Data Committee (FGDC)* publicou o *Geospatial Position Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA)* (FGDC, 1998). Este padrão substituiu o *National Map Accuracy Standards (NMAS)* dos EUA, publicado em 1947 pelo *Office of Management and*

Budget, e o *ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Accuracy Standards for Large-Scale Maps*, publicado em 1990 (JENSEN, 2011).

O NSSDA – do termo análogo em português “Padrões Nacionais para Exatidão de Dados Espaciais” é um padrão que adota um nível de confiança de 95% para a exatidão posicional absoluta e trata os erros verticais em função da escala e não em função do intervalo das curvas de nível. Outra vantagem deste documento é a implementação de metodologias estatísticas para estimar a exatidão de pontos sobre mapas impressos e também sobre dados geoespaciais digitais. Este padrão tem sido utilizado por diversas instituições, nos EUA, para avaliar a exatidão de modelos digitais (3D) geradas de varreduras a *laser* aerotransportadas. Entre eles o *North Carolina Geodetic Survey (NCGS)*, cujo programa para o mapeamento de bacias hidrográficas (*North Carolina Cooperating Technical State Mapping Program*) desenvolveu e adotou especificações próprias quanto à execução de levantamentos *Airborne Laser Scanner (ALS)* e quanto à geração de *Digital Elevation Models (DEMs)* no estado (BRANDALIZE, 2004).

O Padrão de Acurácia Geoespacial (*Geospatial Accuracy Standard*) para a acurácia horizontal e vertical de produtos espaciais da FGDC é baseado no cálculo do Erro Médio Quadrático (EMQ).

O padrão recomenda que seja usado um mínimo de 20 pontos de controle e os mesmos devem ter uma acurácia substancialmente maior que a dos produtos obtidos que sejam avaliados (JENSEN, 2011).

A acurácia horizontal (erro padrão circular) com um nível de confiança de 95% é calculada usando-se:

$$\text{Acurácia Horizontal} = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_x + \text{EMQ}_y) \dots\dots\dots(02)$$

A acurácia vertical com um nível de confiança de 95% é calculada usando-se:

$$\text{Acurácia Vertical} = 1,96 \times \text{EMQ}_z \dots\dots\dots(03)$$

A equações 02 e 03 assumem uma distribuição normal para os erros de x , y e z . A Federal Emergency Management Agency (FEMA) descreveu, a partir desses critérios, procedimentos detalhados para a

caracterização dos níveis de acurácia, para seus parceiros no mapeamento de áreas com risco de inundação (FEMA, 2004).

Outra instituição que utiliza o padrão NSSDA para reportar a exatidão de modelos digitais 3D obtidos com o emprego da técnica ALS é a FEMA, que também propôs um padrão de exatidão e desempenho para a técnica ALS voltado à geração de DEMs para uso no programa americano de seguro contra enchentes (*National Flood Plain Insurance Program*).

Segundo Afonso, Dias e Teodoro (2006) e Brandalize (2004), nos padrões apresentados NSSDA e STANAG a acurácia vertical é uma função da acurácia horizontal, da mesma forma como acontece com o PEC brasileiro.

Accuracy Standards for Large-Scale Map - Padrões de Exatidão para Mapas em Grandes Escalas: padrão proposto pela ASPRS estabelece que a exatidão vertical seja o principal critério para especificação da qualidade de dados de elevação ou altitude e que esta deve ser reportada em termos de 1,96 do *Root Mean Square Error* (RMSE) análogo ao termo em português “Raiz do Erro Médio Quadrático”, quando se tratar de uma distribuição normal.

Especificamente para varredura a laser, em 2003 a ASPRS anunciou a aprovação de um documento intitulado “*LIDAR Data Exchange Format Standard (LAS)*” que pretende servir como padrão industrial para a troca de dados *Light Detection and Ranging* (LIDAR) entre fabricantes de *hardware*, desenvolvedores de *software*, provedores de dados e usuários da referida tecnologia (ASPRS, 2003). Além deste, em maio de 2004 a mesma ASPRS anunciou a publicação de um documento que estabelece diretrizes para a reportagem da exatidão vertical de dados LIDAR (ASPRS, 2004). Tal documento está em harmonia com o estabelecido pelo *National Digital Elevation Program* (NDEP), já submetido ao FGDC para inclusão, como texto revisado e aprovado, no NSSDA.

2.2.3 Considerações Acerca da Qualidade Cartográfica

Em relação à exatidão, os estudos de avaliação de qualidade tratam da exatidão horizontal como erro circular compatível a um raio composto

por uma elipse de erros com grau de confiança em relação à posição estimada; e a exatidão vertical como um erro linear ao longo do eixo Z. Os níveis de confiança e significância são definidos em legislação e geralmente determinados em 90% e 10%, respectivamente.

Segundo Nero (2005), o PEC foi baseado na norma americana de controle de qualidade de produtos cartográficos, no entanto, no Brasil, não são considerados os Testes de Tendência e Precisão propostos pela norma americana.

Autores como Nero (2005), Francisco (2001), Galo e Camargo (1994) e Ishikawa (2001) propuseram metodologias para a realização de controle de qualidade em produtos cartográficos, onde são levantadas e discutidas questões como número de amostras, sua distribuição sobre a área e a forma de levantamento; quando da análise planimétrica, se esta deve ser feita por resultante ou componente planimétrica; o uso ou não da norma brasileira para escalas grandes e se são aplicáveis para mapeamentos digitais etc., uma vez que o Decreto Lei nº 89.817/84 não é claro nestes pontos. Observou-se que em todos os estudos apresentados por tais autores foi adicionado Testes de Tendência e Precisão ao PEC.

Os padrões internacionais vêm sofrendo modificações nos últimos anos, sendo reeditados para atender a necessidade em relação aos produtos cartográficos digitais. O STANAG 2215, por exemplo, encontra-se em fase de discussão da sua 6ª edição, que introduziu inúmeras alterações relativamente à sua última edição, que é de 1989. Por sua vez, o padrão da ASPRS sofreu algumas modificações e abandonou as classificações 1, 2 e 3 que impunha aos produtos impressos (como faz o PEC com as classes A, B e C), por concluir que as mesmas poderiam gerar interpretações subjetivas no que diz respeito à qualidade dos dados geoespaciais representados (MAUNE, MAITRA E McKAY, 2001).

2.3 Geodésia

A geodésia é a ciência que tem por objetivo determinar a forma e as dimensões da Terra e os parâmetros definidores do campo da gravidade (GEMAEL, 1999).

De acordo com o autor, a Terra pode ser definida através de três

superfícies distintas, a saber:

- Superfície Física da Terra - palco das operações geodésicas;
- Superfície do Modelo Geométrico - ou superfície de referência, sobre a qual são efetuados os cálculos geodésicos (geralmente este modelo é um elipsoide de revolução);
- Geoide - superfície equipotencial do campo da gravidade, aquela que mais se aproxima do nível médio dos mares.

Em 1828, Gauss introduziu um modelo aperfeiçoado da figura da Terra, mas o termo geoide foi criado em 1873 por Listing (IBGE, 2013).

De acordo com Freitas e Blitzkow (1999) a forma atribuída a Terra é a do geoide. Este é limitado pela superfície geoidal.

Em cada ponto, o vetor gravidade será perpendicular à superfície geoidal. Ela tem um formato ondulatório levemente irregular que acompanha as variações da estrutura de distribuição de massa da Terra. Essa ondulação no Brasil é suave e fica em torno ± 30 m, sendo o valor máximo de ± 100 m, em relação ao elipsoide de referência (IBGE, 2013).

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é um sistema que permite a localização espacial de uma feição qualquer sobre a superfície terrestre. Um sistema terrestre deriva de uma solução final da combinação de realizações terrestres e inerciais, materializadas através de uma origem, uma escala, uma orientação no sistema e sua respectiva evolução temporal. A realização se dá através de uma lista de coordenadas e velocidades dos objetos (estações) que compõem o sistema, também denominada conjunto de coordenadas ou rede, acompanhadas de informações acerca de sua qualidade (MONICO, 2008).

Existem sistemas geocêntricos – onde a origem das coordenadas do sistema (centro do elipsoide) é coincidente com o centro de massa da Terra e – sistemas topocêntricos onde a origem das coordenadas do sistema se dá em um ponto qualquer da superfície terrestre. No caso do *South American Datum of 1969* (SAD 69), o geoide e elipsoide se tangenciam no ponto de origem, onde a ondulação geoidal é nula.

O Sistema de coordenadas *World Geodetic System of 1984* (WGS 84),

utilizado na concepção do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) é um Sistema de Referência Terrestre Convencional, do termo em inglês *Conventional Terrestrial Reference System* (CTRS), onde as observações efetuadas estão reduzidas a uma mesma época, eliminando-se o efeito do movimento do polo na determinação de coordenadas. É um Sistema de coordenadas tridimensional, comum e ortogonal. O WGS 84 utiliza como elipsoide o WGS 84, identificado como sendo uma superfície onde o potencial gravítico é o mesmo em qualquer ponto, que em nível prático coincide com o *Geodetic Reference System of 1980* (GRS 80) (MONICO, 2008). Ver parâmetros dos dois sistemas na TABELA 1.

Fazem parte ainda do WGS 84 as alturas geoidais entre o elipsoide WGS 84 e o geóide, as quais foram derivadas do EGM 96 (*Earth Gravitational Model of 1996 – Modelo Gravitacional da Terra*). A incerteza absoluta das alturas geoidais é estimada no intervalo de 0,5 a 1,0 m, em nível global (MONICO, 2008).

A definição, implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) são de responsabilidade do IBGE. Entre os componentes principais do SGB estão as redes planimétrica, altimétrica e gravimétrica. O referencial horizontal clássico do SGB é definido sob a condição de paralelismo entre seu sistema de coordenadas cartesianas e o do CTRS (MONICO, 2008).

O SGB pode ser dividido em duas componentes: Datum horizontal e vertical e a rede de referência, consistindo das coordenadas das estações monumentadas, as quais representam a realização física do sistema. Oficialmente, existem dois sistemas geodésicos no Brasil. Em termos planimétricos até 2014 ainda estará vigente no Brasil o SAD 69.

A resolução 01/2005 da presidência do IBGE, que trata da alteração da caracterização do SGB, de 25 de fevereiro de 2005, permitiu que um novo sistema possa ser empregado em concomitância com o SAD 69, oferecendo a sociedade um período de transição não superior a dez anos para o uso dos dois sistemas oficialmente no Brasil. O Sistema de Referência Geocêntrico das Américas (SIRGAS), na realização 2000,4, tem como SGR o ITRF (International Terrestrial Reference Frame) e elipsoide associado o GRS80. Ver parâmetros dos sistemas na Tabela 1.

O referencial altimétrico oficial brasileiro é materializado pela superfície equipotencial que coincide com o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral de Santa Catarina no período de 1949 a 1957 (IBGE, 1996).

TABELA 1: Parâmetros dos Sistemas Geodésicos.

Sistema Geodésico	Elipsoide	Datum	Semi-eixo maior	Achatamento
WGS 84	WGS 84/ GRS80	Centro de Massa	6378137	1/298,2572221
SIRGAS 2000/IRTF	GRS 80	Centro de Massa	6378137	1/298,257222101
SAD 69	Internacional 1967	Chua	6378160	1/298,25

2.4 Fontes de Informações Altimétricas

Para aquisição das amostras ou amostragem, fase antecessora para geração de qualquer MDT, faz-se necessária a aquisição de informações altimétricas, seja através:

- da extração de pontos e curvas de nível de bases vetoriais advindas de levantamentos de campo por topografia convencional ou levantamentos orbitais;
- da extração de pontos advindos de levantamentos remotos tipo LIDAR;
- da restituição de pontos e curvas de nível de bases matriciais, advindos de levantamentos aerofotogramétricos ou satelitais – através de sensores remotos passivos (imagens de satélite) ou ativos.

2.4.1 Levantamentos de Campo

Os levantamentos de campo são levantamentos terrestres que utilizam métodos que são conduzidos sobre a superfície terrestre, ou seja, onde a

estação de observação é terrestre e podem fornecer informações tridimensionais precisas. Para a sua realização faz-se uso de equipamentos topográficos convencionais (teodolito, nível topográfico) ou eletrônicos (estação total, medidor eletrônico de distância) ou orbitais do tipo *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Apesar da exatidão, entretanto, estes levantamentos demandam tempo e alto custo por ponto adquirido, se tornando também difícil sua obtenção em áreas de vegetação densa. Devido a estes obstáculos, a densidade de observações obtidas em uma área é, muitas vezes, baixa, tornando necessária a interpolação entre pontos distantes para se produzir um MDT de uma determinada área (JENSEN, 2011).

Os métodos de levantamento terrestres ou de campo, em relação aos seus objetivos, podem ser classificados em geodésicos, topográficos ou cadastrais. Os levantamentos geodésicos são realizados através de métodos que levam em consideração o tamanho, a forma e o campo gravitacional da Terra, onde as observações necessitam de precisão para agregar valor científico. Os levantamentos topográficos são realizados através de métodos que consideram a Terra como um plano, onde a direção das linhas de prumo é considerada paralela em todos os pontos do levantamento e os ângulos também são considerados planos. Os levantamentos cadastrais caracterizam-se pela determinação e representação da posição dos limites de propriedades urbanas ou rurais, bem como, de todos os detalhes possíveis, dentro de uma escala adequada, normalmente para fins de registro.

Levantamento Topográfico

Levantamento topográfico é o conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré-determinada e/ou pontos cotados (ABNT, 1994).

A topografia tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e a

posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre (ESPARTEL, 1965). Ao conjunto de métodos empregados para obter as informações necessárias ao traçado de uma planta dá-se o nome de topometria, que se subdivide em planimetria e altimetria.

A planimetria é a representação em projeção horizontal dos detalhes existentes na superfície; a altimetria determina as cotas ou distâncias verticais dos pontos referidos ao plano horizontal de projeção. A altimetria permite fixar, por meio de cotas ou quaisquer sinais convencionais, o relevo do terreno, isto é, a expressão exata de sua forma (ESPARTEL, 1965).

A topologia, complemento indispensável da topometria, tem por objeto o estudo das formas exteriores da superfície terrestre e das leis a que deve obedecer a seu modelado. Sua aplicação principal é a representação cartográfica do terreno pelas curvas de nível, que são as interseções obtidas por planos horizontais equidistantes paralelos com o terreno a representar (ver descrição no item 2.5).

Os métodos topográficos clássicos são os métodos de nivelamento geométrico de precisão para levantamento de informações altimétricas e a poligonação topográfica para levantamento de informações planimétricas.

Os levantamentos de precisão deverão partir e chegar a pontos de referência quer sejam eles referências de nível ou redes geodésicas. A qualidade do levantamento fica condicionada às bases utilizadas, ao controle de qualidade que deve ser executado em cada etapa de levantamento e à precisão dos equipamentos utilizados.

Nivelamento Geométrico

De acordo com vários autores, a operação de nivelamento do ponto pode ser conduzida por diferentes processos, sendo os mais comuns: barométrico, trigonométrico, geométrico e por técnicas espaciais. Os pontos nivelados com significado para redes geodésicas verticais fundamentais são usualmente obtidos com nivelamento geométrico e, mais recentemente, com a aplicação de técnicas espaciais, tal como por levantamento orbital. No entanto, as redes atuais, tais como aquelas de países da América do Sul, ainda são predominantemente baseadas em

nivelamento geométrico.

As redes clássicas de controle vertical são estabelecidas, em geral, mediante o nivelamento geométrico e materializadas através de marcos de alvenaria ou chapas metálicas colocadas em local estável. O processo clássico de medição utiliza um aparelho denominado nível, cujo eixo horizontal da luneta é tangente à superfície equipotencial ao longo do eixo óptico e cujo eixo vertical coincide com a direção do vetor força da gravidade. As leituras realizadas nas miras (ré e vante) permitem obter os desníveis os quais refletem as variações topográficas do terreno bem como as alterações gravitacionais da Terra. O efeito destas alterações sobre as altitudes obtidas podem ser quantificadas e tratadas em conformidade com conceitos físicos considerados no processamento (FREITAS E BLITZKOW, 1999).

A obtenção das altitudes foi sempre uma necessidade da engenharia entre outras áreas de aplicação. No Brasil, a rede de referência altimétrica oficial é estabelecida pelo IBGE que conduz o nivelamento geométrico ao longo das principais rodovias. Em geral, o IBGE aplica aos desníveis observados a correção do não paralelismo das superfícies equipotenciais segundo o modelo da Terra normal. Nas últimas décadas, têm sido realizadas determinações gravimétricas sobre as referências de nível (RNs) de modo sistemático. Esta iniciativa permite que se obtenha o número geopotencial em cada RN. Entretanto, a conversão dos mesmos em altitudes ortométricas ainda necessitaria do valor médio de gravidade entre a superfície topográfica e o geoide. Isto, na prática, é inviável. O fato do Brasil, bem como os demais países da América do Sul, adotarem a altitude derivada dos desníveis corrigidos somente do não paralelismo das superfícies, conduz a um sistema de altitudes que não é consistente. Esta característica tem poucas consequências em termos locais, mas acarreta dificuldades em termos regionais, nacionais e, com maior ênfase, continentais (FREITAS E BLITZKOW, 1999).

As altitudes niveladas são obtidas pelo processo de nivelamento geométrico via métodos ópticos ou ótico/eletrônicos de medição. As diferenças de altitudes medidas variam de acordo com o campo de gravidade na região, além das irregularidades topográficas. As quantidades observadas (ΔH) correspondem às distâncias existentes entre as superfícies equipotenciais do campo de gravidade terrestre. O somatório dos desníveis permite conhecer a diferença de altura entre os pontos extremos de interesse. O desnível dependerá do trajeto

percorrido, obtendo-se diferentes valores de desnível, entre dois pontos, para diferentes trajetos. Neste sentido, a simples operação de nivelamento só pode ser aplicada em regiões pequenas com extensão máxima de 10 km onde o achatamento possa ser desprezado (FREITAS E BLITZKOW, 1999). O problema mais usual a ser considerado no nivelamento geométrico é o de que o desnível entre dois pontos, obtido com precisão compatível com a operação, não é unívoco, pois depende do trajeto seguido entre os dois pontos.

Neste trabalho, só serão consideradas as altitudes obtidas por nivelamento geométrico através de métodos topográficos convencionais (considerando os limites técnicos da topografia) materializados através das redes do IBGE.

2.4.2 Levantamentos Remotos

No contexto do Sensoriamento Remoto, independentemente do nível de coleta de dados e do equipamento utilizado, a informação gerada de um alvo da superfície terrestre, seja uma tabela de valores, um gráfico, uma fotografia ou uma imagem, é uma informação que foi obtida a distância, isto é, sem entrar em contato com este alvo (MOREIRA, 2003).

Os sistemas sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar dados que são transformados em produto passível de interpretação. São constituídos basicamente por um coletor, um sistema de registro e um sistema processador (MOREIRA, 2003).

De forma geral, os sistemas multiespectrais de Sensoriamento Remoto registram a energia refletida ou emitida de um objeto ou área de interesse em múltiplas bandas do espectro eletromagnético. A maioria destes sistemas coleta dados em formato digital. As fotografias aéreas digitalizadas coloridas e infravermelho-coloridas podem ser consideradas como dados multiespectrais em três bandas – azul, verde e vermelho ou verde, vermelho e infravermelho próximo (JENSEN, 2011).

Por considerar a colocação de Jensen (2011) em relação à fotografia digital ou digitalizada e também por considerar o método de levantamento fotogramétrico também como obtido à distância, de

acordo com Moreira (2003), neste trabalho, o tema fotogrametria, estará englobado dentro do item de Sensoriamento Remoto.

O sistema de Sensoriamento Remoto primeiro detecta a energia eletromagnética que deixa o fenômeno de interesse e atravessa a atmosfera. A energia detectada é registrada como um sinal elétrico analógico, que é normalmente convertido em um valor digital por meio de uma conversão analógico-digital. Se uma plataforma aérea for utilizada, os dados digitais simplesmente retornam para a Terra. Se uma plataforma orbital for utilizada, os dados digitais podem ser enviados diretamente por telemetria para as estações de recepção na Terra, ou indiretamente através de satélites de rastreamento e envio de dados (JENSEN, 2011).

Os sensores orbitais operam em faixas espectrais desde o visível até as micro-ondas. Os sensores passivos operam na faixa espectral que vai do visível até o infravermelho termal e registram a energia eletromagnética que é refletida pela superfície da Terra. Já os sistemas ativos operam na faixa do micro-ondas (MOREIRA, 2003).

Mapeamentos batimétricos podem ser executados usando sistemas passivos (fotografias aéreas) ou ativos de sensoriamento remoto. Os levantamentos mais precisos em áreas geograficamente extensas são muitas vezes realizados através da utilização do SONAR (que reflete ondas de som do fundo) e LIDAR (que reflete a luz laser do fundo) (JENSEN, 2011).

A batimetria é a área da topografia que se destina em modelar a superfície abaixo do nível da água, no mar ou em rios ou lagoas ou em outros cursos de água. Os resultados dos levantamentos batimétricos são representados atualmente por modelos digitais da superfície do fundo das águas, por perfis longitudinais e transversais de profundidade das águas, por cotas isoladas de profundidade entre a superfície da água e seu fundo, sequências de curvas de igual profundidade (isobatimétricas) (NOGUEIRA E AMARAL, 2009).

2.4.3 Sistemas Ativos de Levantamentos Remotos

Os sistemas ativos geram a sua própria energia eletromagnética que é transmitida do sensor para a superfície do terreno; interage com o terreno produzindo um retroespalhamento da energia e; é registrada pelo receptor do sensor remoto. Os sistemas de sensoriamento remoto ativos mais amplamente utilizados incluem, de acordo com Jensen (2011), as micro-ondas ativas dos tipos LIDAR, *Sound, Navigation and Ranging* (SONAR) e *Radio Detection And Ranging* (RADAR).

A tecnologia SONAR pode ser usada para coletar medidas do fundo marinho. Quando o SONAR ativo é usado para medir a distância até o fundo, ele é conhecido como eco-sondagem (JENSEN, 2011).

Não faz parte dos objetivos deste trabalho introduzir os conceitos do SONAR. Algumas considerações e conceitos acerca do método LIDAR serão descritas apenas como forma de conhecimento e esclarecimento porque, infelizmente, não existe disponibilidade de informações deste produto para as regiões de estudo, o que impossibilita a sua avaliação.

Light Detection And Ranging – LIDAR

O sistema de varredura a laser (*laser scanning*) aerotransportado é um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da Terra. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície, onde parte do sinal emitido é refletida novamente na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como também o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno, que é usado para calcular a distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz. Estes tipos de sistemas também são chamados de LIDAR, do termo análogo em português “Detecção de Luz e Distância”. Ver detalhes em Brandalize (2004) e Vargas (2007).

O LIDAR oferece uma alternativa para os levantamentos de campo e para as técnicas de mapeamento fotogramétrico na aquisição de dados de elevação, podendo ser usada na obtenção de dados de elevação com precisão e rapidez, com aplicabilidade crescente em terrenos inóspitos. Suas exatidões vertical e horizontal, bem como seus custos de operação são similares aos da fotogrametria (JENSEN, 2011).

O LIDAR gera modelos digitais densos e precisos de topografia e das estruturas verticais da superfície. Em imagens de áreas urbanas, as edificações podem ser extraídas do contexto, telhados e muros podem ser modelados após obtenção dos dados de elevação. Outras estruturas construídas podem ser observadas, como linhas de transmissão, torres e pontes, tornando-se assim uma ferramenta atraente para usuários de dados topográficos em várias áreas de aplicação (MOREIRA, 2003).

Para qualquer aplicação que exija modelos digitais de elevação com alta densidade, alta resolução e precisão da ordem de decímetro, o perfilador laser oferece capacidade técnica impar, baixo custo operacional e tempo de pós-processamento reduzido, quando comparado às formas tradicionais de levantamento de dados. Nos últimos anos, o LIDAR está se tornando uma ferramenta operacional em empresas de mapeamento e aerolevantamento (CALMON ET AL, 2003).

Radio Detection And Ranging – RADAR – SRTM

A palavra RADAR significa telemetria e detecção por rádio, do termo em inglês *Radio Detection And Ranging*. Funciona emitindo feixes de energia eletromagnética (ondas de rádio) em uma determinada banda de frequência. Se estes feixes atingem um objeto são refletidos de volta criando um eco que a antena do radar pode detectar (MOREIRA, 2003).

O RADAR é um sistema baseado na transmissão de micro-ondas de comprimentos mais longos (3 – 25 cm) através da atmosfera e na detecção da quantidade de energia retroespalhada pela superfície do terreno. Os dados interferométricos obtidos por Radar de Abertura Sintética, do termo em inglês *Synthetic Aperture Radar* (SAR) podem, muitas vezes, fornecer informação topográfica tridimensional que são tão precisas quanto os modelos de elevação digital obtidos pelas técnicas fotogramétricas tradicionais. Além disso, a interferometria pode operar através de nuvens e durante a noite. O imageamento interferométrico por radar é o processo pelo qual as imagens de radar de um mesmo local no terreno são registradas por antenas em diferentes localizações ou em tempos diferentes (JENSEN, 2011).

A Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial *Space Shuttle Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) foi lançada em 11 de fevereiro de 2000 num período de 11 dias. Foram usados radares SAR nas bandas C e X para

adquirir dados topográficos da área emersa da Terra, entre 60 graus Norte e 56 graus Sul (NASA SRTM, 2013).

A NASA *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) processou os dados da banda C, enquanto o Centro Aeroespacial da Alemanha (*German Aerospace Center*) processou os da banda X. As superfícies topográficas produzidas encontram-se nas especificações *Interferometric Terrain Height Data* (ITHD) – 2 (Dados Interferométricos de Altitude do Terreno). O SRTM mapeou, pelo menos uma vez, 99,97 % da área alvo (119.000.000 km²). MDEs derivados do SRTM de grande parte do planeta, estão agora, disponíveis com uma resolução espacial de 30 m (90 m). No entanto, uma considerável quantidade de dados já foi processada para uma resolução de 30 m. Os dados podem ser adquiridos através do site <http://www-radar.jpl.nasa.gov/srtm> (JPL, 2014).

O datum horizontal do SRTM é o WGS 84 e o Datum Vertical EGM 96, de acordo com o International Research Centers Consortium for Spatial Information (CGIAR - CSI), 2014 e National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2014. De acordo com Chien (2000) e Rabus et al (2003), os dados da banda C oriundos da missão SRTM, com resolução espacial de 90 metros, tem uma acurácia vertical e horizontal absoluta de 16 e 20 m, respectivamente, com 90% de confiança.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar a qualidade de MDEs obtidos através de SRTM, alguns deles mostram resultados acima do esperado, porém no trabalho apresentado por Barros e Cruz (2007), na região do Vale do Paraíba, amarrado a 36 RNs, os resultados obtidos superaram as expectativas. A diferença média entre as altitudes dos MDEs SRTM testados e as das RNs foram de 4,8 m e 4,6 m, com desvios padrão de 10,1 m e 10,3 m, respectivamente.

No trabalho apresentado por Pinheiro (2006), através da utilização de 52 pontos de controle, em uma área no Sul do Brasil, cujo relevo é escarpado, o MDE SRTM analisado, com resolução espacial de 90 x 90 m, se adequou para utilização somente na escala 1: 250.000 ou menor.

No trabalho de Adami et al (2011) o objetivo era desenvolver e aplicar um método de delimitação de bacias hidrográficas para o reservatório de Itumbiara em Goiás, para tanto foram utilizados os dados de altimetria, provenientes do SRTM, levando-se em consideração a resolução espacial de 90 m e escala 1:100.000, de acordo com os trabalhos

publicados por Santos et al. (2005), Pinheiro (2006) e Oliveira e Paradella (2008), que avaliaram a precisão vertical dos modelos SRTM em regiões brasileiras distintas.

No trabalho de Faria Filho (2007), que utilizou SIG pra avaliar o potencial hidráulico em bacias hidrográficas, foi verificado que os MDEs, obtidos da altimetria das cartas do IBGE (nas escalas 1:50.000 e 1:250.000) e do SRTM, não se mostraram adequados para identificar locais com potencial para geração de energia hidrelétrica para a região estudada.

De acordo com o trabalho de Fuckner et al (2009), no caso de dados de radar, foi verificada a ocorrência de uma superestimação de alguns dados do SRTM, em relação aos advindos de MDTs de pares estereoscópicos, pelos mesmos não serem afetados pela influência de edifícios ou do estrato arbóreo superior em áreas cobertas por densa vegetação. Apesar da interferometria apresentar os melhores resultados do que a estereoscopia, a vantagem dos dados ASTER (ver descrição no item 2.4.2.2.1) em relação a dados SRTM está na maior resolução espacial. Os autores destacam que os resultados são preliminares e que novos testes deverão ser efetuados, inclusive no intuito de efetuar uma avaliação planimétrica dos modelos.

No trabalho de Medeiros, Ferreira e Ferreira (2008) foi analisada a qualidade altimétrica dos MDEs do SRTM na banda C e também das curvas de nível do mapeamento sistemático brasileiro na escala 1:100.000. O MDE SRTM foi classificado como padrão Classe A para a escala 1:100000, com incertezas menores que 25 m e um desvio padrão de 11 m para 96 % dos valores altimétricos comparados. Os autores verificaram que, enquanto o tipo de uso do solo não parece ter influenciado significativamente na qualidade dos dados SRTM, uma elevada correlação entre a declividade e a precisão dos dados foi verificada. Os valores resultantes das avaliações foram os seguintes: para declividades > 75 %, o desvio padrão calculado foi de 69 m, para as declividades entre, 0 % e 3 %, o desvio padrão calculado foi de 17 m, mostrando que, quanto maior a declividade, menor a precisão dos dados obtidos. Foi verificado também que, quando comparados, os resultados apresentados pelo MDE SRTM são melhores, em termos altimétricos, do que os resultados apresentados pelas curvas de nível do mapeamento 1:100.000.

No trabalho de Souza e Loch (2008), a proposta foi realizar o controle de qualidade do MDE do SRTM-3, para uma determinada área comparando os resultados obtidos entre o MDE original da SRTM-3 com o mesmo georreferenciado a uma base cartográfica local na escala 1:2000. Foram realizados os seguintes testes para verificar a qualidade altimétrica: verificação de erros grosseiros, teste de tendência, teste de precisão e de adequação ao PEC. As coordenadas planimétricas dos MDEs analisados foram consideradas exatas. As autoras concluíram que o MDE do original da SRTM apresentou qualidade geométrica compatível com a escala 1:250.000 na Classe A, possibilitando a geração de curvas de nível com equidistância de 100 m. O MDE do SRTM georreferenciado à escala 1:2000 apresentou qualidade geométrica compatível com a escala 1:50.000 para a Classe B e 1:100.000 para a Classe A, possibilitando a geração de curvas de nível com equidistância de 20 m.

2.4.4 Sistemas Passivos de Levantamentos Remotos

Os sistemas passivos de Sensoriamento Remoto registram a energia eletromagnética que é refletida (luz azul, verde, vermelha ou radiação infravermelho próximo) ou emitida (radiação infravermelho termal) pela superfície da Terra.

De acordo com Croce (2005) existem, atualmente, diversos sistemas sensores orbitais de Sensoriamento Remoto em operação e eles podem ser classificados didaticamente no tocante a sua principal aplicação como sendo meteorológicos, de aplicação híbrida e de recursos naturais e ou terrestres.

As imagens obtidas de sensores orbitais constituem-se, atualmente, numa das maiores fontes de informações da superfície terrestre. A introdução dos satélites de Sensoriamento Remoto e a conseqüente disponibilidade de imagens com boa resolução espacial a custos bem mais atraentes que os de produtos fotogramétricos tradicionais, motivaram a discussão sobre as possibilidades de seu uso.

A qualidade das imagens é condicionada a sua resolução espacial e ao método de correção geométrico aplicado. Atualmente, as imagens provenientes dos sensores de altíssima resolução espacial (pixel igual ou

menor que 1 m) são uma alternativa para o mapeamento de diversas feições, inclusive a extração de altimetria.

De acordo com Barros e Cruz (2007), produtos oriundos de Sensoriamento Remoto na planimetria já é realidade no Brasil há mais de uma década, porém a extração de dados altimétricos ainda é novo e não amplamente consagrado, apesar da grande demanda existente. A maior parte dos MDEs ainda é oriunda de restituição aerofotogramétrica. No entanto, a disponibilização dos MDEs SRTM na internet e de outros sensores orbitais passivos (a estes se juntam os modelos do ASTER GDEM), capazes de adquirir pares estereoscópicos com melhor qualidade e confiabilidade, estão contribuindo para alterar esta situação.

Neste trabalho, a atenção é dedicada ao sensor passivo ASTER. De uma infinidade de sensores passivos diferentes é possível realizar a aquisição de pares de imagens para restituir a altimetria, porém, outros sensores não serão descritos, por não estarem disponíveis para avaliação nas áreas de estudo.

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

O ASTER é um esforço de cooperação entre a NASA, o Ministério do Comércio Internacional e Indústria do Japão (METI). Único instrumento com resolução espacial relativamente alta a bordo do satélite Terra e obtém dados em 14 canais posicionados desde a região do visível até a do infravermelho termal do espectro eletromagnético (JENSEN, 2011).

Os produtos ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*) são um resultado de um consórcio entre a NASA, o METI, o *Earth Resources Data Analysis Center* (ERSDAC) e o *United States Geological Survey* (USGS) para construção de uma MDE global de livre acesso. A partir de 2009, MDEs construídos com base em pares estereoscópicos de imagens oriundas do instrumento ASTER, foram disponibilizados gratuitamente e sem restrições (ASTER GDEM, 2011).

Para obtenção dos dados de elevação da superfície o sensor opera no modo estereoscópico com as bandas 3 N (Nadir) e 3 B

(*Backward*)correspondentes a faixa do infravermelho próximo. Este produto apresenta uma resolução espacial de 30 m e recobre todo globo sendo a mais completa base da superfície da Terra, cobrindo 99% de sua superfície, entre as latitudes de 83 graus Norte e 83 graus Sul, com imagens de 1 grau por 1 grau (RODRIGUES, DEBIASI E SOUZA, 2010).

A acurácia declarada vertical dos MDEs ASTER GDEM é de 20 m e a horizontal é de 30m (1 pixel) para 95% dos pontos coletados na amostra (ASTER GDEM, 2011).

As avaliações em relação ao PEC realizadas por Rodrigues et al (2010), utilizando 57 pontos de controle como referência, mostram que a média das diferenças altimétricas entre as imagens testadas e as coordenadas de referência foi menor que o valor apresentado pela USGS. O erro médio quadrático resultante confirma que o valor apresentado pela USGS condiz com a acurácia alcançada pelo produto. Os autores concluíram que o produto testado inseriu-se na escala máxima de 1:100.000 tanto para a classe A quanto para as classes B e C do PEC e uma equidistância mínima entre as curvas de nível de 50 metros.

2.4.5 Cartografia Sistemática Brasileira

A base de dados da Cartografia Sistemática Brasileira é proveniente de diversas missões de levantamentos outrora realizados, que mesclavam técnicas topográficas clássicas, bem como fotogramétricas.

Classicamente, uma carta é uma representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes; representação plana, geralmente em média e grande escala, de uma superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, que obedece a um plano nacional ou internacional (OLIVEIRA, 1980).

De acordo com Duarte (2008), uma série cartográfica é a sistematização de um conjunto de mapas, a fim de definir a padronização de sua representação. Tal sistematização é necessária quando a escala não é capaz de abranger toda a região mapeada.

A história da Cartografia Sistemática Brasileira inicia em 1890, quando foi criado o Serviço Geográfico Militar para a execução dos trabalhos geodésicos e geográficos da República dos Estados Unidos do Brasil. Em 1922, houve o aparecimento da Carta do Brasil ao Milionésimo, com uma sistematização baseada na concepção da Carta do Mundo ao Milionésimo, estabelecida em Londres em 1909 através de convenção internacional como plano mundial.

A Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo é um esquema de articulações em escala 1:1.000.000 que fornece informações sobre a posição da área mapeada, padronizando referências cartográficas. A Conferência Técnica das Nações Unidas, realizada em Bonn em 1962, teve como objetivo rever as especificações definidas nos encontros de Londres (1909) e em Paris (1913) (SANTOS, 1989). Em 1967, foi aprovado o Sistema Cartográfico Nacional e em 1972 a Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou o álbum com as 46 cartas em escala 1: 1.000.000 que recobrem todo o território nacional.

A Cartografia Sistemática no Brasil, de acordo com o Decreto Lei nº 243/1967, tem por finalidade a representação do espaço territorial brasileiro por meio de cartas, elaboradas seletiva e progressivamente, consoante prioridades conjunturais, segundo os padrões cartográficos terrestre, náutico e aeronáutico. A Cartografia Sistemática terrestre básica tem por fim a representação da área terrestre nacional, através de séries de cartas gerais contínuas, homogêneas e articuladas em escalas padrão (BRASIL, 1967).

O mapeamento sistemático, de acordo com o IBGE (2011) “Congrega o conjunto de procedimentos que têm por finalidade a representação do espaço territorial brasileiro, de forma sistemática, por meio de séries de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, em consonância com as prioridades conjunturais, nas escalas padrão de 1:1.000.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.”

O estabelecimento de Normas Técnicas para a Cartografia Brasileira compete:

- Ao **Conselho Nacional de Geografia (CNG)**, do IBGE, no que

- concerne à rede geodésica fundamental e às séries de cartas gerais, das escalas menores que 1:250.000;
- À **Diretoria do Serviço Geográfico** (DSG), do Ministério da Guerra, no que concerne às séries de cartas gerais, das escalas entre 1:250.000 e maiores;
 - À **Diretoria de Hidrografia e Navegação** (DHN), do Ministério da Marinha, no que concerne às cartas náuticas de qualquer escala;
 - À **Diretoria de Rotas Aéreas** (DRA), do Ministério da Aeronáutica, no que concerne às cartas aeronáuticas de qualquer escala.

As Normas Técnicas relativas às cartas temáticas e especiais, não referidas no artigo 15, Capítulo VIII do Decreto Lei nº 243/1967, são estabelecidas pelos órgãos públicos federais interessados, na esfera de suas atribuições, atendido o disposto no artigo 11 do mesmo Decreto Lei.

O que há pouco tempo era considerado o produto final da fotogrametria, a carta, é atualmente nada mais do que o conjunto de dados que constitui a base geográfica de qualquer SIG, sobre a qual se combinam dados de natureza não geográfica, tanto para obtenção de novas cartas temáticas, quanto para permitir análises de variadas situações (REDWEIK, 2007). Neste sentido, produtos da Cartografia Sistemática Brasileira em forma de Mapa Índice Digital, são disponibilizados via internet, conforme descrição retirada do site do IBGE abaixo:

“Mapa Índice Digital

A representação do território, através de mapas e cartas, é insumo essencial no desenvolvimento e na gestão territorial. A existência e grau de atualização do mapeamento, são subsídios à muitos processos decisórios. As informações (ano da última edição, escala disponível, órgão editor, produtos existentes, etc.), referentes às escalas do mapeamento sistemático do país, são básicas para o planejamento de diversos projetos internos não só ao IBGE e à DSG do Exército como, também, as demais instituições públicas e privadas.

Num esforço conjunto, o IBGE, através do Departamento de Cartografia da Diretoria de Geociências, e a DSG, através da

5ª Divisão de Levantamento, desenvolveram um projeto que, além de subsidiar os trabalhos elaborados internamente às instituições, tem como proposta, a disponibilização dos dados e informações referentes ao mapeamento sistemático do país através de um Mapa Índice, que passa a ter sua versão em ambiente digital.

O propósito de um Mapa Índice é servir de referência a respeito do mapeamento sistemático existente no país, informando, por exemplo, seus órgãos executores e divulgadores. Em ambiente analógico, essa proposta apresenta dificuldades quanto à representação gráfica das informações associadas às diferentes escalas do Sistema Cartográfico Nacional, principalmente nas escalas maiores como, por exemplo: 1:25.000 e 1:50.000, e dificuldades quanto a manutenção das informações, em constante atualização por parte dos órgãos produtores do mapeamento sistemático.

A edição em ambiente digital do Mapa Índice objetiva fornecer informações atualizadas sobre o mapeamento sistemático existente. Este produto é composto por um conjunto de bases cartográficas e informações alfanuméricas associadas ao mapeamento, permitindo sua recuperação e apresentação tanto em meio analógico quanto em meio digital.”

2.5 Topologia, Morfologia e Representação do Relevo

De acordo com Espartel (1965), a Topografia (descrita no item 2.4.1) compreende a Topometria, ou ciência de medir no terreno os elementos necessários à produção da carta ou planta (planimetria e altimetria) e o Desenho Topográfico, ou a arte de construir com precisão uma planta que corresponda fielmente ao levantamento realizado, com todos os detalhes existentes. Para realização do desenho, faz-se necessário o conhecimento da anatomia do terreno, ou do estudo das formas e leis que regem seu modelato, e que constitui a parte descritiva ou anatômica, chamada Topologia. Um trabalho topográfico deve compreender três partes distintas, a Topometria (parte matemática) a Topologia (parte interpretativa) e o Desenho topográfico (parte artística). A topologia deve preceder as outras duas, pois o estudo das formas exteriores da

superfície da Terra e das leis que regem seu modelato facilita a representação em carta.

Em relação à origem e forma da Terra, a primeira teoria formulada para explicar a conformação do nosso sistema solar, e, portanto, da Terra, deve-se a Emmanuel Kant, em 1755, no seu trabalho *História Geral da Natureza e Teoria do Céu* (KANT, 1984). Outras teorias seguiram, mas a mais aceita foi a fórmula apresentada por Laplace.

Em relação ao modelato estrutural ou topográfico, a crosta terrestre, em contínuos deslocamentos, devido à ação de causas internas, tomou de início uma forma irregular, cheia de depressões e elevações, sem formas definidas, constituindo sua superfície estrutural. Outros fenômenos de ordem externa (erosão), como a chuva, o vento, o calor, o frio, dentre outros, concorreram com a ação mecânica e química para desagregar os acidentes elevados e arrastá-los para as baixadas. A ação destes agentes externos transformou a superfície estrutural em uma superfície escultural, ou modelato topográfico (ESPARTEL, 1965). De acordo com o autor a ação da erosão se exerce de maneira dupla: de um lado, desbastando as saliências e rompendo os diques, que se opunham aos efeitos da gravidade, e de outro, formando pouco a pouco os terrenos sedimentares. Estes poderão ser locais, quando formados no próprio local, com terras da mesma natureza que as dos terrenos circunvizinhos; e de aluvião, quando resultantes de depósitos dos produtos de outras regiões.

Ross (1992), também concorda que fenômenos de ordem externa formaram as unidades padrões de formas semelhantes ou as unidades morfológicas que retratam um determinado aspecto fisionômico que decorre das influências dos processos erosivos mais recentes, ou seja, posteriores a aqueles que se encarregam de esculpir depressões, planaltos de níveis intermediários, entre outros. São unidades que apresentam dimensões de áreas menores, idades mais recentes e processos erosivos que favorecem a dissecação do relevo. Esta unidade pode ser relacionada com o que Demek (1972) chamou de tipos de relevo.

Para as águas, em qualquer estado, sólido, líquido ou gasoso e, principalmente, às águas correntes é que pode ser atribuída a forma atual da superfície terrestre e é princípio da Hidrologia que toda a água que cai sobre o solo, abstração feita da que se evapora ou se infiltra, vai ter

ao mar, por mais afastada que esteja o litoral do ponto de partida e por mais fraca que seja a declividade do terreno na região percorrida, donde vem a observação da perfeita continuidade dos declives (ESPARTEL, 1965).

As sucessivas modificações de declividades, que vem observando através dos séculos, não são mais do que as ações química e mecânica de erosão das águas, as primeiras subterrâneas e as segundas sobre a superfície topográfica.

A morfologia, geograficamente falando, se subdivide em: aspectos morfográficos e parâmetros morfométricos. Os aspectos morfográficos descrevem o terreno quanto à sua forma e à sua aparência. Os parâmetros morfométricos são quantitativos das formas do relevo, como o grau de dissecação do relevo pela drenagem, a declividade e a amplitude altimétrica.

De acordo com Jensen (2011), o estudo da geomorfologia envolve uma análise em relação a alguns processos principais que promovem constante erosão ou deposição de materiais, incluindo o movimento da água (fluvial), do gelo (glacial), do vento (eólico) e de águas subterrâneas.

2.5.1 Geomorfologia e Relevo

Formas de relevo são feições tridimensionais da superfície terrestre formadas por processos naturais, como vulcões, platôs, cadeias de montanhas, canais de drenagem, entre outros. A Geomorfologia é a ciência que estuda a natureza e a história das formas de relevo, bem como os processos de intemperismo, erosão e deposição que a originaram (BOCCO ET AL (2005) APUD JENSEN (2011))

Geomorfologia, de acordo com Guerra (1972), é a ciência que estuda as formas do relevo, a sua gênese, estrutura, natureza das rochas, o clima da região e as diferentes forças endógenas e exógenas que, de forma geral, entram como fatores modeladores do relevo terrestre.

De acordo com Ross (1992), a Geomorfologia desenvolve métodos de análises genéticas próprias e tem como objeto de estudo as formas de relevo, onde a coloca em situação privilegiada para a aplicação de

interesses ambientais; o relevo participa como um dos componentes que serve como indicador das potencialidades dos recursos naturais e, ao mesmo tempo, das fragilidades dos ambientes naturais.

Como relevo, denomina-se o conjunto heterogêneo das formas que compõem a superfície da terra. O relevo se concretiza através da geometria que suas formas apresentam e seu modelado ocorre pelas diferenciações locais e regionais da silhueta da topografia (DEVICARI, 2009).

Muitas formas de relevo exibem atributos observáveis e repetíveis, tais como tamanho, forma, altura, topografia tridimensional, composição, declividade, aspecto, etc. Estes atributos podem ser utilizados para classificar as formas do terreno nas seguintes classes (JENSEN, 2011):

- Formas ígneas
- Formas desenvolvidas em estratos horizontais
- Formas desenvolvidas em estratos dobrados
- Formas controladas por falhas
- Formas fluviais
- Formas cársticas
- Formas costeiras
- Formas glaciais
- Formas eólicas
- Formas de encostas

Existem outras subdivisões da Geomorfologia em relação aos seus atributos, mas devido à finalidade do trabalho somente as formas fluviais e de encostas terão uma descrição aprofundada.

A Geomorfologia Fluvial é o ramo que estuda as formas e estruturas provocadas pela dinâmica dos rios. Este subcampo é muitas vezes confundido com o campo da hidrografia. Formas de terrenos fluviais são criadas pelo intemperismo, erosão, transporte e deposição de materiais pelo fluxo da água. Os processos fluviais criam formas de terreno erosionais e deposicionais em praticamente todas as regiões do globo, onde os rios são agentes ativos destas mudanças geomórficas. Algumas das mais importantes formas de terrenos incluem vales cortados por rios, planícies de inundação, terraços, deltas, leques aluviais, entre outros (BOCCO ET AL (2005) APUD JENSEN (2011)).

2.5.2 Morfologia Matemática

A Morfologia Matemática, elaborada inicialmente por Georges Matheron e Jean Serra (SERRA, 1982), concentra seus esforços no estudo da estrutura geométrica das entidades presentes em uma imagem. A morfologia matemática pode ser aplicada em várias áreas de processamento e análise de imagens, com objetivos distintos como realce, filtragem, segmentação, detecção de bordas, esqueletização, afinamento, dentre outras (MARQUES FILHO E VIEIRA NETO, 1999).

O princípio básico da morfologia matemática consiste em extrair as informações relativas à geometria e à topologia de um conjunto desconhecido (uma imagem), pela transformação de outro conjunto completamente definido, chamado elemento estruturante. Portanto, a base da morfologia matemática é a teoria de conjuntos. Por exemplo, o conjunto de todos os pixels pretos em uma imagem binária descreve completamente a imagem (uma vez que os demais pontos só podem ser brancos). Em imagens binárias, os conjuntos em questão são membros do espaço inteiro bidimensional Z^2 , onde cada elemento do conjunto é um vetor em duas dimensões (2D), cujas coordenadas são as coordenadas (x,y) do pixel preto (por convenção) na imagem. Imagens com mais níveis de cinza podem ser representadas por conjuntos cujos elementos estão no espaço Z^3 . Neste caso, os vetores têm três elementos, sendo os dois primeiros as coordenadas do pixel e o terceiro seu nível de cinza.

2.5.3 Aspectos do Relevo

Pela sua importância e complexidade, a representação do relevo é, usualmente, tratada separadamente em estudos sobre cartas topográficas. As características do relevo que devem ser representadas em mapas são: tridimensionalidade e continuidade. Estas duas características, definem os dois elementos principais do relevo: altitude e declividade. Portanto, para que a classificação represente de forma completa o relevo, esta deve contemplar estes dois elementos, através de três diferentes métodos, que denominamos: pontos altimétricos, curvas de nível e cores hipsométricas (VIEIRA ET AL, 2004).

De acordo com o IBGE (2011a), o relevo de uma determinada área pode

ser representado através de curvas de nível, perfis topográficos, relevo sombreado, cores hipsométricas, entre outros.

Neste trabalho, só serão descritos os conceitos acerca dos pontos altimétricos e curvas de nível, uma vez que estas são as representações utilizadas no mapeamento sistemático, bem como nos produtos utilizados nas avaliações.

Elementos Geométricos do Relevo

Os elementos geométricos do relevo, segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (BRASIL, 2007) podem ser classificados, geometricamente, de acordo com suas inclinações ou declividades.

A Declividade de um terreno é medida pela equidistância natural das curvas de nível, dividida pelo afastamento natural entre as curvas de nível consecutivas. A linha de maior declive é dada pela menor distância entre as duas curvas, isto é, pela perpendicular comum. Assim, quanto menor for o afastamento das curvas de nível representativas do acidente, tanto maior será a declividade do terreno entre elas compreendido (ESPARTEL, 1965). A Inclinação traduz o ângulo médio da encosta com eixo horizontal medido, geralmente, a partir de sua base (FIGURA 1). A declividade representa o ângulo de inclinação em uma relação percentual entre o desnível vertical e o comprimento na horizontal da encosta (**Erro! Argumento de opção desconhecido.**). As formulações de inclinação e declividade estão descritas abaixo:

$$\alpha = \text{ARCTAN} (H/L) \quad (04)$$

$$D = H/L \times 100 \quad (05)$$

Onde:

- α é a inclinação;
- D é a declividade;
- H é o comprimento na vertical;
- L é o comprimento na horizontal.

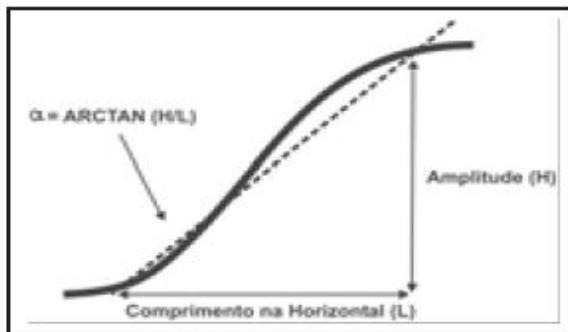


FIGURA 1: Cálculo da inclinação de uma encosta.
Fonte: BRASIL (2007).

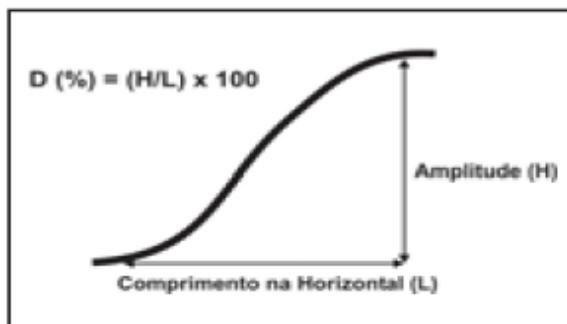


FIGURA 2: Cálculo da declividade.
Fonte: BRASIL (2007).

O QUADRO 7 apresenta a relação entre os valores de inclinação e declividade. Ressalta-se que esta relação não é proporcional.

QUADRO 7: Relação entre inclinação e declividade.

Inclinação	Declividade
$\alpha = \arctan (H/L)$	$D (\%) = (H/L) \times 100$
45°	100 %
~ 27°	50 %
~ 17°	30 %
~ 11°	20 %
~ 7°	12 %
~ 3°	6 %

Fonte: BRASIL (2007).

A declividade de uma bacia pode ser determinada através do Método das Quadrículas. Este método consiste em lançar sobre o mapa topográfico da bacia, um papel transparente sobre o qual está traçada uma malha quadriculada, com os pontos de interseção assinalados. A cada um desses pontos, associa-se um vetor perpendicular à curva de nível mais próxima (orientado no sentido do escoamento). As declividades em cada vértice são obtidas, medindo-se na planta, as menores distâncias entre curvas de níveis subsequentes; a declividade é o quociente entre a diferença da cota e a distância medida em planta entre as curvas de nível (TUCCI, 1998).

Santos, Gaboardi e Oliveira (2005), também definiram classificações de declividade, porém em função da geomorfologia do terreno (FIGURA 3):

- **Plano** - superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desniveis são muito pequenos. Declividades menores que 3%;
- **Suave ondulado** - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e, ou, outeiros (elevações de altitudes relativas da ordem de 50 m a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves, de 3 a 8%;
- **Ondulado** - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e, ou, outeiros, apresentando declives acentuados, entre 8 e 20%;
- **Forte ondulado** - superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e, ou, morros (elevações de 100 a 200 m de altitude relativa) com declives fortes, entre 20 e 45%;
- **Montanhoso** - superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas e maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, de 45 a 75%;
- **Escarpado** - regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos, como: aparado, itaimbé, frente de *cuestas*, falésia, flanco de serras alcantiladas, vertente de declive muito forte de vales encaixados. Declividades maiores que 75%.

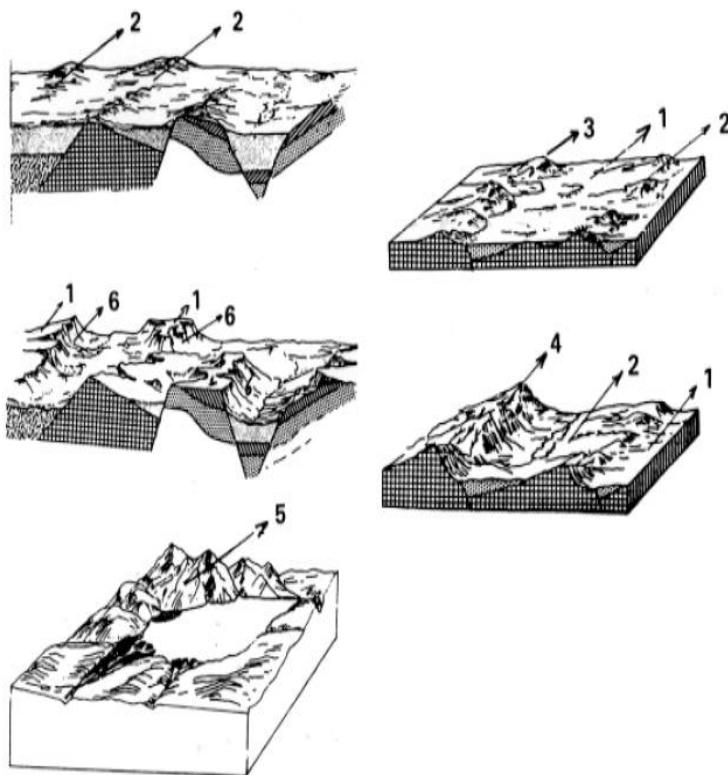


FIGURA 3: Formas de relevo.

Fonte: Santos, Gaboardi e Oliveira (2005).

Onde na Figura 3, o número 1 significa relevo plano, o 2 relevo suave ondulado, o 3 relevo ondulado, o 4 relevo forte ondulado, o 5 relevo montanhoso e o 6 relevo escarpado.

No trabalho de Beltrame (1994), o parâmetro declividade média foi utilizado para caracterizar o relevo dos setores de uma bacia hidrográfica. O valor numérico resultante também compôs uma fórmula descritiva para cada setor. Para determinar a declividade média, a autora determinou a área de cada setor da bacia e a longitude total das curvas de nível de cada setor. A fórmula geral e os respectivos símbolos e subíndices, são apresentados a seguir, no Quadro 8.

$$DM = (L C N \times E) / A \quad (06)$$

Onde:

- DM é a declividade média;
- LCN é a Longitude das Curvas de Nível por setores;
- E é a equidistância das curvas de nível; e
- A é a área do setor.

QUADRO 8: Classes de declividade.

Declividade	Relevo	Símbolo e Subíndice
Até 8 %	Suave Ondulado	DM1
9 a 20 %	Ondulado	DM2
21 a 45 %	Forte Ondulado	DM3
Acima de 45 %	Montanhoso e Escarpado	DM4

Fonte: Beltrame (1994).

De acordo com Beltrame (1994) as classes de declividade são bastante diversificadas de autor para autor; não há uma classificação definitiva a ser adotada em nível nacional ou estadual.

Curvas de Nível

A curva de nível se constitui de uma linha imaginária do terreno, em que todos os pontos da referida linha têm a mesma altitude, acima ou abaixo de uma determinada superfície da referência, geralmente o nível médio do mar (IBGE, 2011).

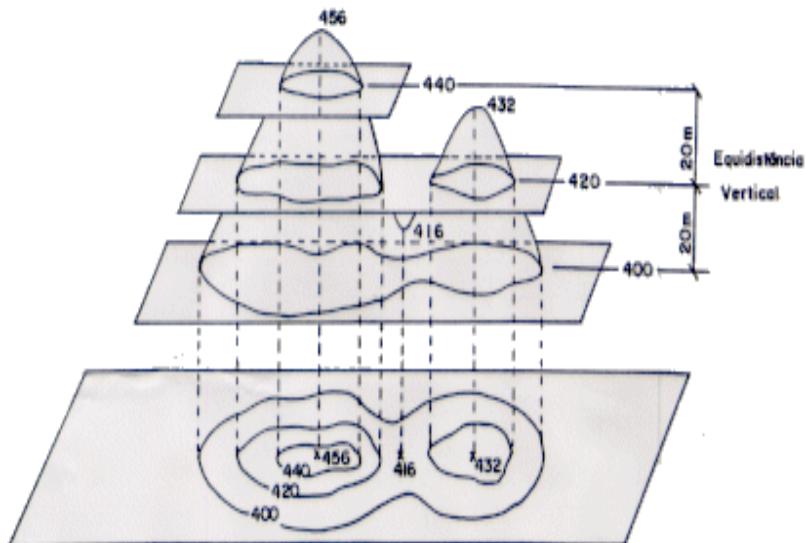


FIGURA 4: Curvas de Nível.
Fonte: IBGE (2011).

As principais características das curvas de nível são:

- Tendem a ser quase que paralelas entre si;
- Todos seus pontos se encontram na mesma elevação;
- Fecha-se sempre sobre si mesma;
- Nunca se cruzam, podendo se tocar em saltos d'água ou despenhadeiros;
- Em regra geral, cruzam os cursos d'água em forma de "V", com o vértice apontando para a nascente.

A natureza da topografia do terreno determina as formas das curvas de nível. Assim, estas devem expressar com toda fidelidade o tipo do terreno a ser representado. As curvas de nível vão indicar se o terreno é plano, ondulado, montanhoso ou se o mesmo é liso, íngreme ou de declive suave (IBGE, 2011).

Na representação cartográfica, sistematicamente, a equidistância entre uma determinada curva e outra tem que ser constante. A equidistância é o espaçamento, ou seja, a distância vertical entre as curvas de nível. Essa equidistância varia de acordo com a escala da carta, com o relevo e

com a precisão do levantamento.

Só deve haver numa mesma escala duas alterações quanto à equidistância. A primeira é quando, numa área predominantemente plana, por exemplo, a Amazônia, precisa-se ressaltar pequenas altitudes, que ali são de grande importância. Estas são as curvas auxiliares. No segundo caso, quando o detalhe é muito escarpado, deixa-se de representar uma curva ou outra porque além de sobrecarregar a área dificulta a leitura.

A equidistância não significa a distância de uma curva em relação à outra, e sim a altitude entre elas, ou seja, o desnível entre as curvas (IBGE, 2011).

Para que cartas de escalas diferentes tenham uma mesma densidade de curvas de nível, de modo que a leitura do relevo seja semelhante quando se muda de escala, é comum utilizar uma mesma equidistância gráfica. A equidistância gráfica é a equidistância natural reduzida à escala da carta. Em Portugal é comum utilizar-se a equidistância gráfica de 1 mm para as plantas (0.8 mm nas escalas quádruplas), enquanto para as cartas os valores utilizados são metade destes valores, 0.5 mm e 0.4 mm. O traçado das curvas deve obedecer algumas regras: curvas são sempre fechadas nos limites da representação cartográfica; não se cruzam na sua representação horizontal e; sofrem uma inflexão ao cruzarem uma linha de água, cuja concavidade fica virada para jusante e convexidade para montante (BAIO, 2007).

Para determinar a altitude de um ponto situado entre duas curvas de nível sucessivas é necessário considerar se o declive é constante entre elas. Traça-se um segmento de reta entre as duas curvas passando pelo ponto a determinar (menor distância entre as duas curvas), e depois se medem as distâncias entre as curvas, e entre a curva e o ponto. Pelo mesmo método determina-se a diferença de altitude entre a curva e o ponto. A altitude deste é dada pela altitude da curva mais a diferença de altitude determinada.

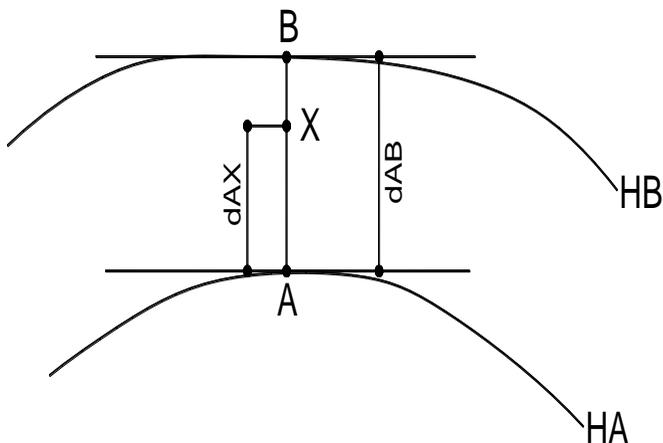


FIGURA 5: Interpolação de altitudes entre curvas de nível.

Fonte: Baio (2007).

2.6 Modelo Digital de Elevação – MDE

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) do termo em inglês *Digital Elevation Model (DEM)*, pode ser definido como um arquivo ou base de dados contendo pontos de elevação numa área contígua (JENSEN, 2011) ou, ainda, uma representação matemática computacional da distribuição espacial que descreve a característica de um fenômeno na superfície de uma região terrestre (FELGUEIRAS E CÂMARA, 2013).

De acordo com Jensen (2011) os MDEs podem ser subdivididos em Modelos Digitais de Superfície (MDS), que contém informação de elevação de todas as feições na paisagem, como a vegetação, edifícios e estruturas e; Modelos Digitais de Terreno (MDT), que contém informação de elevação da superfície desnuda da Terra, sem a influência da vegetação ou das estruturas construídas pelo homem.

A informação sobre elevação é um componente crítico nas bases de dados geográficos utilizada por muitas agências internacionais (*Department of Defense (DoD)*; *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*; *United States Geological Survey (USGS)*). Ela é tão

importante que o Programa Nacional de Elevação Digital (*National Digital Elevation Program (NDEP)*) foi criado para incentivar o uso compartilhado dos dados das agências federais, estaduais e locais, do setor comercial e do acadêmico, com o objetivo de minimizar as redundâncias na produção de dados de sobre elevação (NDEP (2006) APUD JENSEN (2011)). Esses dados são usados em um grande número de aplicações práticas, como no mapeamento de áreas de inundação, no planejamento regional, entre outros.

A maioria dos dados de elevação é arquivada em MDEs, que podem ser analisados conjuntamente com outros dados espaciais em um único SIG.

Para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável a elaboração e a criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno (FELGUEIRAS E CÂMARA, 2013).

De acordo com vários autores (SAITO (2011), CHAVES (2002), BAENA (2002), MOREIRA (2006) E PIRES ET AL (2005)), o processo de geração de um MDE pode ser descrito em cinco fases: amostragem dos dados digitais altimétricos e da rede de drenagem; pré-processamento dos dados; geração do MDE com o uso de um interpolador; pós-processamento do MDE gerado; e validação do MDE gerado ou a sua aplicabilidade.

A amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse, geralmente representadas por curvas de nível e pontos tridimensionais. O pré-processamento consiste em preparar os dados de entrada para que todos os dados digitais estejam com consistência, qualidade e estrutura mínimas aceitáveis. A modelagem envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno através das amostras (interpolação). O pós-processamento visa eliminar imperfeições geradas na etapa anterior como as chamadas depressões espúrias e, busca-se também, nesta etapa, garantir a coincidência espacial da drenagem numérica do modelo com a drenagem vetorial digital, compiladas das bases cartográficas. A validação do modelo gerado pode ser realizada por simples reconhecimento visual, por validações cruzadas baseadas em relações de vizinhança, por superposição de curvas de nível ou por comparação

estatística com pontos de controle (SAITO (2011) E PIRES ET AL (2005)).

Neste trabalho, só serão descritos conceitualmente as metodologias para aquisição das amostras ou amostragem e a geração do modelo propriamente dito ou interpolação. Após a geração dos modelos, serão realizadas as aplicações diretamente nos resultados.

2.7 Teoria Elementar da Amostragem e da Decisão Estatística

Conforme Spiegel (1978), a teoria da amostragem é o estudo das relações existentes entre uma dada população e as amostras dela extraídas. É utilizada para avaliação de grandezas desconhecidas da população (parâmetros populacionais), por meio das grandezas correspondentes das amostras (estatísticas amostrais) e também para determinar se as diferenças observadas entre duas amostras são devidas a uma variação casual ou se são verdadeiramente significativas. As respostas para essa questão implicam no uso dos testes de significância e hipótese que são importantes na teoria das decisões.

Geralmente, um estudo a respeito de uma população mediante a utilização de amostras, juntamente com indicação de precisão obtida por meio de teoria da probabilidade, é denominada inferência estatística. Logo, uma decisão estatística é uma decisão tomada acerca de populações baseada nas informações amostrais.

A definição de critérios para escolha do número de pontos para avaliação da qualidade pode ser executada através de método estatístico, especificamente a função estatística de Pereira (1978).

$$n := \frac{(Z^2 \cdot \gamma^2 \cdot N)}{\left[(N - 1) \cdot (\text{er})^2 + (Z^2 \cdot \gamma^2) \right]} \quad (07)$$

$$\text{er} := \frac{\varepsilon}{\mu} \quad (08)$$

$$\gamma := \frac{\sigma}{\mu} \quad (09)$$

Onde:

- n = tamanho da amostra (pontos de controle)
- N = tamanho da população (pontos discretizados de uma base cartográfica)
- ε = erro amostral
- ε_r = erro amostral relativo
- σ = desvio padrão amostral em metros
- μ = média amostral
- z = intervalo de confiança da tabela de Distribuição Normal (90%)
- γ = Relação entre o desvio padrão e a média amostral

2.6.2 Interpolação Espacial

A definição mais simples de interpolação envolve o processo de determinar valores desconhecidos de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados. Esse processo é constituído de duas partes: 1) a definição de um relacionamento de vizinhança – saber quais pontos são os vizinhos apropriados; e 2) a definição de métodos que calcularão os valores desconhecidos. O balanço entre essas duas partes pode variar. A interpolação assume que o fenômeno que está sendo predito (elevação do terreno) é aproximado pela função matemática usada. Os valores desconhecidos são então calculados de acordo com esta função. A escolha de um modelo apropriado, expresso mediante função matemática, é essencial para obter resultados razoáveis. Os melhores resultados são obtidos quando a função matemática se comporta de maneira similar ao fenômeno (MIRANDA, 2010).

De acordo com Meijering (2002) a interpolação surgiu na região da Mesopotâmia como método de predição do tempo através das observações astronômicas. Na antiguidade, a astronomia era a única forma de orientação temporal para a realização de práticas importantes, como por exemplo, a agricultura. Com esta finalidade, foram desenvolvidos métodos para predizer os eventos ainda não ocorridos, chamados de efemérides, através da observação dos astros em regulares intervalos de tempo. As efemérides possuíam lacunas, derivadas de algum evento atmosférico impeditivo. Do estudo de efemérides astronômicas antigas encontrados em tabuletas cuneiformes provenientes de Uruk e da Babilônia do período Selúcida (os últimos três séculos antes de Cristo - a.C.), o historiador matemático Neugebauer (1955 e 1975), concluiu que a interpolação foi utilizada a

fim de preencher as lacunas existentes. Através da interpolação linear foram desenvolvidos métodos complexos de interpolação, alguns deles utilizados até hoje. Conforme o autor, paralelamente a este período na Grécia antiga, métodos de interpolação também foram utilizados. Toomer (1978) considera que Hiparco de Rodas (190-120 a.C. (antes de Cristo)) utilizou interpolação linear na construção de tábuas chamadas de "*chord function*" (função corda), relacionados com a função seno, para fins de cálculo das posições dos corpos celestes.

Exemplos de interpolação também são encontrados no Almagesto ("A Compilação da Matemática", 140 d.C. (depois de Cristo), do Egípcio - Greco matemático e astrônomo Cláudio Ptolomeu, que propunha a visão geocêntrica do universo que prevaleceu até o século 16. Além de teórico, o influente trabalho de Ptolomeu também contém tabelas numéricas de uma ampla variedade de funções trigonométricas definidas para efeitos astronômicos. Para evitar cálculos tediosos envolvidos na construção de tabelas de funções de mais de uma variável, ele usou uma abordagem que equivale à tabulação de função apenas da variável para a qual a função mais varia, dado dois delimitadores de valores da outra variável e para fornecer uma tabela de coeficientes para ser usado em um esquema de interpolação linear "adaptado" para o cálculo da função para valores intermediários desta última variável (BRUMMELEN, 1994).

Existe uma grande demanda por informações altimétricas, principalmente advindas de modelos digitais de terreno baseados em elevação, porém um grande volume de dados ainda está disponível em curvas de nível e/ou pontos cotados, principalmente os obtidos manualmente através de digitalização de mapas analógicos, fotos aéreas ou levantamentos topográficos. Estes dados em forma vetorial necessitam de interpoladores para a sua transformação em forma raster. O principal problema na geração de mapas de altitude através de curvas de nível é determinar a altitude entre as curvas. Este fato sugere imediatamente a necessidade de algum método de interpolação, de modo que através de duas curvas adjacentes possa se determinar a altitude exata entre elas.

Partindo-se de uma visão ampla e geral, o conceito que norteia a base teórica da interpolação espacial é a similaridade. Nessa linha de raciocínio, os valores de pontos próximos no espaço têm maior probabilidade de serem parecidos do que os pontos que estão mais

afastados. A interpolação espacial, portanto, assume que os atributos dos dados são contínuos e espacialmente dependentes. Estas considerações permitem o desenvolvimento dos métodos de interpolação espacial (IESCHECK 2006).

A interpolação, de acordo com Landin (2000), é um procedimento matemático de ajuste de uma função à pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados, com definição do reticulado, espaçamento e origem. Podem ser exatos quando não geram resíduos e aproximados quando geram algum tipo de resíduo. O autor diz que a interpolação ideal acontece quando: a superfície interpolada ajusta-se aos dados e a um determinado nível de precisão, ou seja, é fiel aos dados dentro de um limite arbitrário definido pelo usuário; a superfície interpolada é contínua e suave em todos os locais, ou seja, tem gradiente finito em todo local onde a interpolação for necessária; cada valor interpolado depende apenas do subgrupo local de dados, e os membros deste subgrupo são determinados somente pela configuração dos dados que, de algum modo, são próximos ao ponto interpolado; o método pode ser aplicado à todas as configurações e padrões de densidade dos dados.

Interpolação Manual

Na interpolação manual, o procedimento normal é localizar as duas curvas de nível de ambos os lados do ponto em questão. Uma linha reta é desenhada tentando cruzar os contornos em ângulos retos. Essa linha reta é uma simplificação para a linha de descendência máxima. A interpolação linear proporciona o valor entre os dois valores de contorno (FIGURA 6). Esse procedimento é automatizado no SIG, mas o fator humano pode construir essas linhas de formação numa maneira melhor do que na maioria dos algoritmos automatizados (CHRISMAN (1997) APUD MIRANDA (2010)).

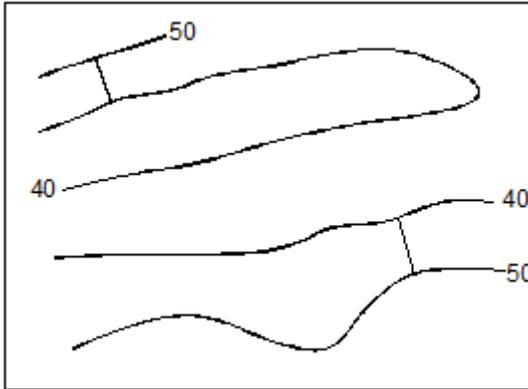


FIGURA 6: Linha de Descendência Máxima.
Fonte: Miranda (2010).

A Figura 6 e a Figura 8 dão uma ideia simples do que se entende por interpolação. Supondo dois valores conhecidos P_1 e P_2 . Nesse caso, qualquer valor entre esses dois pontos conhecidos pode ser calculado pela função matemática que satisfaz a estes dois pontos. Diz-se que os valores desconhecidos entre esses dois pontos estão interpolados, ou seja, entre polos. Na Figura 7, a reta é a função que explica o fenômeno. Portanto, qualquer ponto entre P_1 e P_2 pode ser calculado pela equação da reta. No entanto, a função poderá ser uma curva, gerando uma função de interpolação não linear (Figura 8) (MIRANDA, 2010).

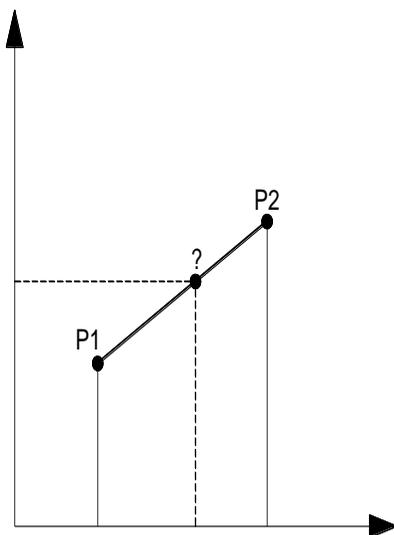


FIGURA 7: Interpolação linear.

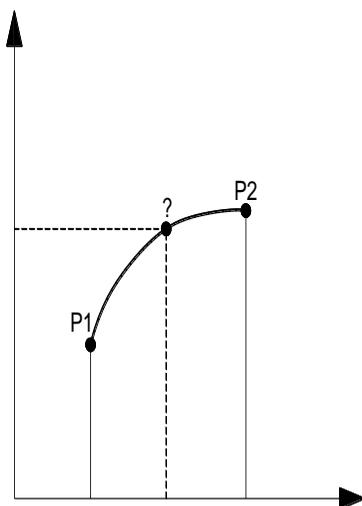


FIGURA 8: Interpolação não linear.

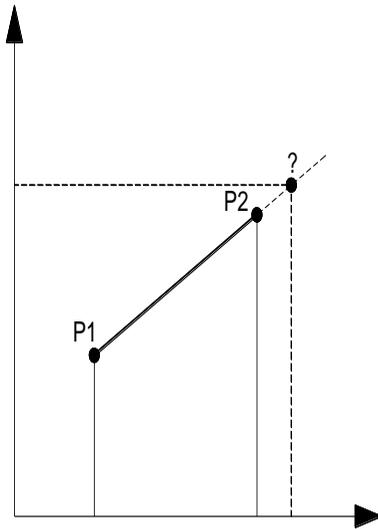


FIGURA 9: Extrapolação linear.

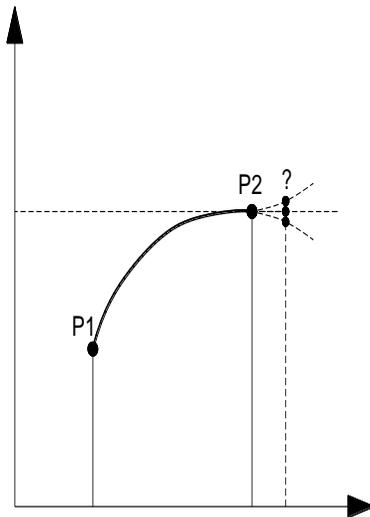


FIGURA 10: Extrapolação não linear.

Outro tipo de cálculo que pode ser feito é a extrapolação. Na Figura 9, o

valor a ser calculado não está entre os pontos, mas fora do intervalo dos pontos. As mesmas observações sobre a função matemática poderia calcular o valor desconhecido (extrapolado, fora dos polos) se aplicam aqui (linear e não linear). Extrapolações são mais difíceis de receber crédito do que interpolações. As incertezas acerca de valores extrapolados são maiores. Por isso é mais difícil acreditar nas previsões de acontecimentos futuros. Dificilmente pode-se prever o crescimento de um fenômeno baseado no que foi observado até o presente.

Interpolação Automática

A interpolação automática é convencionalmente um processo de dois estágios, envolvendo, inicialmente, a interpolação das variáveis para uma grade regular antes da construção do mapa. O raciocínio básico atrás dos métodos interpolativos espaciais é a observação que pontos vizinhos são mais prováveis de terem valores de atributo similares do que pontos distantes. O objetivo, então, é examinar a forma da variação dos dados e encontrar um modelo apropriado para a interpretação dos valores em locais medidos para estimar valores em locais não visitados (MIRANDA, 2010).

Os métodos de interpolação mais comuns dos SIGs em geral pertencem a duas categorias: globais e locais, sendo os globais mais utilizados em superfícies de tendência, e os locais podem ser polinômios de baixa ordem, funções *spline*, poliedros, triangulação e médias móveis ponderadas. Porém, estes métodos não fornecem os erros associados às estimativas. Somente o método da krigagem o faz por meio de um “modelo contínuo de variação espacial”. Os modelos de atributos quantitativos indeterminados no campo baseiam-se nas médias e nos erros médios aleatórios. As médias são armazenadas nos mapas criados e estes erros definidos por meio do cálculo dos desvios padrão (LOURENÇO E LANDIN, 1999). Os métodos descritos a seguir são aplicados nas ferramentas do *software* ArcGis.

Alguns interpoladores utilizam conceitos da Geostatística, a qual abrange um conjunto de métodos que permitem estimar valores locais onde não foram coletadas amostras e também para avaliar a incerteza destas estimativas, se tornando fundamentais em muitos processos de tomada de decisão, uma vez que é impossível, na prática, colher amostras em todos os locais de interesse. Os métodos de interpolação são utilizados como meio para construção de modelos que representam a

realidade e, faz parte da sua construção, o entendimento do fenômeno, a forma como as amostras são coletadas e o que se espera como resultado do modelo gerado.

Existem muitos métodos de interpolação. Alguns são bastante flexíveis e podem acomodar diferentes aspectos dos dados da amostra. Outros são mais restritivos e exigirão que os dados atendam a condições específicas. Existem alguns métodos de interpolação baseados nas ferramentas de geoestatística do *software* ArcGis: Polinomial global, Polinomial local, Ponderação do Inverso das Distâncias, Funções de base radiais, Difusão do Kernel, Alisamento Kernel, Krigagem ordinária, Krigagem simples, Krigagem Universal, Indicador de Krigagem, Probabilidade de Krigagem, Krigagem disjuntiva e Simulação Geoestatística Gaussiana.

Cada um destes métodos tem o seu próprio conjunto de parâmetros, que lhe permite ser personalizado para um conjunto de dados e os requisitos em particular para a saída gerada. Somente alguns métodos disponíveis serão descritos a seguir.

- **Ponderação do Inverso das Distâncias:** o método de ponderação do Inverso das Distâncias, do termo em inglês Inverse Distance Weighting (IDW) implementa explicitamente o pressuposto de que as informações mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. Para predizer um valor para algum local não medido, usará os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes (JAKOB E YOUNG, 2006). É um método rápido e requer pouco custo computacional, sua desvantagem é a geração de efeito mira (olho de boi) (MAZZINI E SCHETTINI, 2009). De acordo com Esri (2013) o IDW utiliza um método de interpolação que estima os valores das células pela média dos valores de pontos de dados de amostras no centro de cada célula de processamento. Quanto mais próxima de um ponto é o centro da célula a ser estimado, mais influência, ou peso, tem no processo de média.
- **Krigagem:** a Krigagem (*Kriging*) depende de modelos matemáticos e estatísticos, assim como da noção de autocorrelação. Na estatística clássica, assume-se que as observações são independentes, ou seja, não há correlação entre

as observações. Na geoestatística, a informação dos locais espaciais permite o cálculo das distâncias entre as observações e modelar a autocorrelação como uma função da distância. Para isto, a função mais comum utilizada é o (semi) variograma (JAKOB E YOUNG, 2006). Sua vantagem é a não geração de efeito mira (MAZZINI E SCHETTINI, 2009). A Krigagem, de acordo com Esri (2013), é um procedimento avançado de geoestatística que gera uma superfície estimada de um conjunto disperso de pontos com z-valores (atributos compatíveis com a altimetria ou outro fenômeno).

- **Vizinho Natural:** o método do vizinho natural, do termo em inglês *Natural Neighbour* não extrapola valores, resolve a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Utiliza polígonos de *Thiessen* para avaliação de pesos para os pontos através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais (MAZZINI E SCHETTINI, 2009). De acordo com Esri (2013), a interpolação pelo vizinho natural encontra o mais próximo subconjunto de amostras de entrada para um ponto de consulta e aplica os pesos com base em áreas proporcionais para interpolar um valor.
- **Curvatura Mínima:** a Curvatura Mínima ou *Spline* deriva de uma ferramenta flexível de desenho técnico, e é um método de interpolação muito aceito e utilizado atualmente. Distinto de outros métodos de interpolações polinomiais, o *Spline* não utiliza apenas um polinômio de grande ordem para interpolação de todo o conjunto de dados, mas sim divide a série de dados em subconjuntos e utiliza polinômios de pequenas ordens para cada subconjunto. A soma ou junção deles é que forma a interpolação sobre todo o domínio (MAZZINI E SCHETTINI, 2009). Muito utilizado em geociências, este método gera curvas mais suaves ao mesmo tempo em que é fiel aos dados. Entretanto, não é um interpolador exato. De acordo com Iescheck (2006) o método é baseado na condição de que a função de interpolação deve passar pelos pontos amostrados ou próximos a eles e, ao mesmo tempo, deve ser o mais suave possível. A ferramenta *Spline* utiliza um método de interpolação que avalia valores utilizando uma função matemática que minimiza a curvatura de superfície global, resultando em uma superfície lisa, que passa exatamente através dos pontos de entrada. A ferramenta *Spline* com Barreiras

utiliza um método semelhante ao da técnica usada na ferramenta *Spline*, com a principal diferença sendo de que esta forma descontinuidades na ferramenta codificando em ambas as barreiras de entrada e os dados de ponto de entrada (ESRI, 2013).

- **TOPOGRID:** o módulo TOPOGRID é um método de interpolação especificamente projetado para criar uma superfície que representa mais de perto uma drenagem natural e preserva melhor as linhas de cume, ou seja, para criar MDEs hidrologicamente corretos. O algoritmo utilizado é baseado no programa ANUDEM, desenvolvido por Michael Hutchinson (1988, 1989) na Australian National University, ver Hutchinson e Dowling (1991) e Hutchinson et al (2009). O método estima uma grade regular de uma superfície plana discretizada através de um grande número de dados de elevação irregularmente espaçados, dados de linhas de contorno e dados de linha de fluxo. Essas características permitem que mesmo utilizando uma grade regular retangular, este interpolador possui a opção de utilizar a drenagem e outros corpos d'água, suavizando e aumentando sensivelmente a precisão dos modelos gerados (ROCHA, 2011). O processo de interpolação foi concebido para tirar vantagem dos tipos de dados de entrada normalmente disponíveis e das características conhecidas de superfícies de elevação. Este método utiliza uma técnica iterativa de interpolação por diferença finita. Ele é otimizado para ter a eficiência computacional de métodos de interpolação locais, como o (IDW) ponderada, sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação globais, como Krigagem e *Spline*. É essencialmente uma fina placa discretizada da técnica *Spline* (WAHBA, 1990), para o qual a pena de rugosidade foi modificada para permitir que o MDE se equipare e acompanhe as mudanças abruptas no terreno, tais como rios e cordilheiras. No início do processo de interpolação, o *Topo de Raster* utiliza informação inerente aos contornos para construir um modelo generalizado de drenagem. Através da identificação de áreas de curvatura máxima local em cada contorno, as áreas de inclinação mais acentuada são identificadas, e uma rede de fluxos e cristas é criada (HUTCHINSON, 1988). Esta informação é usada para assegurar as propriedades próprias da hidrogeomorfologia no MDE extraído pode também ser usado para verificar a precisão de saída do mesmo. Após a morfologia

geral da superfície ter sido determinada, os dados de contorno são também utilizados na interpolação de valores de elevação em cada célula. Quando os dados de contorno são utilizados para interpolar informações de elevação, todos os dados de contorno são lidos e generalizados. Em seguida, um máximo de 50 pontos de dados é lido a partir destes contornos dentro de cada célula. Na solução final, apenas um ponto crítico é utilizado para cada célula, pois uma massa volumétrica de contornos atravessando as células de saída é redundante. O processamento do aplicativo para a determinação do volume de água do reservatório parte da hipótese de que o usuário já tenha obtido o Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE é criado no módulo TOPOGRID do ArcInfo, utilizando o método de interpolação TOPOGRID *Interpolation*. Esse algoritmo produz um acurado MDE que contém propriedades das drenagens e os dados de direção de fluxo. O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações e uma técnica de interpolação por diferenças finitas (HUTCHINSON, 1989). Ele requer o limite da área, dados de hidrografia simplificada e orientada na direção do escoamento, altimetria com curvas de nível ou pontos cotados (MACHADO ET AL, 2010).

Considerações Acerca dos Métodos de Interpolação

No trabalho de Marcuzzo, Andrade e Melo (2011), executou-se um estudo de diferentes tipos de metodologias de interpolação matemática (IDW, Krigagem, *Spline* de Tensão e *Topo to Raster*) na geração de mapas de distribuição espacial de precipitação pluviométrica. Foram utilizados dados sazonais de 30 anos de chuvas de estações pluviométricas distribuídas no estado do Mato Grosso. Os autores concluíram que, para os dados utilizados de 76 estações pluviométricas distribuídas no estado do Mato Grosso, o método de interpolação que apresentou os melhores resultados, dentre os vários estudados, foi o *Topo to Raster*, pois proporcionou as mais adequadas isoietas e apresentou a grande maioria dos pontos interpolados dentro das isolinhas com os valores pré-estabelecidos, além de possuir maior suavidade das isolinhas e por coincidir melhor com as características altimétricas da região.

A técnica de interpolação da função *Topo to Raster* foi desenhada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. O método se utiliza da eficiência computacional da interpolação local, como IDW, sem perder a continuidade superficial dos métodos global de interpolação, como Krigagem e *Spline* (NOGUEIRA E AMARAL, 2009).

Mazzini e Schettini (2009) avaliaram as metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos em onze métodos diferentes. O trabalho discutiu não os algoritmos matemáticos dos métodos, mas sim a sua ideia, função e aplicação prática.

Jakob e Young (2006) apresentam um estudo comparativo de vários métodos. Todos os métodos analisados calculam um valor de uma dada grandeza no espaço entre as amostras ou observações através de uma combinação linear dos valores observados.

Ieschek (2006) fez uma análise de métodos de interpolação e percebeu que a interpolação de dados quantitativos é usual e existem diversos métodos desenvolvidos para diferentes tipos de aplicação, enquanto que, para dados qualitativos, a interpolação é um procedimento mais complexo pela própria natureza do dado.

Hutchinson et al (2009) observa que o método ANUDEM é indicado para gerar modelos de elevação acurados, já que o efeito erosivo da água altera substancialmente o contorno do relevo. Apesar disso o método pode também ser utilizado para interpolar outros tipos de modelo além dos de elevação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Definição e Identificação das Áreas de Estudo

Foram definidas como áreas de estudo três UHE/PCH de propriedade da Eletrosul que se situam em diferentes Estados do Território Nacional Brasileiro e possuem relevos diferenciados. As áreas foram escolhidas porque possuíam informações altimétricas suficientes para realização da pesquisa. Todas as informações referentes às bases cartográficas e altimétricas foram gentilmente cedidas pela Eletrosul (com exceção dos MDEs SRTM e ASTER)

A primeira, Usina Hidrelétrica Passo São João (UHEPSJ) está localizada no Rio Ijuí, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Roque Gonzales, Dezesseis de Novembro, São Luiz Gonzaga, São Pedro do Butiá e Rolador. É uma usina a fio d'água com potência instalada de 77 MW, possui área total alagada de 25,24 km², perímetro de 181 km e atingiu 518 propriedades entre rurais e urbanas (Eletrobras Eletrosul, 2011). A cota (nível de alagamento) da usina é de 128,25 m. Ver fotografia panorâmica da UHEPSJ (FIGURA 11). Entrou em operação comercial em março de 2012.



FIGURA 11: UHEPSJ – Vista Panorâmica.
Fonte: Eletrobras Eletrosul (2011).

A Usina Hidrelétrica São Domingos (UHESD) está localizada no Rio Verde, entre os municípios de Ribas do Rio Pardo e Água Claro, no Estado do Mato Grosso do Sul. Tem potência instalada de 48 MW, possui área total alagada de 18,64 km², perímetro de 76,50 km e atingiu 25 propriedades rurais (Eletrobras Eletrosul, 2013). A cota (nível de alagamento) da usina é de 345 m. Ver fotografia simulada da UHESD (FIGURA 12). A usina entrou em operação comercial em junho de 2013.



FIGURA 12: UHESD – Fotografia Simulada.

Fonte: Eletrobras Eletrosul (2013).

A Pequena Central Hidrelétrica Coxilha Rica (PCHCOX) está localizada no Rio Pelotinhas, entre os municípios de Lages e Capão Alto, Sudoeste do Estado de Santa Catarina. Seria uma PCH com potência instalada de 18 MW, com previsão de área total alagada de 0,66 km², perímetro de 12,65 km. A cota (nível de alagamento) da usina é de 872 m. Ver fotografia panorâmica da PCHCOX (Figura 14). A PCH não foi implantada devido a problemas no licenciamento ambiental e arqueológico.



FIGURA 13: PCHCOX – Fotografia.

Fonte: Eletrobras Eletrosul (2013).

Para um melhor entendimento do trabalho, as curvas de referência advindas dos nivelamentos geométricos serão denominadas, respectivamente, para a UHEPSJ, UHESD e PCHCOX (descritas no item 3.1), de “base referencia 1”, “base referencia 2” e “base referencia 3”. De forma análoga os produtos testados serão denominados, para a UHEPSJ, UHESD e PCHCOX (também descritos no item 3.1), quando provenientes de aerolevanteamento, de “base fotogramétrica 1”, “base fotogramétrica 2” e “base fotogramétrica 3”, quando provenientes de cartografia sistemática, de “base cartográfica 1”, “base cartográfica 2” e “base cartográfica 3”, quando provenientes do MDE SRTM, de “base SRTM 1”, “base SRTM 2” e “base SRTM 3”, quando provenientes do ASTER GDEM, de “base ASTER 1”, “base ASTER 2” e “base ASTER 3”.

3.2 Materiais

Os materiais (produtos cartográficos) e os equipamentos (*hardwares e softwares*) utilizados estão listados a seguir:

- Cartas do mapeamento sistemático da DSG/IBGE com curvas de nível provenientes das Cartas 2912 e 2913 na escala 1:50000 em formato vetorial, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Carta do mapeamento sistemático da DSG/IBGE com curvas de nível provenientes da Carta 2921 na escala 1:100000 em formato vetorial, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Cartas do mapeamento sistemático da DSG/IBGE com curvas de nível provenientes das Cartas analógicas 2516 e 2554 na escala 1:100000, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Restituições Fotogramétricas das regiões de abrangência das Usinas Hidrelétricas Passo São João e São Domingos, UHEPSJ e UHSD, respectivamente, de propriedade da Eletrosul: curvas de nível provenientes de voo aerofotogramétrico com equidistância de 5 metros, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Restituição Fotogramétrica da região de abrangência da Pequena Central Hidrelétrica Coxilha Rica (PCHCOX), de propriedade da Eletrosul: curvas de nível provenientes de voo aerofotogramétrico com equidistância de 10 metros, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Modelos Digitais de Elevação SRTM das regiões de abrangência das UHEPSJ, UHSD e PCHCOX, baixados da internet, no Sistema Geodésico planimétrico WGS84 e altimétrico EGM96;
- Modelos Digitais de Elevação ASTER GDEM das regiões de abrangência das UHEPSJ, UHSD e PCHCOX, baixados da internet, no Sistema Geodésico planimétrico WGS84 e altimétrico EGM96;
- Levantamentos topográficos de propriedade da Eletrosul: nivelamento geométrico de precisão e levantamento planimétrico GNSS;
- *Software* Autodesk Map 3d 2010;
- *Software* Arcgis 10.2;
- *Software* DXF2XYZ 2.0 A.21;
- *Software* Excel 2007;
- Computador com processador Intel (R) Xeon (R) CPU X 5550 @ 2,67 GHz 2,66 GHz (dois processadores), memória instalada RAM 8,0 GB, sistema operacional 64 Bits;
- Notebook com processador Intel (R) Core (TM) i5-2410M CPU @ 2.30GHz, memória instalada RAM 6,0 GB, sistema operacional 64

Bits.

3.3 Método

3.3.1 Definição do Método de Avaliação da Qualidade por Ponto de Controle

Nesta etapa a avaliação da qualidade foi realizada de forma isolada, por ponto de controle, para verificar a qualidade altimétrica dos produtos testados sem levar em consideração o relevo das regiões envolvidas. Para tanto as seguintes subetapas foram definidas:

Cálculo da expectativa de exatidão *a priori*: para cada produto testado, foi verificada a exatidão declarada do mesmo, de forma a garantir na avaliação, pontos de controle com exatidão três vezes melhor do que a declarada pelas bases testadas, tanto na altimetria quanto na planimetria. Foram consideradas como exatidão declarada as definições do item 2.5 relativos ao PEC Padrão Classe A planialtimétrico e STANAG 2215 Classe A planimétrico e Classe 0 altimétrico.

Definição do método de levantamento das bases de referência: foi realizada locação em campo e a respectiva materialização (demarcação física por piquetes), das curvas ou cotas de referência para cada UHE/PCH, através de nivelamento geométrico de precisão. Para levantamento planimétrico dos pontos piqueteados foi utilizado levantamento orbital GNSS no método relativo e modo estático.

Discretização das bases de referência: as coordenadas planas advindas dos levantamentos das bases de referência se transformaram em uma matriz de coordenadas através da utilização do *software* DXF2XYZ, onde foi quantificado o tamanho de cada base. Para cada coordenada planimétrica, advinda das bases de referência, foi atribuído um número em ordem crescente.

Definição da quantidade de pontos de controle: foi utilizada a fórmula de Pereira (1978) para definir o número de pontos a serem utilizados como amostra. Foram indicados aproximadamente 31 (trinta e um) pontos para cada base. Porém, para garantir um universo amostral seguro, com expectativa de qualidade acima de 97,5 % de confiança,

foram utilizados 40 (quarenta) pontos de controle para cada área de estudo.

Definição da distribuição dos pontos de controle: considerando homogênea a distribuição de erros em todas as bases testadas, foi adotado um método também homogêneo de distribuição dos pontos de controle. Para tanto foi utilizado o método de sorteio aleatório simples não tendencioso através de sorteio manual simples sem reposição, para indicar os 40 vetores (pontos de controle) das bases de referência que deveriam ser inseridos nas bases testadas.

Definição do método de interpolação de cotas: as 40 coordenadas planimétricas de referência sorteadas foram inseridas em cada base a ser testada e foram realizadas interpolações manuais retas, respeitando a linha de descendência máxima, de acordo com as definições do item 2.6.2, através da utilização do *software* AutodeskMap, para calcular a nova cota de cada coordenada. Nos pontos não encaixados entre curvas de nível de cotas diferentes foi definido o valor da curva envolvente do ponto sem necessidade de interpolação. Para os MDEs SRTM e ASTER baixados da internet, as curvas de nível, com equidistância de 10 m, necessárias para realizar a interpolação, foram extraídas através da ferramenta “*contour*” da função *Spatial Analyst* do ArcGis 10.2 para cada área de estudo. Os MDEs ASTER GDEM e SRTM primeiramente foram convertidos para o Sistema SAD 69 para compatibilizá-los com as bases de referência.

Definição dos padrões de qualidade utilizados: para validar as bases testadas e verificar se as mesmas apresentavam qualidade conforme o declarado, verificado *a priori*, o método de avaliação seguiu os padrões definidos no item 2.2.2., especificamente os padrões PEC e STANAG 2215. Para tanto, as bases testadas foram classificadas segundo os seguintes critérios:

- Os pontos de controle testados utilizados devem representar 100% do universo dos pontos, já que na descrição do Decreto nº 89.817/84 os valores mínimos para que os produtos sejam classificados são descritos em termos de porcentagem;
- As coordenadas dos pontos de controle testados não devem ultrapassar o erro máximo tolerável, em relação ao PEC (exatidão e precisão) identificado no cálculo dos resíduos, em

- número maior do que 10% do total;
- As coordenadas dos pontos de controle testados não devem ultrapassar o erro máximo tolerável, em relação ao STANAG identificado no cálculo dos resíduos, em número maior do que 10% do total;
 - Os produtos que apresentem número de pontos com erro acima do tolerável em quantidade igual ou abaixo ao especificado pelo PEC devem ser classificados em classes de carta nos padrões A, B ou C altimétrico ou planimétrico;
 - Os produtos que apresentarem número de pontos com erro acima do tolerável em quantidade acima do especificado pelo PEC não podem ter uma classe definida;
 - Os produtos que apresentem número de pontos com erro acima do tolerável em quantidade igual ou abaixo ao especificado pelo STANAG 2215 altimétrico devem ser classificados em classes de carta padrão 0, 1, 2, 3 ou 4.

Aplicação dos testes pontuais e enquadramento: cada área de estudo apresentou 40 coordenadas planimétricas com duas cotas (uma de referência e uma de teste) para cada produto testado. Foram calculadas as diferenças de cada uma, bem como suas médias, variâncias e desvios padrão e, após, foram realizados os enquadramentos em relação ao PEC e ao STANAG 2215. Foram realizados também testes de tendência da média amostral para verificação de erros sistemáticos. As bases que apresentaram tendência sistemática passaram por uma retirada parcial da tendência e foram reenquadradas no PEC e no STANAG. O enquadramento no PEC altimétrico seguiu as definições do Quadro 2 e o do STANAG as do Quadro 6.

3.3.2 Definição do Método de Avaliação Morfológica

Nesta etapa foi verificada a qualidade altimétrica dos produtos levando em consideração as dimensões formadas pela superfície abrangida pelas curvas simuladas (sem retirada da tendência sistemática) e resimuladas (com retirada da tendência sistemática quando existente) em relação à curva de referência para cada produto e área de estudo testada. Para tanto as seguintes subetapas foram definidas:

Classificação das áreas em relação à inclinação/declividade: as três áreas de estudo tiveram seus relevos classificados em relação à inclinação/declividade. O cálculo e a respectiva classificação foram

realizados através das definições do item 2.6, através da utilização da Equação 04 e da Equação 05.

Definição do método de geração de MDEs: os MDEs foram gerados a partir da interpolação das curvas de nível das bases testadas. As interpolações foram realizadas de forma automática através da função *Topo to Raster*, da ferramenta *Spatial Analyst* do *software* ArcGis (Com exceção dos MDEs SRTM e ASTER GDEM, que foram obtidos em formato matricial).

Definição do método de extração das curvas de simulação: foram extraídas de cada MDE gerado ou disponibilizado curvas de nível que simulavam ou resimulavam as cotas de inundação de cada UHE/PCH. A extração das curvas foi realizada de forma automática através da função *Contour*, da ferramenta *Spatial Analyst* do *software* ArcGis.

Generalização cartográfica das curvas simuladas: foram realizadas generalizações cartográficas para eliminar ilhas e também as curvas que ultrapassaram a área delimitada pelo nível de alagamento. Os limites definidos foram o barramento de cada UHE/PCH, bem como o final do alagamento, à montante de cada rio.

Definição dos padrões superficiais de qualidade utilizados: para verificar se os produtos testados apresentavam qualidade, ou seja, distribuição homogênea de área formada pelas curvas simuladas e resimuladas em relação às curvas de referência, o método de avaliação seguiu os padrões definidos no item 2.2.1, Artigo 500 do Código Civil Brasileiro. Para tanto, os produtos foram classificadas segundo os seguintes critérios:

- Foi considerada como dimensão dada (medida de extensão geralmente registrada em matrícula), aquela formada pelas curvas restituídas extraídas diretamente dos produtos testados e/ou simuladas extraídas dos MDEs dos produtos testados nas suas respectivas cotas de alagamento e/ou curvas mais próximas às cotas de alagamento.
- Foi considerada como dimensão determinada a medida de extensão demarcada em campo através de nivelamento geométrico e levantamento planimétrico das Bases de Referência.

- Os produtos que apresentaram diferenças entre dimensões formadas pelas curvas simuladas/resimuladas e curva de referência abaixo de um vigésimo da área total enunciada, ou seja, abaixo de 5%, foram aprovados.
- Os produtos que apresentaram diferenças entre dimensões formadas pelas curvas simuladas/resimuladas e curva de referência acima de um vigésimo da área total enunciada, ou seja, acima de 5%, foram reprovados.
- Foi definido como método absoluto de avaliação, aquele que leva em consideração somente as quantidades/dimensões de forma absoluta (área e perímetro) das curvas advindas dos produtos testados na medição, sem considerar a localização/espacialização das mesmas em relação à curva de referência, como se as curvas simuladas tivessem sido levantados por algum método expedito, sem considerar os limites dos confrontantes ou qualquer tipo de amarração ou georreferenciamento.
- Foi definido como método relativo de avaliação, aquele que leva em consideração, além das quantidades/dimensões (área e perímetro) das curvas advindas dos produtos testados na medição, também a localização/espacialização de forma relativa (georreferenciamento), ou seja, a quantidade de área que é formada no total, através da união de áreas, e em comum, através da interseção de áreas, entre as curvas simuladas e as de referência.

Aplicação dos testes superficiais e enquadramento: as diferenças entre as áreas simuladas/resimuladas e de referência na forma absoluta foram calculadas através da utilização do software Autodesk na função “área”. Para gerar os polígonos de área total (união) e área comum (interseção) das curvas simuladas e de referência foi utilizada a ferramenta “geoprocessamento” do *software* ArcGis, especificamente as funções *intersect* e *merge*. Para tanto os seguintes relacionamentos foram utilizados:

$$NA \cap SI = AC \quad (10)$$

$$NA \cup SI = AT \quad (11)$$

Onde:

U = União ou conjunto união de todos os polígonos relacionados espacialmente;

\cap = Interseção ou conjunto interseção dos polígonos comuns relacionados espacialmente;

NA = Nível de Alagamento ou área formada pelo polígono da curva de referência;

AC = Área Comum formada pela interseção dos polígonos da curva de referência e simulada/resimulada;

SI = Área Simulada formada pelo polígono da curva simulada/resimulada;

AT = Área Total formada pela união dos polígonos das curvas de referência e simulada/resimulada.

Avaliação Morfológica Quantitativa: foi definido que a denominação avaliação morfológica quantitativa faz referência à avaliação da conformação geométrica dos polígonos formados pelas curvas simuladas/resimuladas (contorno) e suas respectivas diferenças quantitativas em relação aos polígonos formados pelas curvas de referência. Para tanto, foram calculadas as dimensões formadas entre as curvas de referência e simuladas/resimuladas, excetuadas as áreas formadas em comum, por lógica simples (união, interseção, soma e subtração) através das ferramentas *intersect*, *merge* e *clip* do *software* ArcGis. Para tanto os relacionamentos 10 e 11 já descritos, bem como os abaixo relacionados, foram utilizados:

$$NA - AC = AD \quad (12)$$

$$AT - NA = AF \quad (13)$$

Onde:

AD = Área de Dentro formada pelos polígonos situados entre a curva de referência e simulada/resimulada;

AF = Área de Fora formada pelos polígonos situados entre a curva simulada/resimulada e a de referência.

3.3.4 Definição das Aplicações

Os resultados provenientes das curvas simuladas/resimuladas dos produtos testados permitiram a aplicação prática em duas situações diferentes usualmente utilizadas em engenharia, conforme definidas a seguir:

Aplicação às Etapas de Projetos de Hidrelétricas: os produtos testados foram classificados em relação às etapas de projetos de hidrelétricas, divididos em fases, a saber:

- Fases de escritório: Estimativa do Potencial Hidrelétrico e Inventário Hidrelétrico
- Fases que necessitam de complementação com trabalhos de campo: Viabilidade e Projeto Básico.

A etapa de “Projeto Executivo”, por se tratar de fase consolidada não entrará em nenhum enquadramento, pois necessita, para sua implantação, de escalas topográficas grandes, não se encaixando, *a priori*, portanto, em nenhum produto testado.

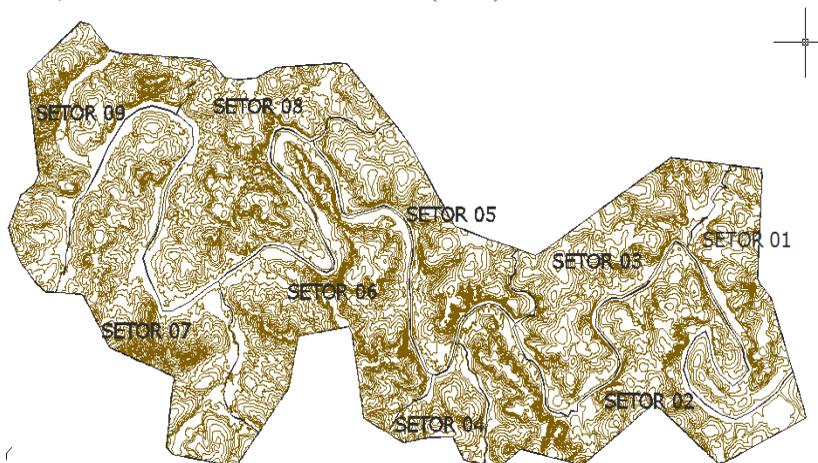
Aplicação ao Indicador de M&P: os produtos testados foram classificados em relação ao indicador apresentado por Moreira e Poole (1993), aqui denominado de indicador M&P, que leva em consideração a potência a ser gerada pela futura UHE/PCH e a provável área inundada. Foram utilizados como parâmetro os valores que variaram somente em até 20 % para mais ou para menos em relação ao valor de referência calculado.

4. RESULTADOS

4.2. Classificação do Relevo das Áreas de Estudo

O cálculo da declividade e inclinação da região de abrangência da UHEPSJ foi realizado a partir das curvas de nível com equidistância de 5 m, provenientes de aerolevantamento. A área, por possuir um elevado número de curvas de nível, foi setorizada de acordo com as definições do item 2.1 e da Equação Equação 6 utilizada por Beltrame (1994). Após foram aplicadas a Equação 4 e a Equação 5, que resultaram nos valores, respectivamente, de declividade e inclinação média, de 8,5 % e 4,86 graus decimais. Ver Figura 15.

O relevo da UHEPSJ foi classificado como ondulado, pois apresenta superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e, ou, outeiros, apresentando declives acentuados, entre 8 e 20%, de acordo com Santos e Lemos (1984).



—x

FIGURA 14: UHEPSJ – Curvas de Nível Setorizadas.

O cálculo da declividade e inclinação da região de abrangência da UHESD foi realizado a partir da vetorização das curvas de nível com equidistância de 40 m, provenientes da cartografia sistemática 1:100000. Foram aplicadas a Equação 5 e a Equação 6, que resultaram nos valores, respectivamente, de declividade e inclinação média, de 4,0 % e 2,29

graus decimais. Ver Figura 16.

O relevo da UHESD foi classificado como suave ondulado, ou seja, apresenta superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives suaves, de 3 a 8%, de acordo com Santos e Lemos (1984).

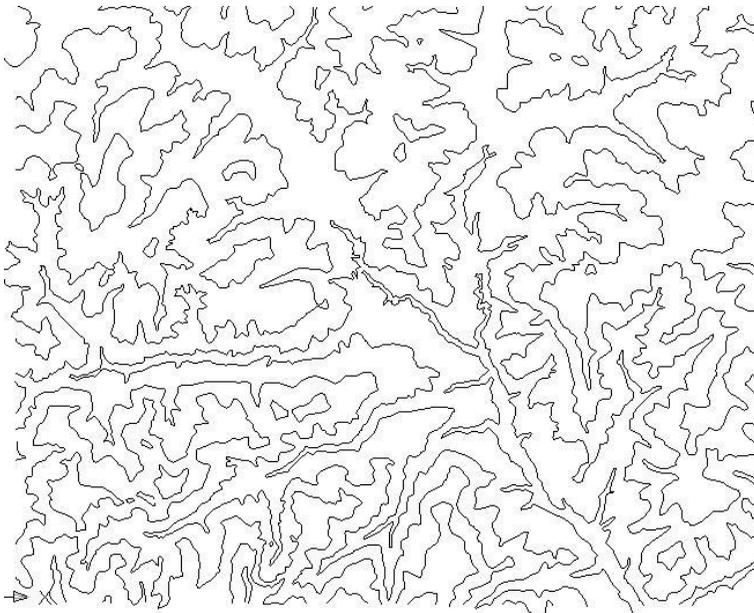


FIGURA 15: UHESD – Curvas de Nível.

O cálculo da declividade e inclinação da região de abrangência da PCHCOX foi realizado a partir da vetorização das curvas de nível com equidistância de 10 m, provenientes de aerolevamento. Foram aplicadas as equações 04, 05 e 06, resultando nos valores, respectivamente, de declividade e inclinação média, de 16,54 % e 9,39 graus decimais. Ver Figura 17.

O relevo da PCHCOX foi classificado como ondulado, pois apresenta superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e, ou, outeiros, apresentando declives acentuados, entre 8 e 20%, de acordo com Santos e Lemos (1984).

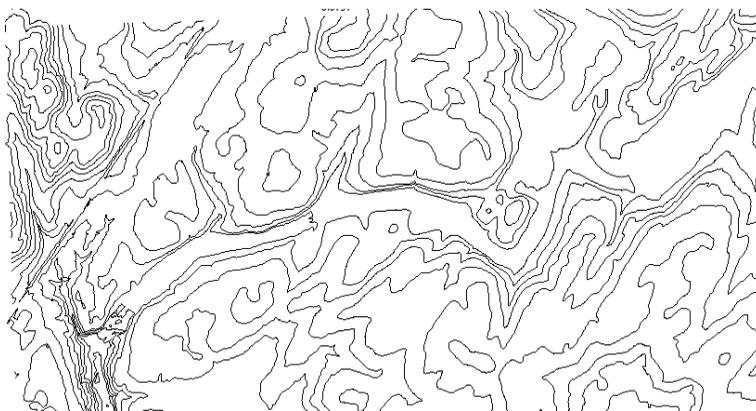


FIGURA 16: PCHCOX – Curvas de Nível.

4.3 Avaliação da Qualidade por Ponto de Controle

4.3.1 Cálculo da expectativa de exatidão *a priori* dos produtos testados

As expectativas de exatidão *a priori* dos produtos testados, bem como a exatidão dos pontos de controle a ser utilizados estão sendo apresentados na Tabela 2 e Tabela 3.

TABELA 2: Expectativa de exatidão planimétrica.

Produto planimétrico (escala)	PEC Padrão Classe A (m)		STANAG 2215 Classe A (m)	
	Expectativa	Pontos Controle	Expectativa	Pontos Controle
Base fotogramétrica 1 1:5000 UHEPSJ	2,5	0,83	2,5	0,83
Base fotogramétrica 2 1:5000 UHESD	2,5	0,83	2,5	0,83
Base fotogramétrica 3 1:5000 PCHCOX	2,5	0,83	2,5	0,83
Base Cartográfica 1	25	8,33	25	8,33

1:50000 UHEPSJ				
Base Cartográfica 2 e 3 1:100000 UHESD e PCHCOX	50	16,67	50	16,67

TABELA 3: Expectativa de exatidão altimétrica.

Produto altimétrico (equidistância e escala)	PEC Padrão Classe A (m)		STANAG 2215 Classe 0 (m)	
	Expectativa	Pontos Controle	Expectativa	Pontos Controle
Base fotogramétrica 1 (5 m) UHEPSJ 1:15000	2,5	0,83	1,5	0,5
Base fotogramétrica 2 (5 m) UHESD 1:30000	2,5	0,83	3,0	1,0
Base fotogramétrica 3 (10 m) PCHCOX 1:20000	5,0	1,66	2,0	0,66
Base Cartográfica 1 (20 m) UHEPSJ	10	3,33	5,0	1,67
Base Cartográfica 2 e 3 (40 m) UHESD e PCHCOX	20	6,67	10,0	3,33

4.3.2 Levantamento dos pontos controle

Cada área de estudo possui uma cota de inundação específica. Para a UHEPSJ foi utilizada a cota de 128,5 m, para a UHESD a cota de 345 m e para a PCHCOX a cota de 872 m. Para cada uma delas foram realizadas locações em campo (piqueteamento), através de nivelamento geométrico de precisão, com base em referências de nível (RN) do IBGE. Após a materialização foram realizados levantamentos planimétricos, através de levantamentos de campo, ora com estação total, ora com levantamento orbital GNSS.

A demarcação física serviu, na época, para visualizar em campo o futuro enchimento dos reservatórios e também para subsidiar o cadastro e o levantamento de área de preservação permanente (APP), entre outros.

As informações levantadas em campo geraram bases altimétricas com alta qualidade que, por apresentarem exatidão superior ao definido nas Tabelas 2 e Tabela 3, foram utilizadas como referência para extração dos pontos de controle utilizados neste trabalho.

Após as coordenadas provenientes dos levantamentos terem sido inseridas em ambiente gráfico (Autodesk Map 3d 2010), as mesmas passaram por processo de edição e se transformaram em arquivos vetoriais digitais no formato DXF e foram denominadas de Base de Referência 1 para a UHEPSJ, Base de Referência 2 para a UHESD e Base de Referência 3 para a PCHCOX.

4.3.3 Discretização das bases de referência

Os levantamentos de campo resultaram em linhas de nivelamento com aproximadamente 181 km de extensão para a UHEPSJ, 76 km para a UHESD e de 12,65 km para a PCHCOX, que tiveram suas coordenadas inseridas em ambiente gráfico na extensão DXF.

Para a transformação do arquivo vetorial (linhas) na extensão DXF para matricial (linhas e colunas) na extensão XYZ, as bases foram discretizadas com a utilização do *software* DXF2XYZ.

Os 181 km da UHEPSJ se transformaram em uma planilha no formato “xls” de dimensão 7251 X 3, ou seja, 7251 linhas (pontos) por 3 colunas (coordenadas: leste, norte e altitude). Os 76 km da UHESD se transformaram em uma planilha de dimensão 3529 X 3. Os 12,65 km da PCHCOX se transformaram em uma planilha de dimensão 602 X 3.

4.3.4 Quantidade de pontos de controle

O tamanho da amostra da UHEPSJ é 7251, da UHESD é de 3529 e da PCHCOX é de 602 (de acordo com a discretização realizada no item anterior).

Não foram levados em consideração valores distintos para a média, desvio padrão e erro amostral para os produtos testados, porque o tamanho da população considerado para avaliação em cada produto testado foi o da base de referência. Esses valores foram utilizados seguindo a expectativa de erros definidos *a priori*, apresentados na Tabela 2 e Tabela 3, em seus melhores casos, ou seja, para as bases

fotogramétricas com expectativa de exatidão altimétrica dentro do padrão STANAG Classe 0. Os valores calculados estão sendo apresentados na tabela 4.

TABELA 4: Definição do número de pontos de controle.

	Fórmula de Pereira	Área 1 - UHEPSJ	Área 2 - UHESD	Área 3 - PCHCOX
n	Tamanho da amostra	31,34	31,18	29,93
N	Número de vetores	7251	3529	602
ϵ	10 % de μ	0,10	0,10	0,10
σ	$\mu/3$	0,33	0,33	0,33
μ	Expectativa de exatidão	1,0	1,0	1,0
Z	90%	1,6994	1,6994	1,6994
γ	σ/μ	0,333	0,333	0,333

O número de pontos de controle mínimos necessários para realizar a avaliação da qualidade dos produtos, de acordo com a tabela: foi de 31,34 (32) para a UHEPSJ, de 31,18 (32) para a UHESD e de 29,93 (30) para a PCHCOX.

Para avaliações com 95 % de confiança, a utilização de 20 pontos de controle é suficiente, mas para garantir um melhor resultado e haver superabundância de dados, neste trabalho serão utilizados 40 pontos de controle. Com esta quantidade de pontos de controle é garantida uma qualidade de 97,5 % de confiança.

4.3.5 Distribuição dos pontos de controle

Através de sorteio manual simples, foram definidas as distribuições por produto e base testada, dos pontos de controle. As coordenadas relativas aos pontos sorteados para a UHEPSJ, a UHESD e a PCHCOX estão sendo apresentados na Tabela 5, Tabela 6 e na Tabela 7, onde na coluna “N” verifica-se o número da ordem do sorteio e na coluna “Sorteio” verifica-se o número do vetor (ponto de controle) discretizado das bases de referência. A distribuição dos

mesmos pode ser observada, por área de estudo na Figura 18, e na Figura 19 e na Figura 20.

TABELA 5: UHEPSJ – Pontos de Controle e suas Respectivas Coordenadas.

Ponto		Coordenadas		
N	Sorteio	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
1	15	707719,11	6879477,61	128,50
2	150	708115,61	6880575,46	128,50
3	287	707685,60	6881512,21	128,50
4	471	707529,54	6883662,41	128,50
5	1011	704429,27	6879863,20	128,50
6	1260	702380,75	6881198,83	128,50
7	1689	698569,13	6883908,08	128,50
8	1817	696971,64	6885471,36	128,50
9	2058	696552,47	6886535,61	128,50
10	2087	696820,78	6886100,29	128,50
11	2382	696599,19	6882717,57	128,50
12	2596	694308,54	6882772,23	128,50
13	2769	692440,58	6882317,78	128,50
14	2776	692496,70	6882475,68	128,50
15	2840	693025,19	6883322,99	128,50
16	2887	692917,32	6883706,12	128,50
17	3150	693805,94	6885963,79	128,50
18	3189	693331,70	6886388,02	128,50
19	3254	692724,94	6886467,18	128,50
20	3335	691465,78	6886559,96	128,50
21	3428	692065,05	6885883,68	128,50
22	3844	692291,96	6881522,03	128,50
23	3968	693439,51	6880929,04	128,50
24	4238	694367,03	6878867,41	128,50
25	4323	694723,23	6879863,05	128,50

26	4406	694653,56	6880995,41	128,50
27	4595	696306,48	6882241,03	128,50
28	4658	697135,48	6882107,49	128,50
29	4895	697179,40	6884036,08	128,50
30	5071	698527,24	6881376,39	128,50
31	5080	698555,42	6881316,64	128,50
32	5167	699453,33	6879993,13	128,50
33	5308	700246,35	6879707,64	128,50
34	5734	701407,73	6881192,38	128,50
35	5955	703928,99	6878660,90	128,50
36	5986	704487,96	6879082,09	128,50
37	6327	706543,60	6882556,64	128,50
38	6590	707373,97	6880221,46	128,50
39	6683	706563,04	6880322,62	128,50
40	6888	707654,15	6878307,17	128,50

TABELA 6: UHESD – Pontos de Controle e suas Respectivas Coordenadas.

Ponto		Coordenadas		
N	Sorteio	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
1	294	271904,67	7783660,15	345
2	415	271451,18	7784990,75	345
3	454	271510,11	7785573,02	345
4	498	271421,32	7786288,25	345
5	562	270964,10	7787042,57	345
6	628	271459,71	7787441,67	345
7	845	270885,32	7788742,54	345
8	1133	269645,38	7790876,43	345
9	1195	269707,67	7789832,03	345
10	1233	269471,62	7789356,21	345
11	1264	269572,60	7789049,66	345
12	1272	269702,22	7789090,91	345

13	1564	270966,87	7785043,46	345
14	1587	271075,81	7784628,10	345
15	1716	270695,16	7782462,30	345
16	1774	270179,81	7782934,30	345
17	1851	269178,99	7783250,63	345
18	1951	267745,40	7784571,53	345
19	1997	267010,12	7785124,32	345
20	2047	266158,05	7785319,62	345
21	2142	264811,52	7786071,37	345
22	2233	263722,76	7787341,91	345
23	2348	263377,08	7787309,76	345
24	2362	263543,44	7787087,35	345
25	2397	263765,23	7786457,16	345
26	2401	263784,96	7786378,76	345
27	2465	264408,61	7785571,18	345
28	2479	264651,42	7785417,09	345
29	2568	264212,29	7784471,95	345
30	2582	264153,93	7784512,30	345
31	2584	264153,81	7784515,03	345
32	2646	264032,09	7784591,37	345
33	2810	262567,85	7782930,86	345
34	2824	262321,44	7782760,46	345
35	3016	260985,66	7781557,15	345
36	3227	263571,08	7783527,13	345
37	3368	265666,66	7784489,27	345
38	3419	266633,18	7784532,14	345
39	3422	266819,33	7784362,47	345
40	3515	270364,90	7780805,19	345

TABELA 7: PCHCOX – Pontos de Controle e suas Respectivas Coordenadas.

Ponto		Coordenadas		
N	Sorteio	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
1	10	547795,63	6878742,75	872
2	19	547916,97	6878815,87	872
3	69	547308,39	6878347,19	872
4	83	547138,58	6878395,53	872
5	99	546925,24	6878496,19	872
6	114	546727,93	6878537,96	872
7	118	546720,06	6878607,92	872
8	122	546661,91	6878637,22	872
9	127	546556,34	6878615,36	872
10	144	546492,89	6878416,52	872
11	167	546222,37	6878356,16	872
12	184	545913,45	6878411,90	872
13	208	545454,56	6878169,16	872
14	226	547866,53	6878922,33	872
15	228	547866,47	6878930,51	872
16	231	547896,38	6878964,04	872
17	284	548309,29	6879282,63	872
18	312	545375,60	6878399,37	872
19	315	545444,25	6878402,96	872
20	319	545543,77	6878448,53	872
21	328	545666,35	6878526,06	872
22	335	545735,71	6878687,23	872
23	349	545632,96	6878988,49	872
24	368	545732,92	6878793,96	872
25	387	545998,94	6878553,05	872
26	389	546040,18	6878564,55	872
27	431	546502,12	6878730,54	872
28	478	547337,85	6878699,57	872

29	498	547303,34	6878947,16	872
30	511	547388,01	6879007,32	872
31	513	547423,53	6879010,19	872
32	520	547514,02	6879068,92	872
33	524	547597,87	6879034,45	872
34	527	547629,46	6879116,05	872
35	533	547697,93	6879258,16	872
36	538	547770,22	6879320,88	872
37	544	547867,60	6879326,61	872
38	560	547801,61	6879292,96	872
39	580	547657,71	6878888,86	872
40	594	548347,06	6879379,41	872

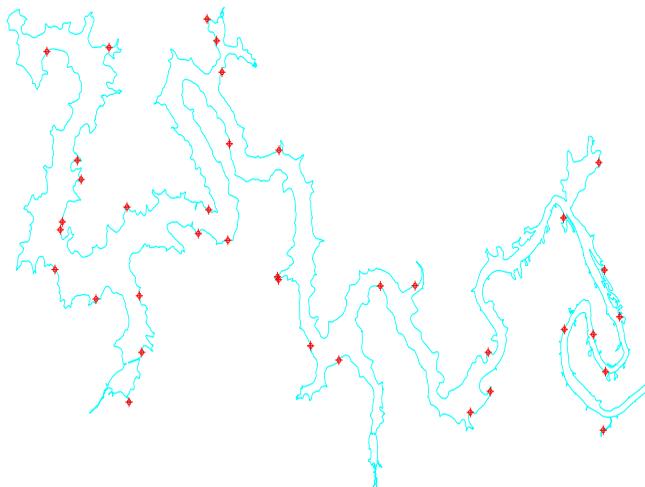


FIGURA 17: UHEPSJ – Distribuição dos Pontos de Controle.

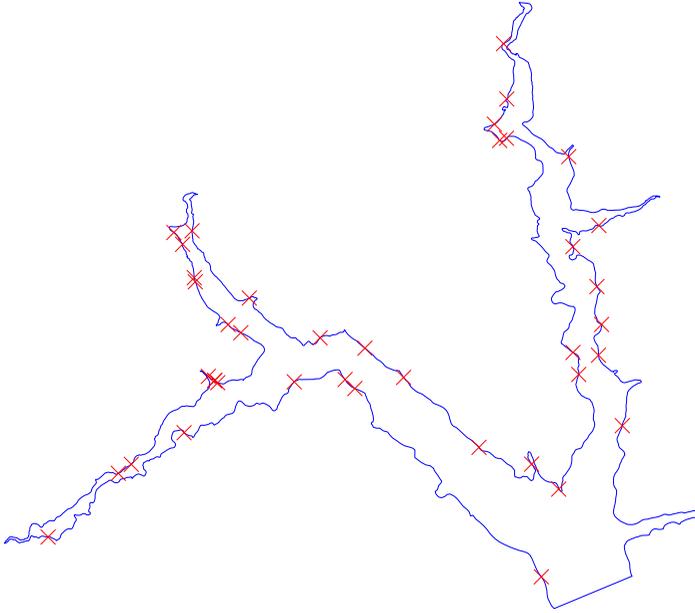


FIGURA 18: UHESD – Distribuição dos Pontos de Controle.

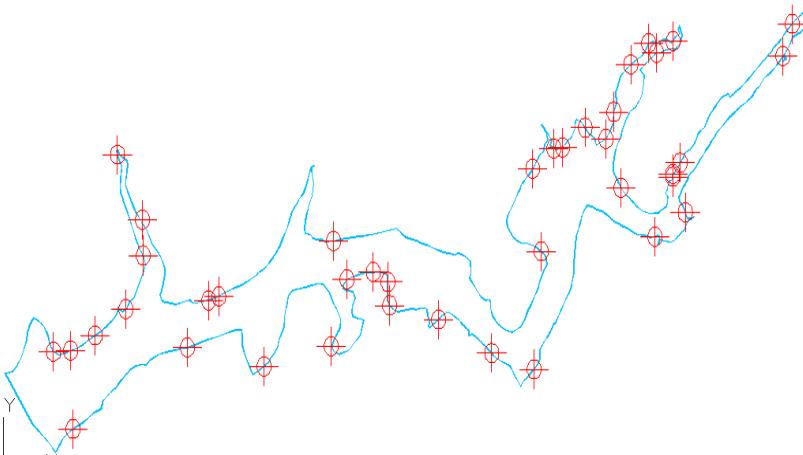


FIGURA 19: PCHCOX – Distribuição dos Pontos de Controle.

4.3.6 Interpolação dos pontos de controle

Para a Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ foram utilizadas na avaliação as curvas 120, 125, 130 e 135 metros. A maioria dos pontos sorteados

da Tabela 5 ficaram situados entre as curvas de nível 125 e 130, com exceção do ponto 21 que ficou entre as curvas de nível 120 e 125, do ponto 7 que ficou entre as curvas de nível 130 e 135. Os pontos 1, 39 e 40, não puderam ser interpolados porque se situaram entre a curva 130 metros. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 130. Para os outros 37 pontos da Tabela 5 foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 1 “UHEPSJ calculo foto”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 8, considerando a altitude de 128,5 metros.

TABELA 8: UHEPSJ – Cotas Interpoladas da Base Fotogramétrica 1.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	130,00	-1,50	21	124,42	4,08
2	128,64	-0,14	22	127,83	0,67
3	129,36	-0,86	23	127,23	1,27
4	129,43	-0,93	24	130,00	-1,50
5	129,81	-1,31	25	128,64	-0,14
6	129,95	-1,45	26	127,53	0,97
7	130,49	-1,99	27	128,74	-0,24
8	126,48	2,02	28	128,49	0,01
9	127,42	1,08	29	128,15	0,35
10	126,87	1,63	30	129,20	-0,70
11	128,22	0,28	31	128,30	0,20
12	125,96	2,54	32	126,80	1,70
13	127,34	1,16	33	127,34	1,16
14	127,84	0,66	34	129,24	-0,74
15	127,00	1,50	35	128,92	-0,42
16	126,84	1,66	36	128,66	-0,16
17	125,40	3,10	37	128,36	0,14
18	130,00	-1,50	38	125,21	3,29
19	129,29	-0,79	39	130,00	-1,50
20	127,32	1,18	40	130,00	-1,50

Para a Base Cartográfica 1 da UHEPSJ foram utilizadas na avaliação as curvas 120, 140 e 160 metros. A maioria dos pontos sorteados da Tabela 5 ficou situada entre as curvas de nível 120 e 140. Os pontos de 1 ao 8, 10, 18, 27 e do 37 ao 40 da Tabela 5, não puderam ser interpolados porque se situaram ora entre a curva 120 metros, ora entre a curva 140 metros. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 120 ou 140. No final, 10 pontos tiveram a cota definida em 140 metros e 5 pontos tiveram a cota definida em 120 metros. Para os outros 25 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 2 “UHEPSJ calculo carta”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 9, considerando a altitude de 128,5 metros.

TABELA 9: UHEPSJ – Cotas Interpoladas da Base Cartográfica 1.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	140,00	-11,50	21	127,59	0,91
2	140,00	-11,50	22	126,70	1,80
3	140,00	-11,50	23	123,76	4,74
4	140,00	-11,50	24	131,60	-3,10
5	140,00	-11,50	25	128,81	-0,31
6	120,00	8,50	26	123,82	4,68
7	120,00	8,50	27	140,00	-11,50
8	120,00	8,50	28	134,30	-5,80
9	121,82	6,68	29	123,19	5,31
10	120,00	8,50	30	120,21	8,29
11	126,62	1,88	31	134,13	-5,63
12	120,30	8,20	32	125,31	3,19
13	121,46	7,04	33	128,76	-0,26
14	123,07	5,43	34	131,98	-3,48
15	127,27	1,23	35	129,78	-1,28
16	127,33	1,17	36	134,20	-5,70
17	120,62	7,88	37	140,00	-11,50
18	120,00	8,50	38	140,00	-11,50
19	129,40	-0,90	39	140,00	-11,50
20	126,14	2,36	40	140,00	-11,50

Para a Base SRTM 1 da UHEPSJ foram utilizadas na avaliação as curvas 130, 140 e 150 m. A maioria dos pontos sorteados da Tabela 5 ficou situada entre as curvas de nível 130, 140 e 150. Os pontos 4, 6, 13, 14, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 35, 36, 37, 38 e 40, que ficaram ora entre a curva 130 e ora entre a curva 140, não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 130 ou 140. Para os outros 25 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 3 “UHEPSJ calculo SRTM”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 10, considerando a altitude de 128,5 metros.

TABELA 10: UHEPSJ – Cotas Interpoladas da base SRTM 1.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	140,00	-12,00	21	130,00	-2,00
2	135,61	-7,61	22	130,00	-2,00
3	135,94	-7,94	23	130,00	-2,00
4	140,00	-12,00	24	134,13	-6,13
5	136,30	-8,30	25	130,00	-2,00
6	140,00	-12,00	26	131,41	-3,41
7	139,86	-11,86	27	130,00	-2,00
8	132,20	-4,20	28	130,00	-2,00
9	138,70	-10,70	29	135,12	-7,12
10	130,07	-2,07	30	140,03	-12,03
11	134,90	-6,90	31	137,74	-9,74
12	141,78	-13,78	32	136,33	-8,33
13	130,00	-2,00	33	133,95	-5,95
14	130,00	-2,00	34	131,09	-3,09
15	133,44	-5,44	35	130,00	-2,00
16	133,12	-5,12	36	140,00	-12,00
17	141,42	-13,42	37	130,00	-2,00
18	135,57	-7,57	38	140,00	-12,00
19	140,93	-12,93	39	149,28	-21,28
20	140,28	-12,28	40	140,00	-12,00

Para a Base ASTER 1 da UHEPSJ foram utilizadas na avaliação as curvas 110, 120, 130, 140, 150 e 160 m. A maioria dos pontos sorteados da Tabela 5 ficou situada entre as curvas de nível 130, 140 e 150. Os pontos 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 20, 23, 24, 26, 29, 36 e 40, que ficaram ora entre a curva 120, 130, 140, 150 e ora entre a curva 160, não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 120, 130, 140, 150 ou 160. Para os outros 24 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 4 “UHEPSJ calculo ASTER”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 11, considerando a altitude de 128,5 metros.

TABELA 11: UHEPSJ – Cotas Interpoladas da base ASTER 1.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	130,00	-2,00	21	122,41	5,59
2	135,97	-7,97	22	149,04	-21,04
3	130,00	-2,00	23	140,00	-12,00
4	130,00	-2,00	24	150,00	-22,00
5	120,00	8,00	25	132,06	-4,06
6	130,00	-2,00	26	140,00	-12,00
7	129,10	-1,10	27	139,23	-11,23
8	130,00	-2,00	28	133,36	-5,36
9	130,00	-2,00	29	160,00	-32,00
10	130,00	-2,00	30	131,20	-3,20
11	138,35	-10,35	31	131,24	-3,24
12	137,85	-9,85	32	144,96	-16,96
13	130,00	-2,00	33	143,53	-15,53
14	116,57	11,43	34	131,11	-3,11
15	138,47	-10,47	35	130,82	-2,82
16	124,43	3,57	36	130,00	-2,00
17	131,05	-3,05	37	122,70	5,30
18	127,66	0,34	38	141,13	-13,13
19	138,84	-10,84	39	117,07	10,93
20	130,00	-2,00	40	140,00	-12,00

Para a Base Fotogramétrica 2 da UHESD foram utilizadas na avaliação as curvas 340, 345 e 350 metros. A maioria dos pontos sorteados na Tabela 06 ficou situada entre as curvas de nível 345 e 350 ou entre as curvas 340 e 345. O ponto 33 da Tabela 6, pode ser interpolado porque se situava entre a curva 345 metros. Para este ponto ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 345. Para os outros 39 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 5 “UHESD calculo foto”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 12, considerando a altitude de 345 metros.

TABELA 12: UHESD – Cotas Interpoladas da Base Fotogramétrica 2.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	348,31	-3,31	21	346,12	-1,12
2	345,80	-0,80	22	341,61	3,39
3	348,13	-3,13	23	345,66	-0,66
4	342,95	2,05	24	346,10	-1,10
5	344,31	0,69	25	347,08	-2,08
6	344,28	0,72	26	346,55	-1,55
7	342,98	2,02	27	347,28	-2,28
8	345,43	-0,43	28	346,64	-1,64
9	347,14	-2,14	29	345,63	-0,63
10	344,75	0,25	30	346,75	-1,75
11	345,57	-0,57	31	346,91	-1,91
12	344,17	0,83	32	347,49	-2,49
13	347,39	-2,39	33	345,00	0,00
14	346,46	-1,46	34	345,25	-0,25
15	345,16	-0,16	35	345,00	0,00
16	348,65	-3,65	36	345,24	-0,24
17	344,45	0,55	37	343,32	1,68
18	345,93	-0,93	38	345,49	-0,49
19	345,33	-0,33	39	346,70	-1,70
20	344,65	0,35	40	344,76	0,24

Para a Base Cartográfica 2 da UHESD foram utilizadas na avaliação as curvas 120 e 160 metros. A maioria dos pontos sorteados da na Tabela 6 ficou situada entre as curvas de nível 120 e 160. Os pontos 5 ao 12, 23, 24 e do 33 ao 37 da Tabela 6, não puderam ser interpolados porque se situaram ora entre a curva 120 metros, ora entre a curva 160 metros. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 120 ou 160. No final, 15 pontos tiveram a cota definida em 160 metros e 1 ponto teve a cota definida em 120 metros. Para os outros 24 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 6 “UHESD calculo carta”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 13, considerando a altitude de 345 m.

TABELA 13: UHESD – Cotas Interpoladas da Base Cartográfica 2.

N	Cota (m)	Δ cota (m)	N	Cota (m)	Δ cota (m)
1	327,13	17,87	21	326,06	18,94
2	324,10	20,90	22	360,00	-15,00
3	333,22	11,78	23	360,00	-15,00
4	325,35	19,65	24	360,00	-15,00
5	360,00	-15,00	25	328,18	16,82
6	360,00	-15,00	26	331,06	13,94
7	360,00	-15,00	27	321,10	23,90
8	360,00	-15,00	28	325,40	19,60
9	360,00	-15,00	29	337,41	7,59
10	360,00	-15,00	30	339,43	5,57
11	360,00	-15,00	31	338,90	6,10
12	360,00	-15,00	32	342,03	2,97
13	322,72	22,28	33	360,00	-15,00
14	320,15	24,85	34	360,00	-15,00
15	328,29	16,71	35	360,00	-15,00
16	336,77	8,23	36	360,00	-15,00
17	334,55	10,45	37	320,00	25,00
18	331,42	13,58	38	324,55	20,45

19	330,48	14,52	39	323,31	21,69
20	329,55	15,45	40	332,75	12,25

Para a Base SRTM 2 da UHESD foram utilizadas na avaliação as curvas 340, 350 e 360 m. A maioria dos pontos sorteados da tabela 6 ficou situada entre as curvas de nível 340, 350 e 360. Os pontos 4, 5, 7, 12, 15, 16, 22, 29, 33 e 34, que ficaram ora entre a curva 340, ora entre a curva 350 e ora entre a curva 360, e não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 340, 350 ou 360. Para os outros 30 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 7 “UHESD calculo SRTM”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 14, considerando a altitude de 345 m.

TABELA 14: UHESD – Cotas Interpoladas da Base SRTM 2.

N	Cota (m)	Δ cota (m)	N	Cota (m)	Δ cota (m)
1	350,31	-5,31	21	348,27	-3,27
2	346,06	-1,06	22	350,00	-5,00
3	349,28	-4,28	23	354,23	-9,23
4	350,00	-5,00	24	351,29	-6,29
5	350,00	-5,00	25	350,95	-5,95
6	350,18	-5,18	26	351,11	-6,11
7	350,00	-5,00	27	351,69	-6,69
8	360,69	-15,69	28	351,92	-6,92
9	353,29	-8,29	29	350,00	-5,00
10	356,05	-11,05	30	350,24	-5,24
11	353,42	-8,42	31	350,35	-5,35
12	350,00	-5,00	32	354,75	-9,75
13	352,20	-7,20	33	360,00	-15,00
14	350,41	-5,41	34	360,00	-15,00
15	350,00	-5,00	35	354,78	-9,78
16	350,00	-5,00	36	351,59	-6,59
17	349,95	-4,95	37	351,66	-6,66
18	346,99	-1,99	38	350,35	-5,35

19	346,61	-1,61	39	350,34	-5,34
20	350,42	-5,42	40	350,38	-5,38

Para a Base ASTER 2 da UHESD foram utilizadas na avaliação as curvas 340, 350 e 360 m. Metade dos pontos sorteados da Tabela 6 ficou situada entre as curvas de nível 340, 350 e 360. Os pontos 7 ao 10, 12, 14, 15, 16, 21, 22, 23, 27, 29, 33, 35 ao 40, que ficaram ora entre a curva 340, ora entre a curva 350 e ora entre a curva 360, não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 340, 350 ou 360. Para os outros 20 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 8 “UHESD calculo ASTER”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 15, considerando a altitude de 345 m.

TABELA 15: UHESD – Cotas Interpoladas da Base ASTER 2.

N	Cota (m)	Δ cota (m)	N	Cota (m)	Δ cota (m)
1	355,98	-10,98	21	350,00	-5,00
2	355,48	-10,48	22	360,00	-15,00
3	355,77	-10,77	23	360,00	-15,00
4	358,57	-13,57	24	356,66	-11,66
5	357,15	-12,15	25	353,45	-8,45
6	353,20	-8,20	26	354,74	-9,74
7	360,00	-15,00	27	350,00	-5,00
8	350,00	-5,00	28	348,42	-3,42
9	350,00	-5,00	29	350,00	-5,00
10	350,00	-5,00	30	355,73	-10,73
11	353,06	-8,06	31	355,98	-10,98
12	350,00	-5,00	32	351,55	-6,55
13	356,61	-11,61	33	350,00	-5,00
14	350,00	-5,00	34	356,74	-11,74
15	350,00	-5,00	35	350,00	-5,00
16	350,00	-5,00	36	350,00	-5,00
17	353,63	-8,63	37	350,00	-5,00
18	351,46	-6,46	38	350,00	-5,00

19	359,00	-14,00	39	350,00	-5,00
20	353,35	-8,35	40	350,00	-5,00

Para a Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX foram utilizadas na avaliação as curvas 870 e 880 metros. A maioria dos pontos sorteados Para a Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX foram utilizadas na avaliação as curvas 870 e 880 metros. A maioria dos pontos sorteados da Tabela 7 ficou situada entre as curvas de nível 870 e 880. Os pontos 2, 10, 14 ao 17, 36 ao 38 e 40 que ficaram, ora entre as curvas de nível 870 e ora entre as curvas 880, do ponto 7 que ficou entre as curvas de nível 130 e 135, não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 870 ou 880. Para os outros 30 pontos da Tabela 7 foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 9 “PCHCOX calculo foto”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 16, considerando a altitude de 872 metros.

TABELA 16: PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base Fotogramétrica 3.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	870,76	1,24	21	871,54	0,46
2	880,00	-8,00	22	871,32	0,68
3	874,19	-2,19	23	870,48	1,52
4	871,48	0,52	24	873,59	-1,59
5	872,97	-0,97	25	875,93	-3,93
6	872,57	-0,57	26	874,97	-2,97
7	872,23	-0,23	27	877,93	-5,93
8	870,76	1,24	28	871,42	0,58
9	871,55	0,45	29	878,53	-6,53
10	880,00	-8,00	30	875,69	-3,69
11	871,23	0,77	31	873,09	-1,09
12	870,28	1,72	32	873,99	-1,99
13	870,42	1,58	33	871,50	0,50
14	880,00	-8,00	34	873,19	-1,19
15	880,00	-8,00	35	875,18	-3,18
16	880,00	-8,00	36	880,00	-8,00

17	880,00	-8,00	37	880,00	-8,00
18	872,34	-0,34	38	880,00	-8,00
19	872,17	-0,17	39	870,88	1,12
20	872,93	-0,93	40	880,00	-8,00

Para a Base Cartográfica 3 da PCHCOX foram utilizadas na avaliação as curvas 840 e 880 metros. A maioria dos pontos sorteados da Tabela 7 situada entre as curvas de nível 880. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 880. Ocorreu apenas uma exceção do ponto 13 que ficou situado entre a curva 840 e 880, ao qual foi realizada uma interpolação. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 10 “PCHCOX calculo carta”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 17, considerando a altitude de 872 m.

TABELA 17: PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base Cartográfica 3.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	880,00	-8,00	21	880,00	0,46
2	880,00	-8,00	22	880,00	0,68
3	880,00	-8,00	23	880,00	1,52
4	880,00	-8,00	24	880,00	-1,59
5	880,00	-8,00	25	880,00	-3,93
6	880,00	-8,00	26	880,00	-2,97
7	880,00	-8,00	27	880,00	-5,93
8	880,00	-8,00	28	880,00	0,58
9	880,00	-8,00	29	880,00	-6,53
10	880,00	-8,00	30	880,00	-3,69
11	880,00	-8,00	31	880,00	-1,09
12	880,00	-8,00	32	880,00	-1,99
13	842,34	29,66	33	880,00	0,50
14	880,00	-8,00	34	880,00	-1,19
15	880,00	-8,00	35	880,00	-3,18
16	880,00	-8,00	36	880,00	-8,00
17	880,00	-8,00	37	880,00	-8,00

18	880,00	-8,00	38	880,00	-8,00
19	880,00	-8,00	39	880,00	1,12
20	880,00	-8,00	40	880,00	-8,00

Para a Base SRTM 3 da PCHCOX foram utilizadas na avaliação as curvas 870, 880 e 890 m. Metade dos pontos sorteados da Tabela 7 ficou situada entre as curvas de nível 870, 880 e 890. Os pontos 1 ao 4, 6, 11 ao 13, 23, 28 ao 36, 38 e 39, ficaram ora entre a curva 870 e ora entre a curva 880, não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 870 ou 880. Para os outros 20 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 11 “PCHCOX calculo SRTM”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 18, considerando a altitude de 872 m.

TABELA 18: PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base SRTM 3.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	880,00	-8,00	21	872,72	-0,72
2	880,00	-8,00	22	880,15	-8,15
3	880,00	-8,00	23	880,00	-8,00
4	880,00	-8,00	24	886,51	-14,51
5	871,75	0,25	25	891,16	-19,16
6	870,00	2,00	26	892,24	-20,24
7	874,85	-2,85	27	885,75	-13,75
8	878,69	-6,69	28	880,00	-8,00
9	876,56	-4,56	29	880,00	-8,00
10	874,64	-2,64	30	880,00	-8,00
11	870,00	2,00	31	880,00	-8,00
12	870,00	2,00	32	880,00	-8,00
13	860,00	12,00	33	880,00	-8,00
14	886,13	-14,13	34	880,00	-8,00
15	886,53	-14,53	35	880,00	-8,00
16	889,23	-17,23	36	880,00	-8,00
17	890,03	-18,03	37	880,20	-8,20

18	876,86	-4,86	38	880,00	-8,00
19	879,13	-7,13	39	880,00	-8,00
20	876,35	-4,35	40	894,49	-22,49

Para a Base ASTER 3 da PCHCOX foram utilizadas na avaliação as curvas 860, 870, 880 e 890 m. A maioria dos pontos sorteados da Tabela 7 ficou situada entre as curvas de nível 860, 870, 880 e 890. Os pontos 2, 4, 14, 16, 17, 24, 27, 28, 30 ao 34, 36, 38 ao 40, ficaram ora entre a curva 870, ora entre a curva 880 e ora entre a curva 890, não puderam ser interpolados. Para estes pontos ficou definido que sua cota seria equivalente à da curva, ou seja, 870, 880 ou 890. Para os outros 21 pontos foram realizadas interpolações. Todos os cálculos podem ser observados no apêndice 12 “PCHCOX calculo ASTER”. Os resultados das interpolações podem ser observados na Tabela 19, considerando a altitude de 872 m.

TABELA 19: PCHCOX – Cotas Interpoladas da Base ASTER 3.

N	Cota (m)	Δ Cota (m)	N	Cota (m)	Δ Cota (m)
1	874,55	-2,55	21	874,04	-2,04
2	880,00	-8,00	22	879,39	-7,39
3	890,97	-18,97	23	875,56	-3,56
4	870,00	2,00	24	880,00	-8,00
5	887,85	-15,85	25	880,26	-8,26
6	872,63	-0,63	26	880,15	-8,15
7	862,68	9,32	27	870,00	2,00
8	861,11	10,89	28	880,00	-8,00
9	872,62	-0,62	29	881,02	-9,02
10	875,76	-3,76	30	880,00	-8,00
11	870,46	1,54	31	880,00	-8,00
12	868,13	3,87	32	870,00	2,00
13	869,39	2,61	33	880,00	-8,00
14	890,00	-18,00	34	880,00	-8,00
15	888,95	-16,95	35	885,73	-13,73
16	880,00	-8,00	36	880,00	-8,00
17	880,00	-8,00	37	881,48	-9,48

18	864,85	7,15	38	880,00	-8,00
19	866,63	5,37	39	880,00	-8,00
20	871,18	0,82	40	880,00	-8,00

4.3.7 Enquadramento no PEC

Para que uma Base Fotogramétrica, que possua curvas de nível com equidistância de 5 m, se enquadre ao PEC Padrão Classe A altimétrico, seus valores obtidos por interpolação não devem ultrapassar 2,5 m para a exatidão e 1,66 m para a precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe B altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 3,0 m na exatidão e os 2,0 m na precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe C altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 3,75 m na exatidão e os 2,5 m na precisão.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 8, verifica-se que, somente quatro pontos (12, 17, 21 e 38) da **Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ** apresentaram resultados acima dos 2,5 m estimados, significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos quarenta pontos sorteados foi de 0,33 m e o desvio padrão foi de 1,48 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Fotogramétrica 1 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico.em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:5000.**

Ao observar os resultados expostos na Tabela 12, verifica-se que, somente quatro pontos (1, 3, 16 e 22) da **Base Fotogramétrica 2 da UHESD** apresentaram resultados acima dos 2,5 m estimados, significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos quarenta pontos sorteados foi de -0,66 m e o desvio padrão foi de 1,52 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Fotogramétrica 2 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico.em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:5000.**

Para que uma Base Fotogramétrica, que possua curvas de nível com equidistância de 10 m, se enquadre ao PEC Padrão Classe A altimétrico, seus valores obtidos por interpolação não devem ultrapassar 5 m para a exatidão e 3,33 m para a precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão

Classe B altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 6,0 m na exatidão e os 4,0 m na precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe C altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 7,0 m na exatidão e os 5 m na precisão.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 16, verifica-se que doze pontos (2, 10, 14 ao 17, 27, 29, 36, 37, 38 e 40) da **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX** apresentaram resultados acima dos 5 m estimados, significando 30 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão esperada. Onze pontos apresentaram valores acima dos 6,0 na exatidão (2, 10, 14 ao 17, 29, 36, 37, 38 e 40), significando 27,5 % de pontos rejeitados, impossibilitando o enquadramento no PEC Padrão Classe B altimétrico. Dez pontos apresentaram resultados acima dos 7,0 m estimados, significando 25 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada, em relação à exatidão altimétrica, no PEC Padrão Classe C, também. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base Fotogramétrica 3 foi de -2,63 m e o desvio padrão foi de 3,65 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Fotogramétrica 3 só pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:40000**, com curvas de nível com equidistância de 16 m e exatidão de 8 m.

Para que uma Base Cartográfica, que possua curvas de nível com equidistância de 20 m, se enquadre ao PEC Padrão Classe A altimétrico, seus valores obtidos por interpolação não devem ultrapassar 10 m para a exatidão e 6,66 m para precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe B altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 12 m na exatidão e os 8 m na precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe C altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 15 m na exatidão e os 10 m na precisão.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 9, verifica-se que, a **Base Cartográfica 1 da UHEPSJ** apresentou 10 pontos com resultado acima dos 10 m estimados (pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 27, 37, 38, 39 e 40), significando 25 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:50000. Nenhum ponto da Tabela 9 apresentou valor superior a 12 m, significando 100 % de pontos aprovados em relação à exatidão altimétrica para o PEC Padrão Classe B. A média das diferenças dos quarenta pontos da “base cartográfica 1” foi de -0,70 m e o desvio

padrão foi de 7,52 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Cartográfica 1 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:50000**.

Um MDE SRTM possui uma exatidão altimétrica declarada (*a priori*) de 16 m (de acordo com item 2.4.2.1.2). Considerando 16 m como meia equidistância, compatível com a escala 1:80000, para enquadrar a base no PEC Padrão Classe A altimétrico, os valores não devem ultrapassar 16 m para a exatidão e 10,66 m para precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe B altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 19,2 m na exatidão e os 12,8 m na precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe C altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 24 m na exatidão e os 16 m na precisão.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 10, verifica-se que, a **Base SRTM 1 da UHEPSJ** apresentou 1 ponto com resultado acima dos 16 m estimados (pontos 39), significando 2,5 % de pontos rejeitados, podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:80000, tendo em vista que, de acordo com os valores apresentados na tabela, a adequação nesta escala é permitida. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base SRTM 1 foi de -7,48 e o desvio padrão foi de 4,77 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base SRTM 1 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:62000**, com curvas de nível com equidistância de 25 m e exatidão de 12,5 m.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 14, verifica-se que, a **Base SRTM 2 da UHESD** não apresentou nenhum ponto com resultado acima dos 16 m estimados, significando 0 % de pontos rejeitados, podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:80000, tendo em vista que, de acordo com os valores apresentados na Tabela 14, a adequação nesta escala é permitida. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base SRTM 2 foi de -6,49 e o desvio padrão foi de 3,24 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base SRTM 2, para esta região de estudo pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:50000**, com curvas de nível com equidistância de 20 m e exatidão de 10 m.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 18, verifica-se que, a Base SRTM 3 da PCHCOX apresentou 5 pontos com resultado acima dos 16 m estimados (pontos 16, 17, 25, 26 e 40), significando 12,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:80000, tendo em vista que, de acordo com os valores apresentados na Tabela 18, a adequação nesta escala não é permitida. Somente três pontos da Tabela 18 apresentaram valores superiores a 19,2 m, significando 92,5 % de pontos aprovados em relação à exatidão altimétrica para o PEC Padrão Classe B. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base SRTM 3 foi de -7,85 m e o desvio padrão foi de 6,68 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base SRTM 3 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:80000** e também ao **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:100000**, com curvas de nível com equidistância de 40 m e exatidão de 20 m.

Para que uma base cartográfica, que possua curvas de nível com equidistância de 40 m, se enquadrar ao PEC Padrão Classe A altimétrico, os valores obtidos por interpolação não devem ultrapassar 20 m para a exatidão e 13,33 m para precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe B altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 24 m na exatidão e os 16 m na precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe C altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 30 m na exatidão e os 20 m na precisão.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 13, verifica-se que, a **Base Cartográfica 2 da UHESD** apresentou 7 pontos com resultado acima dos 20 m estimados (pontos: 2, 13, 14, 27, 37, 38 e 39), significando 17,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:100000. Somente dois pontos da Tabela 13 apresentaram valores superiores a 24 m, significando 95 % de pontos aprovados em relação à exatidão altimétrica para o PEC Padrão Classe B. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base Cartográfica 2 foi de 4,15 m e o desvio padrão foi de 15,82 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Cartográfica 2 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:100000**.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 17, verifica-se que, a **Base**

Cartográfica 3 da PCHCOX apresentou apenas 1 ponto com resultado acima dos 20 m estimados (13), significando 2,5 % de pontos rejeitados, podendo ser enquadrada no **PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e a precisão na escala 1:100000**, tendo em vista que, de acordo com os valores apresentados na Tabela 17, a adequação nesta escala é permitida. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base Cartográfica 3 foi de -7,06 e o desvio padrão foi de 5,95 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Cartográfica 3, para esta região de estudo pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:50000**, com curvas de nível com equidistância de 20 m e exatidão de 10 m.

Um MDE ASTER GDEM possui uma exatidão altimétrica declarada (*a priori*) de 20 m (de acordo com item 2.4.2.2.1). Considerando 20 m como meia equidistância, compatível com a escala 1:100000, para enquadrar a base no PEC Padrão Classe A altimétrico, os valores não devem ultrapassar 20 m para a exatidão e 13,33 m para precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe B altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 24 m na exatidão e os 16 m na precisão. Para enquadrar a base no PEC Padrão Classe C altimétrico, os valores não devem ultrapassar os 30 m na exatidão e os 20 m na precisão.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 11, verifica-se que, a **Base ASTER 1 da UHEPSJ** apresentou apenas 3 pontos com resultado acima dos 20 m estimados (pontos 22, 24 e 29), significando 7,5 % de pontos rejeitados, podendo ser enquadrada no **PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:100000**, tendo em vista que, de acordo com os valores apresentados na tabela, a adequação nesta escala é permitida. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base ASTER 1 foi de -5,45 e o desvio padrão foi de 8,82 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base ASTER 1 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:80000**, com curvas de nível com equidistância de 32 m e exatidão de 16 m.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 15, verifica-se que, a **Base ASTER 2 da UHESD** não apresentou nenhum ponto com resultado acima dos 20 m estimados, significando 0 % de pontos rejeitados, podendo ser enquadrada no **PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:100000**, tendo em vista que, de acordo

com os valores apresentados na Tabela 15, a adequação nesta escala é permitida. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base ASTER 2 foi de -8,16 e o desvio padrão foi de 3,55 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base ASTER 2 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:70000**, com curvas de nível com equidistância de 28 m e exatidão de 14 m.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 19, verifica-se que, a **Base ASTER 3 da PCHCOX** não apresentou nenhum ponto com resultado acima dos 20 m estimados, significando 0 % de pontos rejeitados, podendo ser enquadrada no **PEC Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão na escala 1:100000**, tendo em vista que, de acordo com os valores apresentados na tabela, a adequação nesta escala é permitida. A média das diferenças dos quarenta pontos da Base ASTER 3 foi de -4,88 e e o desvio padrão foi de 7,18 m. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base ASTER 3 pode ser enquadrada no **PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão até a escala 1:70000**, com curvas de nível com equidistância de 28 m e exatidão de 14 m.

4.3.8 Enquadramento no STANAG 2215

A escala de voo advinda da **Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ** é de 1:15000, portanto, para ser enquadrada, os valores interpolados de altimetria não devem ultrapassar os 1,5 m para a Classe 0, 3,0 m para a Classe 1 e 6,0 m para a Classe 2. Ao observar os resultados na Tabela 8, verifica-se que a Base Fotogramétrica 1 foi enquadrada no **STANAG Classe 1 altimétrico para a escala 1:15000** em relação à exatidão altimétrica, pois somente três pontos ficaram com resultados acima dos 3,0 m estimados (pontos: 17, 21 e 38), significando 7,5 % de pontos rejeitados e 92,5 % de pontos aprovados. Como nove pontos ficaram com resultados acima dos 1,5 m estimados (pontos: 7, 8, 10, 12, 16, 17, 21, 32, e 38), significando 22,5 % de pontos rejeitados, a Base Fotogramétrica 1 não pode ser enquadrada no STANAG Classe 0.

A escala planimétrica da **Base Cartográfica 1 da UHEPSJ** é 1:50000, portanto, para ser enquadrada, os valores interpolados de altimetria não devem ultrapassar os 5,0 m para a Classe 0, 10 m para a Classe 1 e 20 m para a Classe 2. Ao observar os resultados na Tabela 19, verifica-se que

a Base Cartográfica 1 foi enquadrada no **STANAG Classe 2 para a escala 1:50000** em relação à exatidão altimétrica, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 20 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 10 pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (pontos: 1 ao 5, 27, 37 ao 40), significando 12,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 1. Como 25 pontos apresentaram resultados acima dos 5 m estimados (pontos: 1 ao 10, 12, 13, 14, 17, 18, 27 ao 31 e 36 ao 40), significando 62,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Para um MDE SRTM, que possui uma exatidão altimétrica declarada (*a priori*) de 16 m (de acordo com item 2.4.2.1.2), considerando 16 m como meia equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:80000, para realizar o enquadramento no STANAG Padrão Classe 0 altimétrico, os valores interpolados não devem ultrapassar 8 m para a exatidão, para o Padrão Classe 1, 16 m e para o Padrão Classe 2, 32 m.

Ao observar os resultados na Tabela 10, verifica-se que a **Base SRTM 1 da UHEPSJ** foi enquadrada no **STANAG Classe 1 para a escala 1:80000** em relação à exatidão altimétrica, pois somente um ponto apresentou resultado acima dos 16 m estimados (ponto 39), significando 97,5 % de pontos aprovados. Como 16 pontos apresentaram resultados acima dos 8 m estimados (pontos: 1, 4 ao 7, 9, 12, 17, 19, 20, 30, 31, 32, 36,, 38, 39, e 40), significando 12,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Ao observar os resultados na Tabela 14, verifica-se que a **Base SRTM 2 da UHESD** foi enquadrada no **STANAG Classe 1 para a escala 1:80000** em relação à exatidão altimétrica, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 16 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 9 pontos apresentaram resultados acima dos 8 m estimados (pontos: 8 ao 11, 23, 32 ao 35), significando 22,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Ao observar os resultados na Tabela 18, verifica-se que a **Base SRTM 3 da PCHCOX** foi enquadrada no **STANAG Classe 2 para a escala 1:80000** em relação à altimetria, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 32 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 5 pontos apresentaram resultados acima dos 16 m estimados (pontos: 16, 17, 25, 26 e 40), significando 12,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 1. Como 12 pontos

apresentaram resultados acima dos 8 m estimados (pontos: 13 ao 17, 22, 24 ao 27, 37 ao 40), significando 30 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Para um MDE ASTER GDEM, que possui uma exatidão altimétrica declarada (*a priori*) de 20 m (de acordo com item 2.4.2.2.1), considerando 20 m como meia equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:100000, para realizar o enquadramento no STANAG Padrão Classe 0 altimétrico, os valores interpolados não devem ultrapassar 10 m para a exatidão, para o Padrão Classe 1, 20 m e para o Padrão Classe 2, 40 m.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 11, verifica-se que, a **Base ASTER 1 da UHEPSJ** foi enquadrada no **STANAG Classe 1 para a escala 1:100000** em relação à exatidão altimétrica, pois somente três pontos apresentaram resultado acima dos 20 m estimados (pontos 22, 24 e 29), significando 92,5 % de pontos aprovados. Como 15 pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (pontos: 11, 14, 15, 19, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 32, 33, 38, 39 e 40), significando 37,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 15, verifica-se que, a **Base ASTER 2 da UHESD** foi enquadrada no **STANAG Classe 1 para a escala 1:100000** em relação à exatidão altimétrica, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 20 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 14 pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (pontos: 1 ao 5, 7, 13, 19, 22, 23, 24, 30, 31 e 34), significando 35 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 19, verifica-se que, a **Base ASTER 3 da PCHCOX** foi enquadrada no **STANAG Classe 1 para a escala 1:100000** em relação à altimetria, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 20 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 6 pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (pontos: 3, 5, 8, 14, 15, e 35), significando 15 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

A escala de voo advinda da **Base Fotogramétrica 2 da UHESD** é de 1:30000, portanto, para ser enquadrada, os valores interpolados de altimetria não devem ultrapassar os 3,0 m para a Classe 0, 6,0 m para a

Classe 1 e 12 m para a Classe 2. Ao observar os resultados na Tabela 12 verifica-se que a Base Fotogramétrica 2 foi enquadrada no **STANAG Classe 0 altimétrico para a escala 1:30000** em relação à exatidão altimétrica, pois somente quatro pontos ficaram com resultados acima dos 3 m estimados (pontos: 1, 3, 16 e 22), significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados.

A escala de voo advinda da **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX** é de 1:20000, portanto, para ser enquadrada, os valores interpolados de altimetria não devem ultrapassar os 2,0 m para a Classe 0, 4,0 m para a Classe 1 e 8 m para a Classe 2. Ao observar os resultados na Tabela 16, verifica-se que a **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX** foi enquadrada no **STANAG Classe 2 para a escala 1:20000** em relação à exatidão altimétrica, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 8 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 12 pontos apresentaram resultados acima dos 4 m estimados (pontos: 2, 3, 10, 14 ao 17, 25, 36, 27, 29, 30, 35, 36, 37, 38, e 40), significando 30 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 1. Como 17 pontos apresentaram resultados acima dos 2 m estimados (pontos: 2, 10, 14 ao 17, 27, 29, 36, 37, 38, e 40), significando 42,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Uma base cartográfica com escala planimétrica 1:100000, para ser enquadrada no STANAG, os valores interpolados de altimetria não devem ultrapassar os 10 m para a Classe 0, 20 m para a Classe 1 e 40 m para a Classe 2.

Ao observar os resultados na Tabela 13, verifica-se que a **Base Cartográfica 2 da UHESD** foi enquadrada no **STANAG Classe 2 para a escala 1:100000** em relação à exatidão altimétrica, pois nenhum ponto apresentou resultado acima dos 40 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Como 7 pontos apresentaram resultados acima dos 20 m estimados (pontos: 2, 12 ao 15, 27, 37 ao 39), significando 17,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 1. Como 35 pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (com exceção dos pontos: 16, 29 ao 32), significando 87,5 % de pontos rejeitados, a base não pode ser enquadrada na Classe 0.

Ao observar os resultados na Tabela 17, verifica-se que a **Base Cartográfica 3 da PCHCOX** foi enquadrada no **STANAG Classe 0 para a escala 1:100000** em relação à altimetria, pois apenas um ponto

apresentou resultado acima dos 10 m estimados (ponto 13), significando 97,5 % de pontos aprovados. Com base nos resultados apresentados conclui-se previamente que, a Base Cartográfica 3 pode ser enquadrada no STANAG – Padrão Classe 0 altimétrico em relação à exatidão.

4.3.9 Análise de Tendência

Nos pontos sorteados para cada área de estudo e base testada, foram realizadas interpolações, conforme já descrito no item 4.3.6 para extração das cotas de cada base.

Para os produtos testados da Área de Estudo 1 da UHEPSJ, os pontos sorteados com suas respectivas coordenadas (com cota de 128, 5 m) da Tabela 5 foram utilizados como referência para interpolação e extração da cota de cada base testada da área de estudo 1, conforme valores de cota e suas respectivas diferenças apresentadas nas Tabela 8, Tabela 9 Tabela 10, Tabela 11. Na Tabela 20 podem ser verificadas as diferenças entre cota de referência e interpolada para cada base testada da área de estudo 1. Na Tabela 21 pode ser observado o gráfico de dispersão das mesmas diferenças de cota.

TABELA 20: Diferenças de cota das bases testadas da UHEPSJ.

N	Diferença de cota			
	Foto	Carta	SRTM	ASTER
1	-1,50	-11,50	-12,00	-2,00
2	-0,14	-11,50	-7,61	-7,97
3	-0,86	-11,50	-7,94	-2,00
4	-0,93	-11,50	-12,00	-2,00
5	-1,31	-11,50	-8,30	8,00
6	-1,45	8,50	-12,00	-2,00
7	-1,99	8,50	-11,86	-1,10
8	2,02	8,50	-4,20	-2,00
9	1,08	6,68	-10,70	-2,00
10	1,63	8,50	-2,07	-2,00
11	0,28	1,88	-6,90	-10,35
12	2,54	8,20	-13,78	-9,85

13	1,16	7,04	-2,00	-2,00
14	0,66	5,43	-2,00	11,43
15	1,50	1,23	-5,44	-10,47
16	1,66	1,17	-5,12	3,57
17	3,10	7,88	-13,42	-3,05
18	-1,50	8,50	-7,57	0,34
19	-0,79	-0,90	-12,93	-10,84
20	1,18	2,36	-12,28	-2,00
21	4,08	0,91	-2,00	5,59
22	0,67	1,80	-2,00	-21,04
23	1,27	4,74	-2,00	-12,00
24	-1,50	-3,10	-6,13	-22,00
25	-0,14	-0,31	-2,00	-4,06
26	0,97	4,68	-3,41	-12,00
27	-0,24	-11,50	-2,00	-11,23
28	0,01	-5,80	-2,00	-5,36
29	0,35	5,31	-7,12	-32,00
30	-0,70	8,29	-12,03	-3,20
31	0,20	-5,63	-9,74	-3,24
32	1,70	3,19	-8,33	-16,96
33	1,16	-0,26	-5,95	-15,53
34	-0,74	-3,48	-3,09	-3,11
35	-0,42	-1,28	-2,00	-2,82
36	-0,16	-5,70	-12,00	-2,00
37	0,14	-11,50	-2,00	5,30
38	3,29	-11,50	-12,00	-13,13
39	-1,50	-11,50	-21,28	10,93
40	-1,50	-11,50	-12,00	-12,00

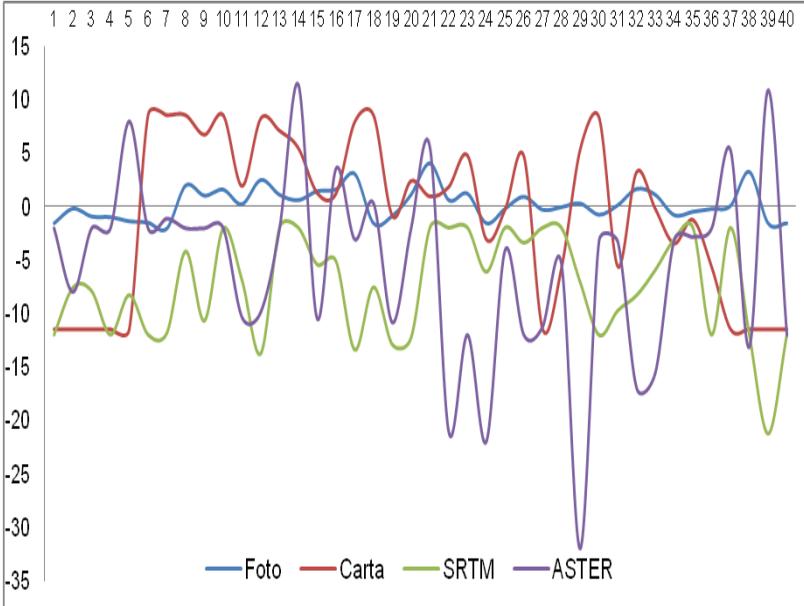


FIGURA 20: Gráfico de dispersão da UHEPSJ.

Analisando as diferenças expostas na Tabela 20 e na Tabela 21 não foram verificadas tendências sistemáticas nas Bases Fotogramétrica 1, Cartográfica 1, tendo em vista que os valores de média de 0,33 e de -0,70 m, respectivamente podem ser considerados suficientes para atender a hipótese nula estabelecida.

Analisando as diferenças expostas na Tabela 20 e na Tabela 21 foram verificadas tendências sistemáticas negativas nas Bases SRTM 1 e ASTER 1, tendo em vista que os valores de média de -7,48 e de -5,45 m, respectivamente, não são considerados suficientes para atender a hipótese nula estabelecida e conseqüentemente atendem a hipótese 1.

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base SRTM 1 da UHESD, que resultou nos valores apresentados na Tabela 21, de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 7,5 m da Base SRTM 1, a nova média de 0,02 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 21: UHEPSJ - Retirada da Tendência Sistemática da Base SRTM 1.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média) ²	Final	Dif. (Δ)
1	7,50	-4,50	-4,52	20,43	132,50	4,50
2	7,50	-0,11	-0,13	0,02	128,11	0,11
3	7,50	-0,44	-0,46	0,21	128,44	0,44
4	7,50	-4,50	-4,52	20,43	132,50	4,50
5	7,50	-0,80	-0,82	0,68	128,80	0,80
6	7,50	-4,50	-4,52	20,43	132,50	4,50
7	7,50	-4,36	-4,38	19,21	132,36	4,36
8	7,50	3,30	3,28	10,73	124,70	-3,30
9	7,50	-3,20	-3,22	10,39	131,20	3,20
10	7,50	5,43	5,41	29,32	122,57	-5,43
11	7,50	0,60	0,58	0,34	127,40	-0,60
12	7,50	-6,28	-6,30	39,64	134,28	6,28
13	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
14	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
15	7,50	2,06	2,04	4,16	125,94	-2,06
16	7,50	2,38	2,36	5,58	125,62	-2,38
17	7,50	-5,92	-5,94	35,30	133,92	5,92
18	7,50	-0,07	-0,09	0,01	128,07	0,07
19	7,50	-5,43	-5,45	29,73	133,43	5,43
20	7,50	-4,78	-4,80	23,06	132,78	4,78
21	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
22	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
23	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
24	7,50	1,37	1,35	1,84	126,63	-1,37
25	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
26	7,50	4,09	4,07	16,60	123,91	-4,09
27	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
28	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
29	7,50	0,38	0,36	0,13	127,62	-0,38

30	7,50	-4,53	-4,55	20,73	132,53	4,53
31	7,50	-2,24	-2,26	5,13	130,24	2,24
32	7,50	-0,83	-0,85	0,72	128,83	0,83
33	7,50	1,55	1,53	2,35	126,45	-1,55
34	7,50	4,41	4,39	19,23	123,59	-4,41
35	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
36	7,50	-4,50	-4,52	20,43	132,50	4,50
37	7,50	5,50	5,48	30,03	122,50	-5,50
38	7,50	-4,50	-4,52	20,43	132,50	4,50
39	7,50	-13,78	-13,80	190,40	141,78	13,78
40	7,50	-4,50	-4,52	20,43	132,50	4,50

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base ASTER 1, que resultou nos valores apresentados na Tabela 22, de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 5,0 m da Base ASTER 1, a nova média de -0,45 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 22: UHEPSJ - Retirada da Tendência Sistemática da Base ASTER 1.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	$(\Delta - Média)^2$	Final	Dif. (Δ)
1	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
2	5,00	-2,97	-2,52	6,33	130,97	2,97
3	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
4	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
5	5,00	13,00	13,45	180,99	115,00	-13,00
6	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
7	5,00	3,90	4,36	18,99	124,10	-3,90
8	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
9	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
10	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
11	5,00	-5,35	-4,90	23,99	133,35	5,35
12	5,00	-4,85	-4,40	19,34	132,85	4,85

13	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
14	5,00	16,43	16,88	284,91	111,57	-16,43
15	5,00	-5,47	-5,02	25,19	133,47	5,47
16	5,00	8,57	9,02	81,44	119,43	-8,57
17	5,00	1,95	2,41	5,80	126,05	-1,95
18	5,00	5,34	5,79	33,57	122,66	-5,34
19	5,00	-5,84	-5,38	28,96	133,84	5,84
20	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
21	5,00	10,59	11,04	121,95	117,41	-10,59
22	5,00	-16,04	-15,59	243,03	144,04	16,04
23	5,00	-7,00	-6,55	42,86	135,00	7,00
24	5,00	-17,00	-16,55	273,79	145,00	17,00
25	5,00	0,94	1,40	1,95	127,06	-0,94
26	5,00	-7,00	-6,55	42,86	135,00	7,00
27	5,00	-6,23	-5,78	33,42	134,23	6,23
28	5,00	-0,36	0,10	0,01	128,36	0,36
29	5,00	-27,00	-26,55	704,72	155,00	27,00
30	5,00	1,80	2,26	5,10	126,20	-1,80
31	5,00	1,76	2,21	4,88	126,24	-1,76
32	5,00	-11,96	-11,51	132,44	139,96	11,96
33	5,00	-10,53	-10,08	101,54	138,53	10,53
34	5,00	1,89	2,35	5,50	126,11	-1,89
35	5,00	2,18	2,64	6,94	125,82	-2,18
36	5,00	3,00	3,45	11,93	125,00	-3,00
37	5,00	10,30	10,76	115,68	117,70	-10,30
38	5,00	-8,13	-7,67	58,86	136,13	8,13
39	5,00	15,93	16,38	268,39	112,07	-15,93
40	5,00	-7,00	-6,55	42,86	135,00	7,00

Na Figura 22 pode ser observado o gráfico de dispersão das diferenças entre cota de referência e cota interpolada para as bases testadas após a quase retirada da tendência sistemática das Bases SRTM 1 e ASTER 1.

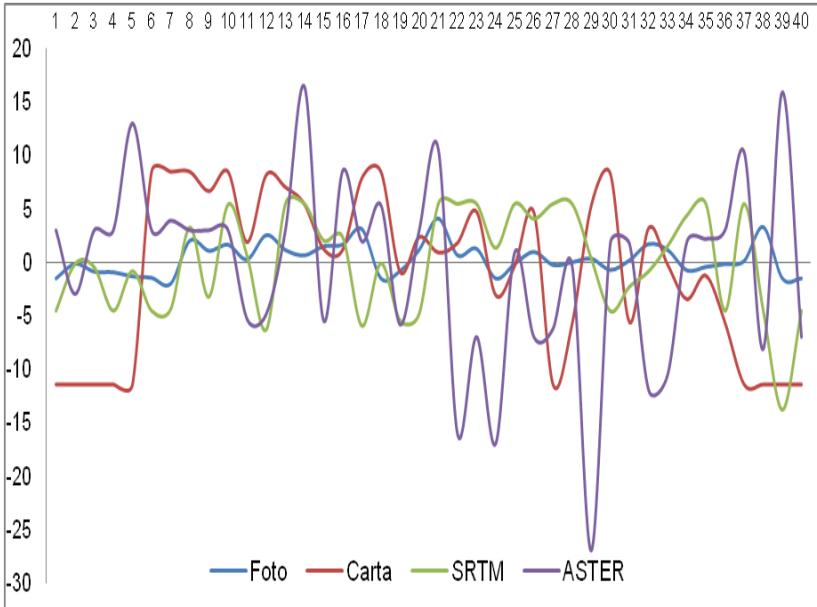


FIGURA 21: Gráfico de dispersão da UHEPSJ sem tendência sistemática

Para a Área de Estudo 2 da UHESD, os pontos sorteados com suas respectivas coordenadas (com cota de 345 m) da Tabela 6 foram utilizados como referência para interpolação e extração da cota de cada base testada da área de estudo 2, conforme valores de cota e suas respectivas diferenças apresentadas nas Tabelas 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15.

Na Tabela 23 podem ser verificadas as diferenças entre cota de referência e interpolada para cada base testada da área de estudo 2. Na Tabela 23 pode ser observado o gráfico de dispersão das mesmas diferenças de cota.

TABELA 23: Diferenças de cota das bases testadas da UHESD.

N	Diferença de cota			
	Foto	Carta	SRTM	ASTER
1	-3,31	17,87	-5,31	-10,98
2	-0,80	20,90	-1,06	-10,48
3	-3,13	11,78	-4,28	-10,77
4	2,05	19,65	-5,00	-13,57
5	0,69	-15,00	-5,00	-12,15
6	0,72	-15,00	-5,18	-8,20
7	2,02	-5,00	-5,00	-15,00
8	-0,43	-15,00	-15,69	-5,00
9	-2,14	-5,00	-8,29	-5,00
10	0,25	-5,00	-11,05	-5,00
11	-0,57	-5,00	-8,42	-8,06
12	0,83	-5,00	-5,00	-5,00
13	-2,39	22,28	-7,20	-11,61
14	-1,46	24,85	-5,41	-5,00
15	-0,16	16,71	-5,00	-5,00
16	-3,65	8,23	-5,00	-5,00
17	0,55	10,45	-4,95	-8,63
18	-0,93	13,58	-1,99	-6,46
19	-0,33	14,52	-1,61	-14,00
20	0,35	15,45	-5,42	-8,35
21	-1,12	18,94	-3,27	-5,00
22	3,39	-15,00	-5,00	-15,00
23	-0,66	-15,00	-9,23	-15,00
24	-1,10	-15,00	-6,29	-11,66
25	-2,08	16,82	-5,95	-8,45
26	-1,55	13,94	-6,11	-9,74
27	-2,28	23,90	-6,69	-5,00
28	-1,64	19,60	-6,92	-3,42
29	-0,63	7,59	-5,00	-5,00

30	-1,75	5,57	-5,24	-10,73
31	-1,91	6,10	-5,35	-10,98
32	-2,49	2,97	-9,75	-6,55
33	0,00	-15,00	-15,00	-5,00
34	-0,25	-15,00	-15,00	-11,74
35	0,00	-15,00	-9,78	-5,00
36	-0,24	-15,00	-6,59	-5,00
37	1,68	25,00	-6,66	-5,00
38	-0,49	20,45	-5,35	-5,00
39	-1,70	21,69	-5,34	-5,00
40	0,24	12,25	-5,38	-5,00

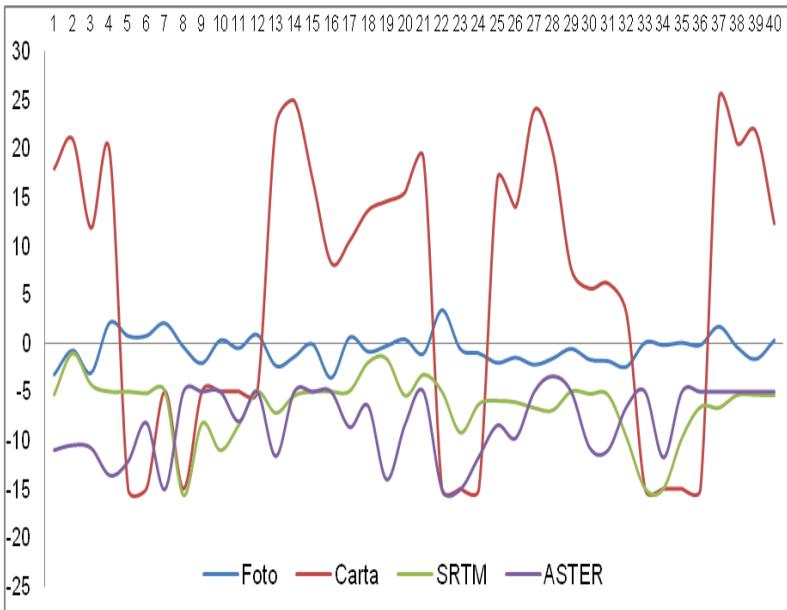


FIGURA 22: Gráfico de dispersão da UHESD.

Analisando as diferenças expostas na Tabela 23 e na Figura 23 não foi verificada tendência sistemática na Base Fotogramétrica 2, tendo em vista que o valor de média de -0,66 m, pode ser considerado suficiente para atender a hipótese nula estabelecida.

Analisando as diferenças expostas na Tabela 23 e na Figura 23 foram verificadas tendências sistemáticas, positiva na Base Cartográfica 2 e negativas nas Bases SRTM 2 e ASTER 2, tendo em vista que os valores de média de 5,40, -6,49 e de -8,16 m, respectivamente, não são considerados suficientes para atender a hipótese nula estabelecida e consequentemente atendem a hipótese 1.

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base Cartográfica 2, que resultou nos valores apresentados na Tabela 24 de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático positivo de 5,0 m da Base Cartográfica 2, a nova média de 0,40 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 24: UHESD - Retirada da Tendência Sistemática da Base Cartográfica 2.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média) ²	Final	Dif. (Δ)
1	-5,00	12,87	12,47	155,47	332,13	-12,87
2	-5,00	15,90	15,50	240,16	329,10	-15,90
3	-5,00	6,78	6,38	40,71	338,22	-6,78
4	-5,00	14,65	14,25	203,05	330,35	-14,65
5	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
6	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
7	-5,00	-10,00	-10,40	108,21	355,00	10,00
8	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
9	-5,00	-10,00	-10,40	108,21	355,00	10,00
10	-5,00	-10,00	-10,40	108,21	355,00	10,00
11	-5,00	-10,00	-10,40	108,21	355,00	10,00
12	-5,00	-10,00	-10,40	108,21	355,00	10,00
13	-5,00	17,28	16,88	284,90	327,72	-17,28
14	-5,00	19,85	19,45	378,32	325,15	-19,85
15	-5,00	11,71	11,31	127,92	333,29	-11,71
16	-5,00	3,23	2,82	7,97	341,77	-3,23
17	-5,00	5,45	5,05	25,47	339,55	-5,45
18	-5,00	8,58	8,18	66,89	336,42	-8,58
19	-5,00	9,52	9,12	83,12	335,48	-9,52

20	-5,00	10,45	10,05	101,01	334,55	-10,45
21	-5,00	13,94	13,54	183,29	331,06	-13,94
22	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
23	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
24	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
25	-5,00	11,82	11,42	130,31	333,18	-11,82
26	-5,00	8,94	8,54	72,89	336,06	-8,94
27	-5,00	18,90	18,50	342,24	326,10	-18,90
28	-5,00	14,60	14,20	201,63	330,40	-14,60
29	-5,00	2,59	2,19	4,78	342,41	-2,59
30	-5,00	0,57	0,17	0,03	344,43	-0,57
31	-5,00	1,10	0,69	0,48	343,90	-1,10
32	-5,00	-2,03	-2,44	5,94	347,03	2,03
33	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
34	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
35	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
36	-5,00	-20,00	-20,40	416,26	365,00	20,00
37	-5,00	20,00	19,60	384,06	325,00	-20,00
38	-5,00	15,45	15,05	226,41	329,55	-15,45
39	-5,00	16,69	16,29	265,29	328,31	-16,69
40	-5,00	7,25	6,85	46,90	337,75	-7,25

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base SRTM 2, que resultou nos valores apresentados na Tabela 25, de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 6,5 m da Base SRTM 2, a nova média de 0,01 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 25: UHESD - Retirada da Tendência Sistemática da Base SRTM 2.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média) ²	Final	Dif. (Δ)
1	6,50	1,19	1,19	1,41	343,81	-1,19
2	6,50	5,44	5,44	29,57	339,56	-5,44
3	6,50	2,22	2,21	4,89	342,78	-2,22
4	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
5	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
6	6,50	1,32	1,32	1,73	343,68	-1,32
7	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
8	6,50	-9,19	-9,19	84,53	354,19	9,19
9	6,50	-1,79	-1,80	3,24	346,79	1,79
10	6,50	-4,55	-4,56	20,80	349,55	4,55
11	6,50	-1,92	-1,93	3,73	346,92	1,92
12	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
13	6,50	-0,70	-0,70	0,50	345,70	0,70
14	6,50	1,09	1,08	1,17	343,91	-1,09
15	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
16	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
17	6,50	1,55	1,54	2,38	343,45	-1,55
18	6,50	4,51	4,50	20,25	340,49	-4,51
19	6,50	4,89	4,88	23,81	340,11	-4,89
20	6,50	1,08	1,08	1,16	343,92	-1,08
21	6,50	3,23	3,23	10,41	341,77	-3,23
22	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50
23	6,50	-2,73	-2,73	7,46	347,73	2,73
24	6,50	0,21	0,21	0,04	344,79	-0,21
25	6,50	0,55	0,54	0,29	344,45	-0,55
26	6,50	0,39	0,39	0,15	344,61	-0,39
27	6,50	-0,19	-0,19	0,04	345,19	0,19
28	6,50	-0,42	-0,43	0,18	345,42	0,42
29	6,50	1,50	1,49	2,23	343,50	-1,50

30	6,50	1,26	1,26	1,58	343,74	-1,26
31	6,50	1,15	1,14	1,30	343,85	-1,15
32	6,50	-3,25	-3,25	10,58	348,25	3,25
33	6,50	-8,50	-8,51	72,35	353,50	8,50
34	6,50	-8,50	-8,51	72,35	353,50	8,50
35	6,50	-3,28	-3,28	10,78	348,28	3,28
36	6,50	-0,09	-0,10	0,01	345,09	0,09
37	6,50	-0,16	-0,17	0,03	345,16	0,16
38	6,50	1,15	1,14	1,31	343,85	-1,15
39	6,50	1,16	1,15	1,33	343,84	-1,16
40	6,50	1,12	1,12	1,25	343,88	-1,12

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base ASTER 2, que resultou nos valores apresentados na Tabela 26, de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 8,0 m da Base ASTER 2, a nova média de -0,16 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 26: UHESD - Retirada da Tendência Sistemática da Base ASTER 2.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média) ²	Final	Dif. (Δ)
1	8,00	-2,98	-2,81	7,91	347,98	2,98
2	8,00	-2,48	-2,32	5,38	347,48	2,48
3	8,00	-2,77	-2,61	6,81	347,77	2,77
4	8,00	-5,57	-5,40	29,21	350,57	5,57
5	8,00	-4,15	-3,99	15,89	349,15	4,15
6	8,00	-0,20	-0,04	0,00	345,20	0,20
7	8,00	-7,00	-6,84	46,74	352,00	7,00
8	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
9	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
10	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
11	8,00	-0,06	0,10	0,01	345,06	0,06
12	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00

13	8,00	-3,61	-3,45	11,89	348,61	3,61
14	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
15	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
16	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
17	8,00	-0,63	-0,46	0,21	345,63	0,63
18	8,00	1,54	1,71	2,91	343,46	-1,54
19	8,00	-6,00	-5,83	34,02	351,00	6,00
20	8,00	-0,35	-0,19	0,04	345,35	0,35
21	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
22	8,00	-7,00	-6,84	46,74	352,00	7,00
23	8,00	-7,00	-6,84	46,74	352,00	7,00
24	8,00	-3,66	-3,50	12,25	348,66	3,66
25	8,00	-0,45	-0,29	0,08	345,45	0,45
26	8,00	-1,74	-1,57	2,47	346,74	1,74
27	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
28	8,00	4,58	4,75	22,53	340,42	-4,58
29	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
30	8,00	-2,73	-2,57	6,60	347,73	2,73
31	8,00	-2,98	-2,82	7,95	347,98	2,98
32	8,00	1,45	1,62	2,61	343,55	-1,45
33	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
34	8,00	-3,74	-3,58	12,80	348,74	3,74
35	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
36	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
37	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
38	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
39	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00
40	8,00	3,00	3,16	10,00	342,00	-3,00

Na Figura 24 pode ser observado o gráfico de dispersão das diferenças entre cota de referência e cota interpolada para as bases testadas após a retirada da tendência sistemática das Bases Cartográfica 2, SRTM 2 e ASTER 2.

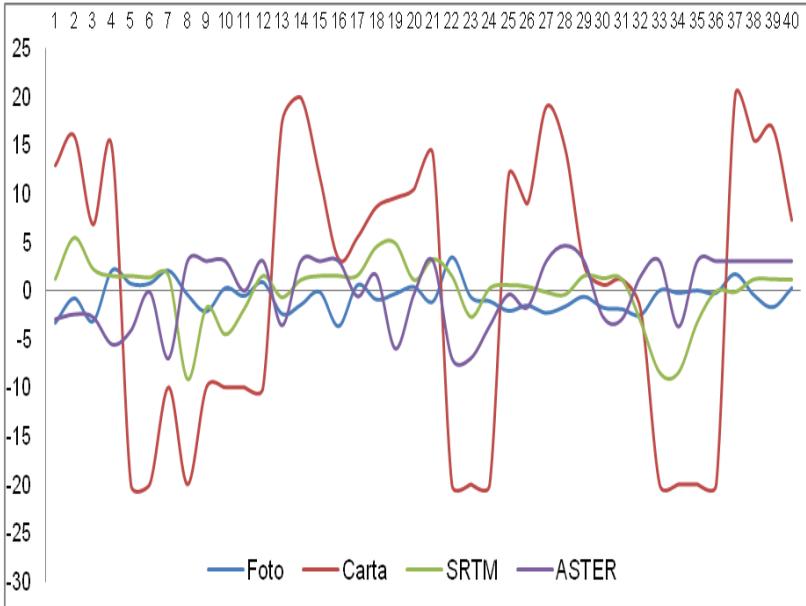


FIGURA 23: Gráfico de dispersão da UHESD sem tendência sistemática.

Para a Área de Estudo 3 da PCHCOX, os pontos sorteados com suas respectivas coordenadas (com cota de 872 m) da Tabela 7 foram utilizados como referência para interpolação e extração da cota de cada base testada da área de estudo 3, conforme valores de cota e suas respectivas diferenças apresentadas nas, Tabelas 16, Tabela 17, Tabela 18 e Tabela 19.

Na Tabela 27 podem ser verificadas as diferenças entre cota de referência e interpolada para cada base testada da área de estudo 3. Na Figura 23 pode ser observado o gráfico de dispersão das mesmas diferenças de cota.

TABELA 27: Diferenças de cota das bases testadas da PCHCOX.

N	Diferença de cota			
	Foto	Carta	SRTM	ASTER
1	1,24	-8,00	-8,00	-2,55
2	-8,00	-8,00	-8,00	-8,00
3	-2,19	-8,00	-8,00	-18,97
4	0,52	-8,00	-8,00	2,00
5	-0,97	-8,00	0,25	-15,85
6	-0,57	-8,00	2,00	-0,63
7	-0,23	-8,00	-2,85	9,32
8	1,24	-8,00	-6,69	10,89
9	0,45	-8,00	-4,56	-0,62
10	-8,00	-8,00	-2,64	-3,76
11	0,77	-8,00	2,00	1,54
12	1,72	-8,00	2,00	3,87
13	1,58	29,66	12,00	2,61
14	-8,00	-8,00	-14,13	-18,00
15	-8,00	-8,00	-14,53	-16,95
16	-8,00	-8,00	-17,23	-8,00
17	-8,00	-8,00	-18,03	-8,00
18	-0,34	-8,00	-4,86	7,15
19	-0,17	-8,00	-7,13	5,37
20	-0,93	-8,00	-4,35	0,82
21	0,46	-8,00	-0,72	-2,04
22	0,68	-8,00	-8,15	-7,39
23	1,52	-8,00	-8,00	-3,56
24	-1,59	-8,00	-14,51	-8,00
25	-3,93	-8,00	-19,16	-8,26
26	-2,97	-8,00	-20,24	-8,15
27	-5,93	-8,00	-13,75	2,00
28	0,58	-8,00	-8,00	-8,00
29	-6,53	-8,00	-8,00	-9,02

30	-3,69	-8,00	-8,00	-8,00
31	-1,09	-8,00	-8,00	-8,00
32	-1,99	-8,00	-8,00	2,00
33	0,50	-8,00	-8,00	-8,00
34	-1,19	-8,00	-8,00	-8,00
35	-3,18	-8,00	-8,00	-13,73
36	-8,00	-8,00	-8,00	-8,00
37	-8,00	-8,00	-8,20	-9,48
38	-8,00	-8,00	-8,00	-8,00
39	1,12	-8,00	-8,00	-8,00
40	-8,00	-8,00	-22,49	-8,00

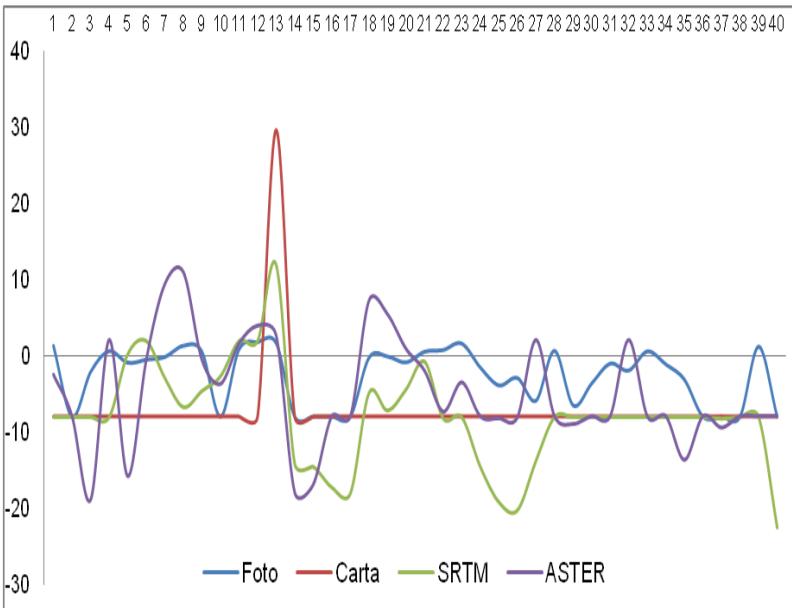


FIGURA 24: Gráfico de dispersão da PCHCOX.

Analisando as diferenças expostas na Tabela 27 e na Figura 25 foram verificadas tendências sistemáticas negativas nas Bases Fotogramétrica 3, Cartográfica 3, SRTM 3 e ASTER 3, tendo em vista que os valores de média de -2,63, -7,06, -7,85 e de -4,88, respectivamente, não são

considerados suficientes para atender a hipótese nula estabelecida e consequentemente atendem a hipótese 1.

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base Fotogramétrica 3, que resultou nos valores apresentados na Tabela 28 de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 2,5 m da Base Fotogramétrica 3, a nova média de -0,13 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 28: PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base Fotogramétrica 3.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média) ²	Final	Dif. (Δ)
1	2,50	3,74	3,87	14,94	868,26	-3,74
2	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
3	2,50	0,31	0,43	0,19	871,69	-0,31
4	2,50	3,02	3,15	9,93	868,98	-3,02
5	2,50	1,53	1,66	2,74	870,47	-1,53
6	2,50	1,93	2,06	4,23	870,07	-1,93
7	2,50	2,27	2,40	5,77	869,73	-2,27
8	2,50	3,74	3,87	14,94	868,26	-3,74
9	2,50	2,95	3,07	9,44	869,05	-2,95
10	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
11	2,50	3,27	3,40	11,57	868,73	-3,27
12	2,50	4,22	4,35	18,94	867,78	-4,22
13	2,50	4,08	4,21	17,74	867,92	-4,08
14	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
15	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
16	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
17	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
18	2,50	2,16	2,29	5,24	869,84	-2,16
19	2,50	2,33	2,46	6,06	869,67	-2,33
20	2,50	1,57	1,70	2,89	870,43	-1,57
21	2,50	2,96	3,09	9,55	869,04	-2,96

22	2,50	3,18	3,31	10,93	868,82	-3,18
23	2,50	4,02	4,15	17,18	867,98	-4,02
24	2,50	0,91	1,04	1,07	871,09	-0,91
25	2,50	-1,43	-1,30	1,69	873,43	1,43
26	2,50	-0,47	-0,34	0,12	872,47	0,47
27	2,50	-3,43	-3,30	10,90	875,43	3,43
28	2,50	3,08	3,20	10,26	868,92	-3,08
29	2,50	-4,03	-3,90	15,19	876,03	4,03
30	2,50	-1,19	-1,06	1,13	873,19	1,19
31	2,50	1,41	1,53	2,35	870,59	-1,41
32	2,50	0,51	0,64	0,40	871,49	-0,51
33	2,50	3,00	3,13	9,78	869,00	-3,00
34	2,50	1,31	1,43	2,06	870,69	-1,31
35	2,50	-0,68	-0,55	0,30	872,68	0,68
36	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
37	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
38	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50
39	2,50	3,62	3,75	14,06	868,38	-3,62
40	2,50	-5,50	-5,37	28,86	877,50	5,50

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base Cartográfica 3, que resultou nos valores apresentados na Tabela 29 de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 7,0 m da Base Cartográfica 3, a nova média de -0,06 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 29: PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base Cartográfica 3.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média)²	Final	Dif. (Δ)
1	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
2	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
3	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
4	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00

5	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
6	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
7	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
8	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
9	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
10	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
11	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
12	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
13	7,00	36,66	36,72	1348,23	835,34	-36,66
14	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
15	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
16	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
17	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
18	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
19	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
20	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
21	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
22	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
23	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
24	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
25	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
26	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
27	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
28	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
29	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
30	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
31	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
32	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
33	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
34	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
35	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00

36	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
37	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
38	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
39	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00
40	7,00	-1,00	-0,94	0,89	873,00	1,00

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base SRTM 3, que resultou nos valores apresentados na Tabela 30, de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 7,5 m da Base SRTM 3, a nova média de -,035 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 30: PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base SRTM 3.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	(Δ - Média) ²	Final	Dif. (Δ)
1	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
2	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
3	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
4	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
5	7,50	7,75	8,10	65,61	864,25	-7,75
6	7,50	9,50	9,85	97,01	862,50	-9,50
7	7,50	4,65	5,00	24,99	867,35	-4,65
8	7,50	0,81	1,16	1,34	871,19	-0,81
9	7,50	2,94	3,29	10,79	869,06	-2,94
10	7,50	4,86	5,21	27,17	867,14	-4,86
11	7,50	9,50	9,85	97,01	862,50	-9,50
12	7,50	9,50	9,85	97,01	862,50	-9,50
13	7,50	19,50	19,85	393,99	852,50	-19,50
14	7,50	-6,63	-6,28	39,40	878,63	6,63
15	7,50	-7,03	-6,68	44,57	879,03	7,03
16	7,50	-9,73	-9,38	87,97	881,73	9,73
17	7,50	-10,53	-10,18	103,55	882,53	10,53
18	7,50	2,64	2,99	8,94	869,36	-2,64

19	7,50	0,37	0,72	0,51	871,63	-0,37
20	7,50	3,15	3,50	12,23	868,85	-3,15
21	7,50	6,78	7,13	50,86	865,22	-6,78
22	7,50	-0,65	-0,30	0,09	872,65	0,65
23	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
24	7,50	-7,01	-6,66	44,38	879,01	7,01
25	7,50	-11,66	-11,32	128,04	883,66	11,66
26	7,50	-12,74	-12,40	153,64	884,74	12,74
27	7,50	-6,25	-5,90	34,77	878,25	6,25
28	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
29	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
30	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
31	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
32	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
33	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
34	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
35	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
36	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
37	7,50	-0,70	-0,35	0,12	872,70	0,70
38	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
39	7,50	-0,50	-0,15	0,02	872,50	0,50
40	7,50	-14,99	-14,65	214,49	886,99	14,99

Foram realizados cálculos para retirada parcial desta tendência sistemática da Base ASTER 3, que resultou nos valores apresentados na Tabela 31, de onde resume-se que através da quase eliminação do erro sistemático negativo de 5,0 m da Base ASTER 3, a nova média de 0,12 m pode ser considerada quase nula.

TABELA 31: PCHCOX - Retirada da Tendência Sistemática da Base ASTER 3.

N	Erro	Dif. (Δ)	Δ - Média	$(\Delta - Média)^2$	Final	Dif. (Δ)
1	5,00	2,45	2,34	5,46	869,55	-2,45
2	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
3	5,00	-13,97	-14,08	198,33	885,97	13,97
4	5,00	7,00	6,88	47,40	865,00	-7,00
5	5,00	-10,85	-10,96	120,23	882,85	10,85
6	5,00	4,37	4,25	18,07	867,63	-4,37
7	5,00	14,32	14,20	201,74	857,68	-14,32
8	5,00	15,89	15,78	248,98	856,11	-15,89
9	5,00	4,38	4,26	18,17	867,62	-4,38
10	5,00	1,24	1,12	1,26	870,76	-1,24
11	5,00	6,54	6,42	41,28	865,46	-6,54
12	5,00	8,87	8,76	76,73	863,13	-8,87
13	5,00	7,61	7,50	56,24	864,39	-7,61
14	5,00	-13,00	-13,12	172,01	885,00	13,00
15	5,00	-11,95	-12,07	145,60	883,95	11,95
16	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
17	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
18	5,00	12,15	12,03	144,72	859,85	-12,15
19	5,00	10,37	10,25	105,12	861,63	-10,37
20	5,00	5,82	5,70	32,54	866,18	-5,82
21	5,00	2,96	2,84	8,09	869,04	-2,96
22	5,00	-2,39	-2,51	6,29	874,39	2,39
23	5,00	1,44	1,32	1,74	870,56	-1,44
24	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
25	5,00	-3,26	-3,37	11,38	875,26	3,26
26	5,00	-3,15	-3,26	10,66	875,15	3,15
27	5,00	7,00	6,88	47,40	865,00	-7,00
28	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
29	5,00	-4,02	-4,14	17,11	876,02	4,02

30	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
31	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
32	5,00	7,00	6,88	47,40	865,00	-7,00
33	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
34	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
35	5,00	-8,73	-8,84	78,17	880,73	8,73
36	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
37	5,00	-4,48	-4,60	21,12	876,48	4,48
38	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
39	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00
40	5,00	-3,00	-3,12	9,70	875,00	3,00

Na Figura 26 pode ser observado o gráfico de dispersão das diferenças entre cota de referência e cota interpolada para as bases testadas após a retirada da tendência sistemática das Bases Fotogramétrica 3, Cartográfica 3, SRTM 3 e ASTER 3.

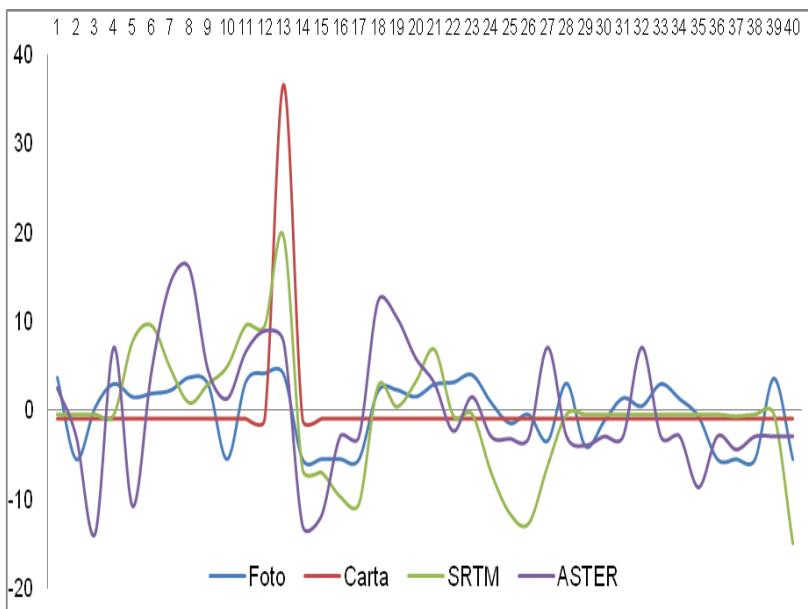


FIGURA 25: Gráfico de dispersão da PCHCOX sem tendência sistemática.

4.3.10 Reenquadramento no PEC e no STANAG

Após as análises dos resultados apresentados no item 4.3.9, as bases que apresentaram tendências sistemáticas, ou seja, as bases SRTM 1, ASTER 1, Cartográfica 2, SRTM 2, ASTER 2, Fotogramétrica 3, Cartográfica 3, SRTM 3 e ASTER 3 tiveram seus erros quase eliminados e foram reenquadradas nos métodos convencionais de avaliação PEC e STANAG, através do mesmo critério já apresentado nos itens 4.3.7 e 4.3.8.

O erro sistemático de -7,48 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base SRTM 1 da UHEPSJ**, foi quase eliminado somando o valor de 7,5 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 32.

TABELA 32: PEC/STANAG – Reenquadramento Base SRTM 1 da UHEPSJ.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	132,50	4,50	21	122,50	-5,50
2	128,11	0,11	22	122,50	-5,50
3	128,44	0,44	23	122,50	-5,50
4	132,50	4,50	24	126,63	-1,37
5	128,80	0,80	25	122,50	-5,50
6	132,50	4,50	26	123,91	-4,09
7	132,36	4,36	27	122,50	-5,50
8	124,70	-3,30	28	122,50	-5,50
9	131,20	3,20	29	127,62	-0,38
10	122,57	-5,43	30	132,53	4,53
11	127,40	-0,60	31	130,24	2,24
12	134,28	6,28	32	128,83	0,83
13	122,50	-5,50	33	126,45	-1,55
14	122,50	-5,50	34	123,59	-4,41
15	125,94	-2,06	35	122,50	-5,50
16	125,62	-2,38	36	132,50	4,50
17	133,92	5,92	37	122,50	-5,50

18	128,07	0,07	38	132,50	4,50
19	133,43	5,43	39	141,78	13,78
20	132,78	4,78	40	132,50	4,50

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 32 após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base SRTM 1 da UHEPSJ** foram enquadradas com uma exatidão de -5,5 m e um desvio padrão de 4,77 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 15 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:37500 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -5,45 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base ASTER 1 da UHEPSJ**, foi quase eliminado somando o valor de 5,0 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 33.

TABELA 33: PEC/STANAG – Reenquadramento Base ASTER 1 da UHEPSJ.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	125,00	-3,00	21	117,41	-10,59
2	130,97	2,97	22	144,04	16,04
3	125,00	-3,00	23	135,00	7,00
4	125,00	-3,00	24	145,00	17,00
5	115,00	-13,00	25	127,06	-0,94
6	125,00	-3,00	26	135,00	7,00
7	124,10	-3,90	27	134,23	6,23
8	125,00	-3,00	28	128,36	0,36
9	125,00	-3,00	29	155,00	27,00
10	125,00	-3,00	30	126,20	-1,80
11	133,35	5,35	31	126,24	-1,76
12	132,85	4,85	32	139,96	11,96
13	125,00	-3,00	33	138,53	10,53
14	111,57	-16,43	34	126,11	-1,89
15	133,47	5,47	35	125,82	-2,18

16	119,43	-8,57	36	125,00	-3,00
17	126,05	-1,95	37	117,70	-10,30
18	122,66	-5,34	38	136,13	8,13
19	133,84	5,84	39	112,07	-15,93
20	125,00	-3,00	40	135,00	7,00

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 33, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base ASTER 1 da UHEPSJ** foram enquadradas com uma exatidão de -15,93 m e um desvio padrão de 8,82 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 32 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:80000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de 5,4 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base Cartográfica 2 da UHESD**, foi eliminado subtraindo o valor de 5,0 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 34.

TABELA 34: PEC/STANAG – Reenquadramento Base Cartográfica 2 da UHESD.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	332,13	-12,87	21	331,06	-13,94
2	329,10	-15,90	22	365,00	20,00
3	338,22	-6,78	23	365,00	20,00
4	330,35	-14,65	24	365,00	20,00
5	365,00	20,00	25	333,18	-11,82
6	365,00	20,00	26	336,06	-8,94
7	355,00	10,00	27	326,10	-18,90
8	365,00	20,00	28	330,40	-14,60
9	355,00	10,00	29	342,41	-2,59
10	355,00	10,00	30	344,43	-0,57
11	355,00	10,00	31	343,90	-1,10
12	355,00	10,00	32	347,03	2,03
13	327,72	-17,28	33	365,00	20,00

14	325,15	-19,85	34	365,00	20,00
15	333,29	-11,71	35	365,00	20,00
16	341,77	-3,23	36	365,00	20,00
17	339,55	-5,45	37	325,00	-20,00
18	336,42	-8,58	38	329,55	-15,45
19	335,48	-9,52	39	328,31	-16,69
20	334,55	-10,45	40	337,75	-7,25

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 34, após a quase eliminação do erro sistemático positivo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base Cartográfica 2da UHESD** foram enquadradas com uma exatidão de 20 m e um desvio padrão de 14,57 m, com enquadramento no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 40 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:100000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -6,49 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base SRTM 2da UHESD**, foi quase eliminado somando o valor de 6,5 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 33.

TABELA 35: PEC/STANAG – Reenquadramento Base SRTM 2 da UHESD.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	343,81	-1,19	21	341,77	-3,23
2	339,56	-5,44	22	343,50	-1,50
3	342,78	-2,22	23	347,73	2,73
4	343,50	-1,50	24	344,79	-0,21
5	343,50	-1,50	25	344,45	-0,55
6	343,68	-1,32	26	344,61	-0,39
7	343,50	-1,50	27	345,19	0,19
8	354,19	9,19	28	345,42	0,42
9	346,79	1,79	29	343,50	-1,50
10	349,55	4,55	30	343,74	-1,26
11	346,92	1,92	31	343,85	-1,15

12	343,50	-1,50	32	348,25	3,25
13	345,70	0,70	33	353,50	8,50
14	343,91	-1,09	34	353,50	8,50
15	343,50	-1,50	35	348,28	3,28
16	343,50	-1,50	36	345,09	0,09
17	343,45	-1,55	37	345,16	0,16
18	340,49	-4,51	38	132,50	4,50
19	340,11	-4,89	39	141,78	13,78
20	343,92	-1,08	40	132,50	4,50

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 35, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base SRTM 2da UHESD** foram enquadradas com uma exatidão de -4,89 m e um desvio padrão de 3,24 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 10 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:25000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -8,16 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base ASTER 2da UHESD**, foi quase eliminado somando o valor de 8,0 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 36.

TABELA 36: PEC/STANAG – Reenquadramento Base ASTER 2 da UHESD.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	347,98	2,98	21	342,00	-3,00
2	347,48	2,48	22	352,00	7,00
3	347,77	2,77	23	352,00	7,00
4	350,57	5,57	24	348,66	3,66
5	349,15	4,15	25	345,45	0,45
6	345,20	0,20	26	346,74	1,74
7	352,00	7,00	27	342,00	-3,00
8	342,00	-3,00	28	340,42	-4,58
9	342,00	-3,00	29	342,00	-3,00

10	342,00	-3,00	30	347,73	2,73
11	345,06	0,06	31	347,98	2,98
12	342,00	-3,00	32	343,55	-1,45
13	348,61	3,61	33	342,00	-3,00
14	342,00	-3,00	34	348,74	3,74
15	342,00	-3,00	35	342,00	-3,00
16	342,00	-3,00	36	342,00	-3,00
17	345,63	0,63	37	342,00	-3,00
18	343,46	-1,54	38	342,00	-3,00
19	351,00	6,00	39	342,00	-3,00
20	345,35	0,35	40	342,00	-3,00

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 36, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base ASTER 2da UHESD** foram enquadradas com uma exatidão de 5,57 m e um desvio padrão de 3,55 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 12 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:30000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -2,63 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX**, foi quase eliminado somando o valor de 2,5 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 37.

TABELA 37: PEC/STANAG – Reenquadramento Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	868,26	-3,74	21	869,04	-2,96
2	877,50	5,50	22	868,82	-3,18
3	871,69	-0,31	23	867,98	-4,02
4	868,98	-3,02	24	871,09	-0,91
5	870,47	-1,53	25	873,43	1,43
6	870,07	-1,93	26	872,47	0,47
7	869,73	-2,27	27	875,43	3,43

8	868,26	-3,74	28	868,92	-3,08
9	869,05	-2,95	29	876,03	4,03
10	877,50	5,50	30	873,19	1,19
11	868,73	-3,27	31	870,59	-1,41
12	867,78	-4,22	32	871,49	-0,51
13	867,92	-4,08	33	869,00	-3,00
14	877,50	5,50	34	870,69	-1,31
15	877,50	5,50	35	872,68	0,68
16	877,50	5,50	36	877,50	5,50
17	877,50	5,50	37	877,50	5,50
18	869,84	-2,16	38	877,50	5,50
19	869,67	-2,33	39	868,38	-3,62
20	870,43	-1,57	40	877,50	5,50

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 37, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX** foram enquadradas com uma exatidão de 5,5 m e um desvio padrão de 3,65 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 11 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:27500 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -7,06 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base Cartográfica 3da PCHCOX**, foi quase eliminado somando o valor de 7,0 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 38.

TABELA 38: PEC/STANAG - Reenquadramento Base Cartográfica 3 da PCHCOX.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	873,00	1,00	21	873,00	1,00
2	873,00	1,00	22	873,00	1,00
3	873,00	1,00	23	873,00	1,00
4	873,00	1,00	24	873,00	1,00
5	873,00	1,00	25	873,00	1,00

6	873,00	1,00	26	873,00	1,00
7	873,00	1,00	27	873,00	1,00
8	873,00	1,00	28	873,00	1,00
9	873,00	1,00	29	873,00	1,00
10	873,00	1,00	30	873,00	1,00
11	873,00	1,00	31	873,00	1,00
12	873,00	1,00	32	873,00	1,00
13	835,34	-36,66	33	873,00	1,00
14	873,00	1,00	34	873,00	1,00
15	873,00	1,00	35	873,00	1,00
16	873,00	1,00	36	873,00	1,00
17	873,00	1,00	37	873,00	1,00
18	873,00	1,00	38	873,00	1,00
19	873,00	1,00	39	873,00	1,00
20	873,00	1,00	40	873,00	1,00

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 38, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base Cartográfica 3 da PCHCOX** foram enquadradas com uma exatidão de 1,0 m e um desvio padrão de 5,95 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 18 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:45000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -7,85 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base SRTM 3 da PCHCOX**, foi quase eliminado somando o valor de 7,5 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 39.

TABELA 39: PEC/STANAG – Reenquadramento Base SRTM 3 da PCHCOX.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	872,50	0,50	21	865,22	-6,78
2	872,50	0,50	22	872,65	0,65
3	872,50	0,50	23	872,50	0,50

4	872,50	0,50	24	879,01	7,01
5	864,25	-7,75	25	883,66	11,66
6	862,50	-9,50	26	884,74	12,74
7	867,35	-4,65	27	878,25	6,25
8	871,19	-0,81	28	872,50	0,50
9	869,06	-2,94	29	872,50	0,50
10	867,14	-4,86	30	872,50	0,50
11	862,50	-9,50	31	872,50	0,50
12	862,50	-9,50	32	872,50	0,50
13	852,50	-19,50	33	872,50	0,50
14	878,63	6,63	34	872,50	0,50
15	879,03	7,03	35	872,50	0,50
16	881,73	9,73	36	872,50	0,50
17	882,53	10,53	37	872,70	0,70
18	869,36	-2,64	38	872,50	0,50
19	871,63	-0,37	39	872,50	0,50
20	868,85	-3,15	40	886,99	14,99

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 39, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas da **Base SRTM 3da PCHCOX** foram enquadradas com uma exatidão de -10,53 m e um desvio padrão de 6,68 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 22 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:55000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

O erro sistemático de -4,88 m verificado na avaliação do item 4.3.9, da **Base ASTER 3 da PCHCOX**, foi quase eliminado somando o valor de 5,0 m à cota final já interpolada no item 4.3.6. Os valores novos das cotas podem ser observados na Tabela 40.

TABELA 40: PEC/STANAG – Reenquadramento Base ASTER 3 da PCHCOX.

N	Cota (m)	Dif. (Δ)	N	Cota (m)	Dif. (Δ)
1	869,55	-2,45	21	869,04	-2,96
2	875,00	3,00	22	874,39	2,39
3	885,97	13,97	23	870,56	-1,44
4	865,00	-7,00	24	875,00	3,00
5	882,85	10,85	25	875,26	3,26
6	867,63	-4,37	26	875,15	3,15
7	857,68	-14,32	27	865,00	-7,00
8	856,11	-15,89	28	875,00	3,00
9	867,62	-4,38	29	876,02	4,02
10	870,76	-1,24	30	875,00	3,00
11	865,46	-6,54	31	875,00	3,00
12	863,13	-8,87	32	865,00	-7,00
13	864,39	-7,61	33	875,00	3,00
14	885,00	13,00	34	875,00	3,00
15	883,95	11,95	35	880,73	8,73
16	875,00	3,00	36	875,00	3,00
17	875,00	3,00	37	876,48	4,48
18	859,85	-12,15	38	875,00	3,00
19	861,63	-10,37	39	875,00	3,00
20	866,18	-5,82	40	875,00	3,00

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 40, após a quase eliminação do erro sistemático negativo apresentado, as curvas de nível advindas **da Base ASTER 3da PCHCOX** foram enquadradas com uma exatidão de -10,37 m e um desvio padrão de 7,18 m. Podendo ser enquadrada no PEC Padrão Classe A com curvas de nível de 22 m de equidistância, compatível com a escala planimétrica 1:55000 e STANAG Classe 1 para a mesma escala.

4.4 Método de Avaliação Morfológica

4.4.1 Geração de Modelos Digitais de Elevação

Para a Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 95 a 216 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 5 m e seus respectivos pontos cotados (Ver Tabela 27), onde as altitudes de 95 até 131 m estão sendo apresentadas em roxo, as altitudes de 131 até 148 m estão sendo apresentadas em lilás, as altitudes de 148 até 162 m estão sendo apresentadas em amarelo, as altitudes de 162 até 177 m estão sendo apresentadas em verde claro e as altitudes de 177 até 216m estão sendo apresentadas em verde escuro. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 1, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão e a linha em preto é o área abrangida pelas curvas de nível.

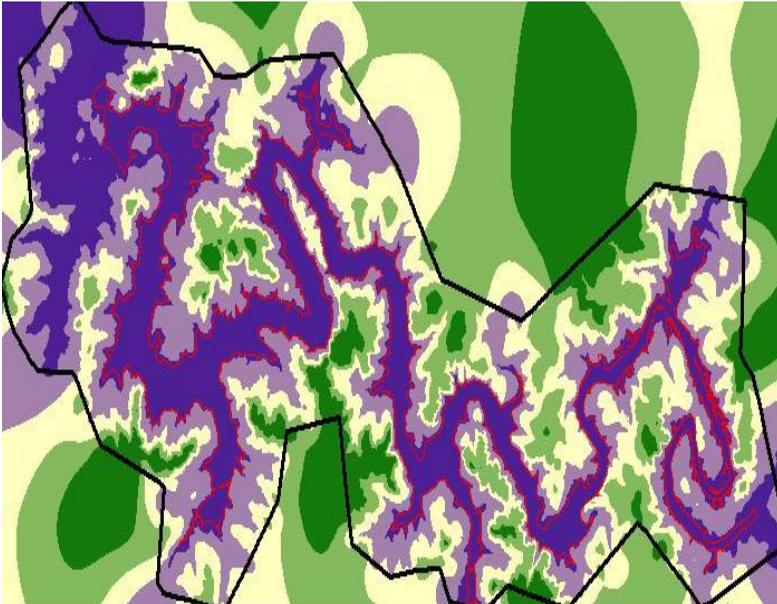


FIGURA 26: UHEPSJ – MDE Base Fotogramétrica 1.

Para a Base Cartográfica 1 da UHEPSJ foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 91 a 262 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 20 m e seus respectivos pontos cotados(Ver Tabela

28), onde as altitudes de 91 até 128 m estão sendo apresentadas em roxo, as altitudes de 128 até 149 m estão sendo apresentadas em lilás, as altitudes de 149 até 169 m estão sendo apresentadas em amarelo, as altitudes de 169 até 192 m estão sendo apresentadas em verde claro e as altitudes de 192 até 262 m estão sendo apresentadas em verde escuro. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 1, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão e a linha em preto é o área abrangida pelas curvas de nível.

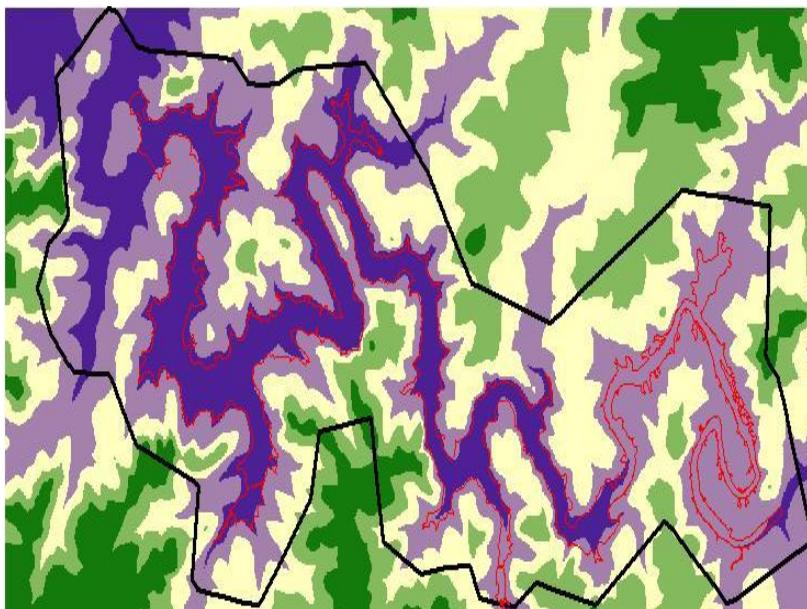


FIGURA 27: UHEPSJ – MDE Base Cartográfica 1.

Para o MDE Base SRTM 1 da UHEPSJ as altitudes variaram de 0 a 542 m (Ver Figura 29), onde as altitudes de 560 até 135 m estão sendo apresentadas em rosa escuro, as altitudes de 135 até 180 m estão sendo apresentadas em rosa médio e as altitudes de 180 até 223 m estão sendo apresentadas em rosa claro. A linha azul que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 1, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão e a linha em preto é o área abrangida pelas curvas de nível.

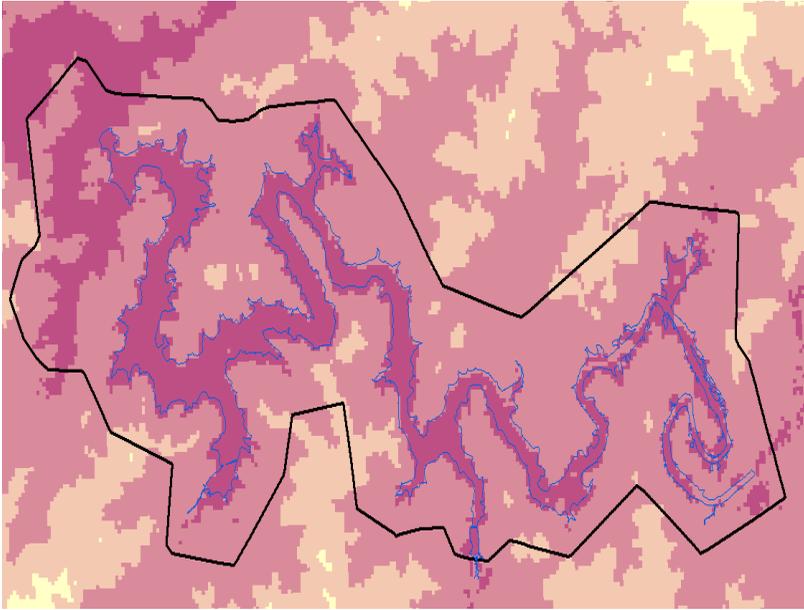


FIGURA 28: UHEPSJ – MDE Base SRTM 1.

Para o MDE Base ASTER 1 da UHEPSJ as altitudes variaram de -13 a 646 m (Ver Figura 30), onde as altitudes de -13 até 141 m estão sendo apresentadas em rosa escuro, as altitudes de 141 até 226 m estão sendo apresentadas em rosa médio e as altitudes de 226 até 312 m estão sendo apresentadas em rosa claro. A linha azul que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 1, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão e a linha em preto é o área abrangida pelas curvas de nível.

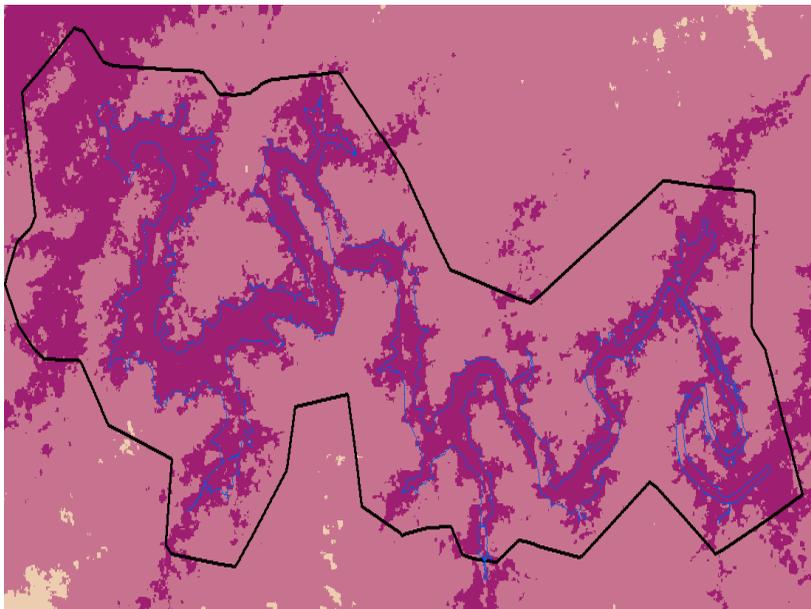


FIGURA 29: UHEPSJ – MDE Base ASTER 1.

Para a Base Fotogramétrica 2 da UHESD foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 320 a 366 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 5 m (Ver Figura 31), onde as altitudes de 320 até 329 m estão sendo apresentadas em roxo, as altitudes de 329 até 338 m estão sendo apresentadas em lilás, as altitudes de 338 até 347 m estão sendo apresentadas em amarelo, as altitudes de 347 até 356 m estão sendo apresentadas em verde claro e as altitudes de 356 até 366 m estão sendo apresentadas em verde escuro. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 2, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

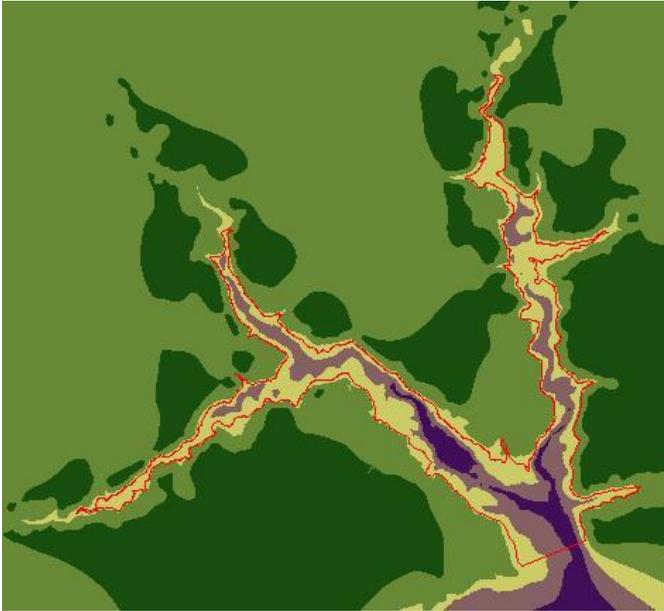


FIGURA 30: UHESD – MDE Base Fotogramétrica 2.

Para a Base Cartográfica 2 da UHESD foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 300 a 519 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 40 m (Ver Figura 32), onde as altitudes de 300 até 343 m estão sendo apresentadas em verde, as altitudes de 343 até 387 m estão sendo apresentadas em amarelo, as altitudes de 387 até 431 m estão sendo apresentadas em bege e as altitudes de 431 até 475 m estão sendo apresentadas em marrom. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 2, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

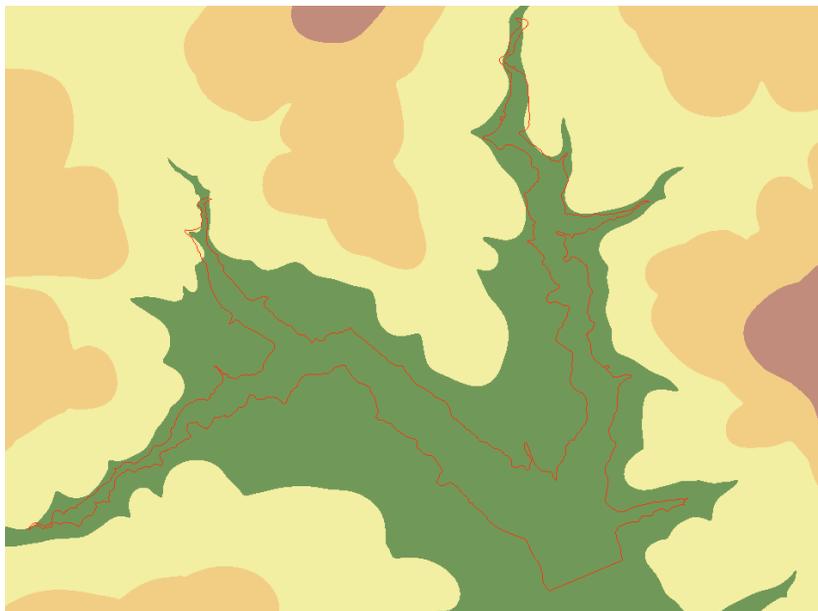


FIGURA 31: UHESD – MDE Base Cartográfica 2.

Para o MDE Base SRTM 2 da UHESD as altitudes variaram de 0 a 1299 m (Ver Figura 33), onde as altitudes de 207 até 355 m estão sendo apresentadas em rosa e as altitudes de 355 até 496 m estão sendo apresentadas em amarelo. A linha azul que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 2, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

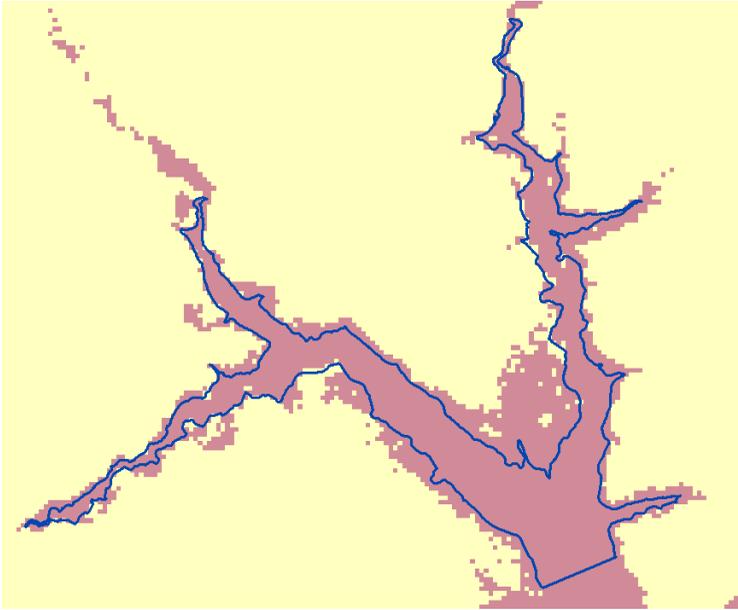


FIGURA 32: UHESD – MDE Base SRTM 2.

Para o MDE Base ASTER 2 da UHESD as altitudes variaram de 95 a 812 m (Ver Figura 34), onde as altitudes até de 242 a 365 m estão sendo apresentadas em rosa e as altitudes de 365 até 460 m estão sendo apresentadas em amarelo. A linha azul que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 2, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

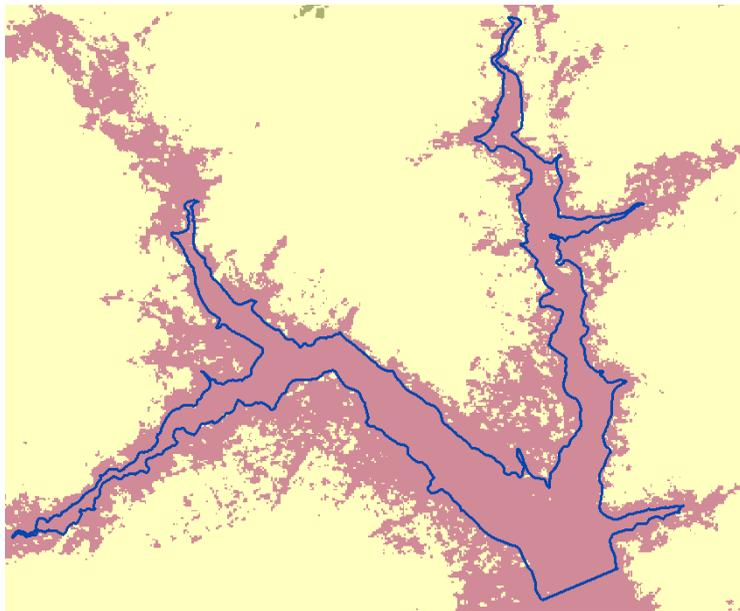


FIGURA 33: UHESD – MDE Base ASTER 2.

Para a Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 320 a 366 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 10 m (Ver Figura 35), onde as altitudes de 798 até 836 m estão sendo apresentadas em verde, as altitudes de 836 até 875 m estão sendo apresentadas em amarelo, as altitudes de 875 até 913 m estão sendo apresentadas em bege e as altitudes de 913 até 952 m estão sendo apresentadas em marrom. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 3, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

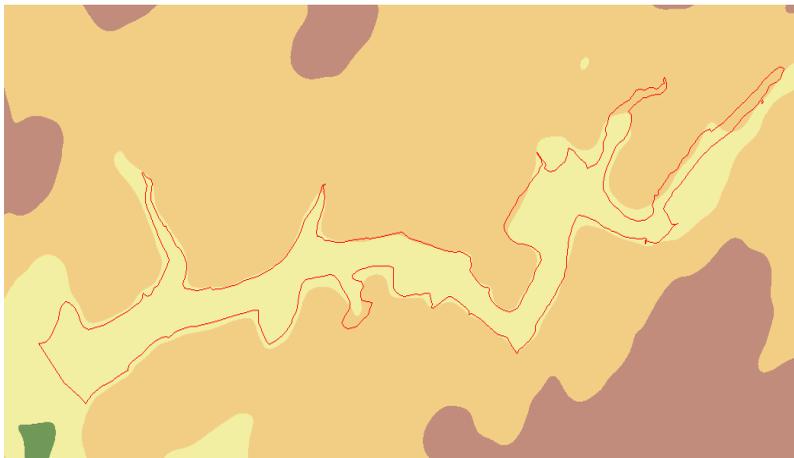


FIGURA 34: PCHCOX – MDE Base Fotogramétrica 3.

Para a Base Cartográfica 3 da PCHCOX foi gerado um MDE com altitudes que variaram de -79 a 1179 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 40 m (Ver Figura 36), onde as altitudes de 442 a 604 m estão sendo apresentadas em bege, as altitudes de 604 até 767 m estão sendo apresentadas em marrom e as altitudes acima de 767 m estão sendo apresentadas em rosa. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 3, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

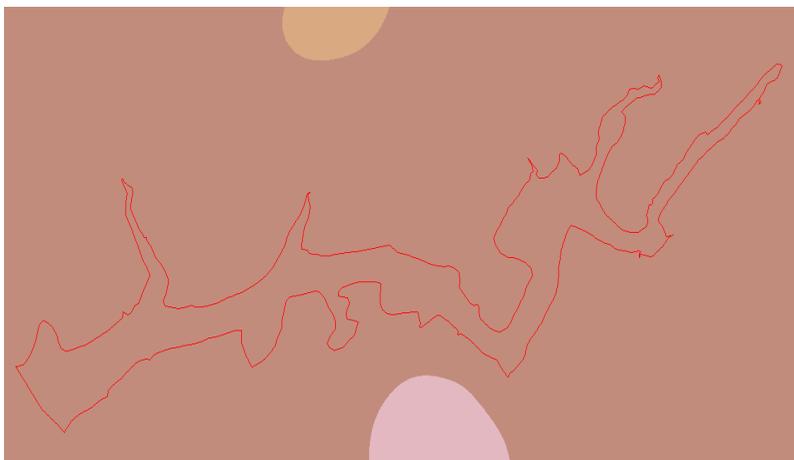


FIGURA 35: PCHCOX – MDE Base Cartográfica 3.

Para o MDE Base SRTM 3 da PCHCOX as altitudes variaram de 1 a 1776 m (Ver Figura 37), onde as altitudes de 771 até 883 m estão sendo apresentadas em rosa e as altitudes de 883 até 978 m estão sendo apresentadas em amarelo. A linha vermelha que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 3, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

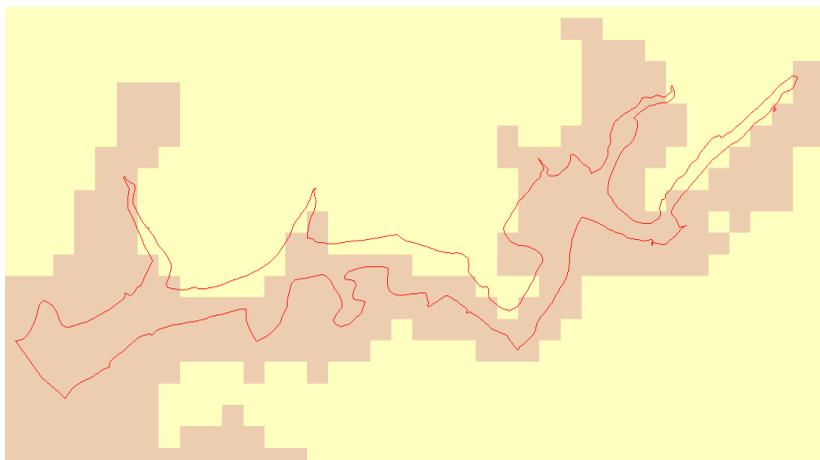


FIGURA 36: PCHCOX – MDE Base SRTM 3.

Para o MDE Base ASTER 3 da PCHCOX as altitudes variaram de 634 a 1750 m (Ver Figura 38), onde as altitudes até de 885 a 937 m estão sendo apresentadas em rosa escuro e as altitudes de 937 até 988 m estão sendo apresentadas em rosa claro. A linha azul que aparece na figura é proveniente da Base de Referência 3, obtida a partir de nivelamento geométrico de precisão.

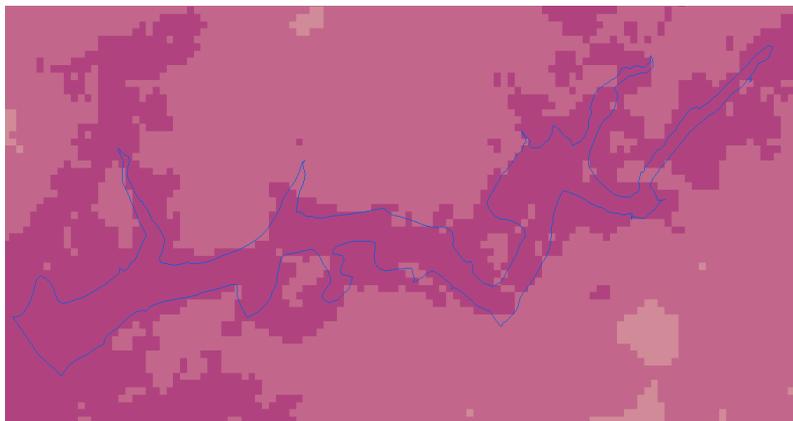


FIGURA 37: PCHCOX – MDE Base ASTER 3.

4.4.2 Avaliação de acordo com o Código Civil Brasileiro

As dimensões de referência (reais) utilizadas nesta avaliação são provenientes das Bases de Referência 1, 2 e 3, geradas a partir de levantamento planimétrico e nivelamento geométrico de precisão (já descrito no item 3.2) com base nas cotas de inundação de projeto das usinas. As dimensões das Bases de Referência podem ser verificadas no Quadro 9.

QUADRO 9: Dimensões das Bases de Referência.

Base de Referência	UHE/PCH	Área (m ²)	Perímetro (m)	Cota (m)
1	Passo São João	25236104,49	181140,46	128,5
2	São Domingos	18638586,64	75744,36	345
3	Coxilha Rica	660990,7100	12646,78	872

As dimensões simuladas são relativas às curvas produzidas a partir das bases testadas nas cotas análogas ou aproximadas às do nível de alagamento. Nas bases com tendência sistemática, foram realizadas resimulações e as curvas produzidas geraram novas dimensões. Todos os resultados estão sendo apresentados a seguir.

Em todas as figuras apresentadas neste item serão utilizadas as mesmas legendas com relação às cores, ou seja: áreas formadas em comum (AC)

na cor branca e áreas formadas no total (AT) na cor vermelha.

Para a **Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ na cota simulada de 128,5 m** foram geradas 15 curvas fechadas (após generalização) que resultaram em 15 polígonos. As dimensões podem ser verificadas na Tabela 41. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 38.

Para a **Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ na cota restituída de 130 m**, foi gerada somente uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Figura 38 Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 39.

TABELA 41: UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	25172322,93	147491,20
NA - SI	63781,56	33649,26
NA - SI %	0,25	18,58
AT	26967261,61	172121,88
AT %	106,86	95,02
AC	23441165,82	156509,78
AC %	86,92	90,93
AT - AC	3526095,79	15612,11
AT - AC %	13,08	9,07

TABELA 42: UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	30148243,49	179838,26
NA - SI	-4912139,00	1302,20
NA - SI %	-19,46	0,72
AT	30296831,32	182827,11
AT %	120,05	100,93
AC	25087516,66	178151,61
AC %	82,81	98,35
AT - AC	5209314,66	4675,50
AT - AC %	17,19	2,58

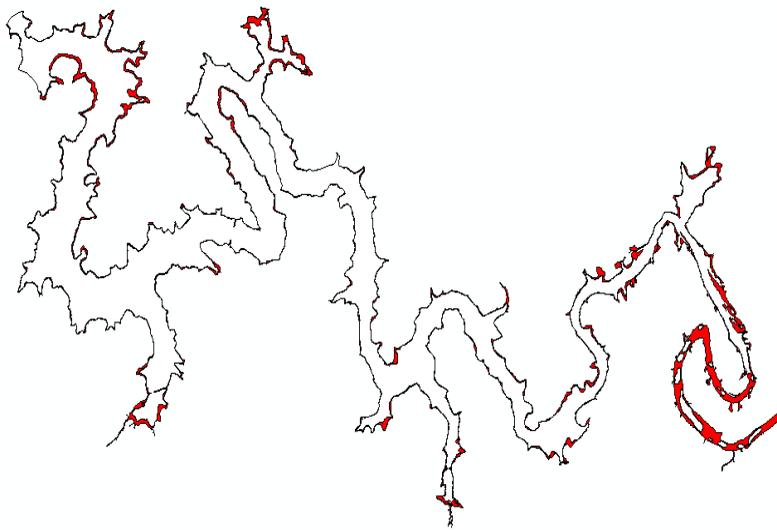


FIGURA 38: UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.

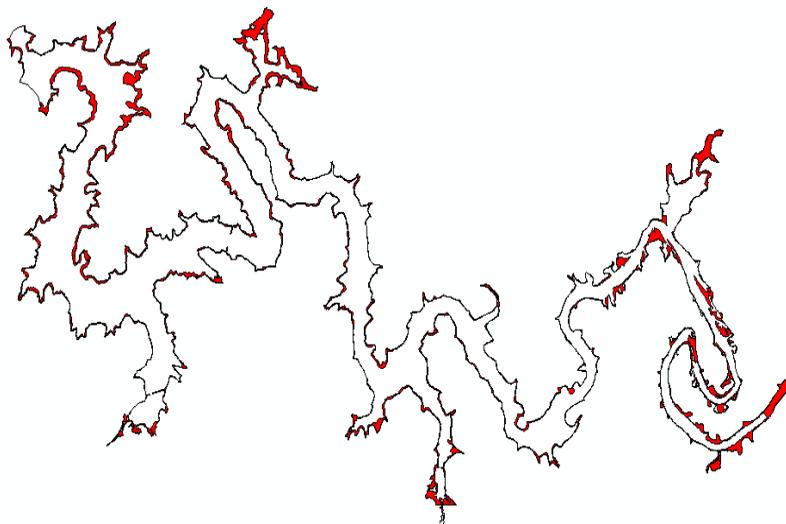


FIGURA 39: UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.

A pequena diferença numérica apresentada na Tabela 41 (NA - SI %) **base fotogramétrica 1 da UHEPSJ para a cota simulada de 128,5 m**, de apenas 0,25 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um ótimo resultado, pois atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, AC %, de 86,92 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório.

Para a **Base Cartográfica 1 da UHEPSJ na cota simulada de 128,5 m** foram geradas 2 curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 43. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 40.

Para a **Base Cartográfica 1 da UHEPSJ na cota simulada de 130 m** foram geradas 2 curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 44. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 41.

TABELA 43: UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.

UHEPSJ	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	26187799,68	114322,04
NA - SI	-951695,19	66818,42
NA - SI %	-3,77	36,89
AT	31326215,46	178596,33
AT %	124,13	98,60
AC	20097688,71	116866,17
AC %	64,16	65,44
AT - AC	11228526,74	61730,16
AT - AC %	35,84	34,56

TABELA 44: UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada
130 m.

UHEPSJ	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	27900769,56	119538,83
NA - SI	-2664665,07	61601,63
NA - SI %	-10,56	34,01
AT	32667775,21	180100,95
AT %	129,45	99,43
AC	20469098,83	120578,34
AC %	62,66	66,95
AT - AC	12198676,38	59522,62
AT - AC %	37,34	33,05

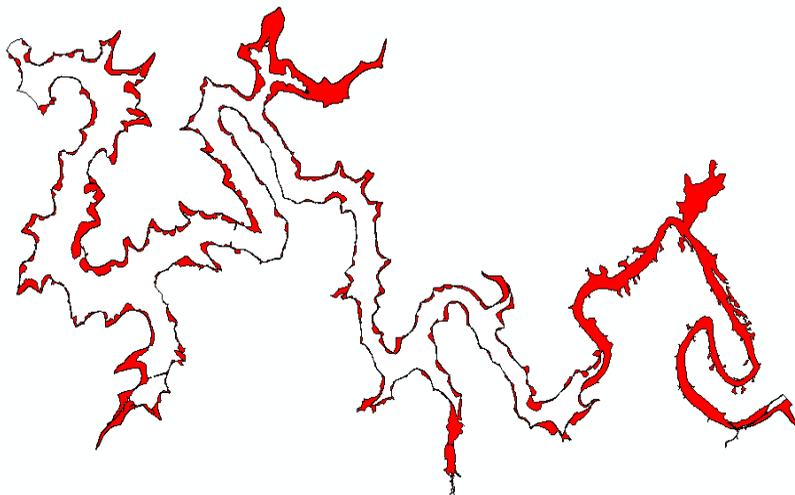


FIGURA 40: UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada
128,5 m.

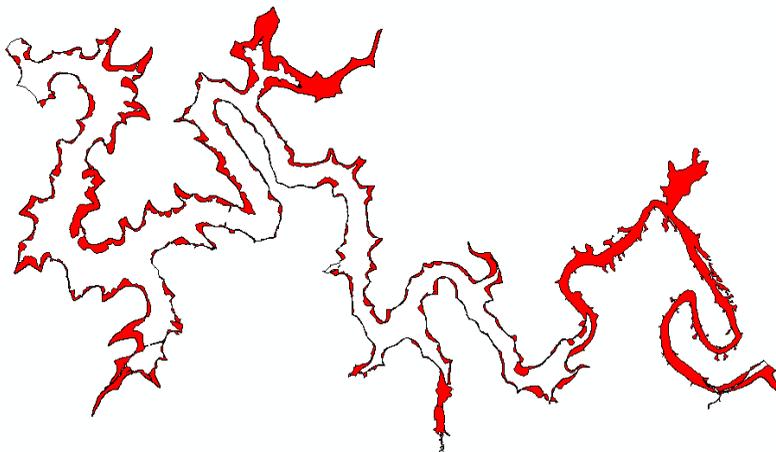


FIGURA 41: UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m.

Para a **Base SRTM 1 da UHEPSJ na cota simulada de 130 m** foram geradas 26 curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 45. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 42.

Para a **Base SRTM 1 da UHEPSJ na cota resimulada de 135 m**, foram gerados 3 curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 46. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 43.

TABELA 45: UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota simulada 130 m.

UHEPSJ	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	16388006,99	104138,18
NA - SI	8848097,50	77002,28
NA - SI %	35,06	42,51
AT	26828040,21	179054,12
AT %	106,31	98,85
AC	14796071,27	106224,52
AC %	55,15	59,33
AT - AC	12031968,95	72829,60
AT - AC %	44,85	40,67

TABELA 46: UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota resimulada 135 m.

UHEPSJ	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	29760808,43	141705,74
NA - SI	-4524703,94	39434,72
NA - SI %	-17,93	21,77
AT	33322123,93	167084,43
AT %	132,04	92,24
AC	21674788,99	155761,78
AC %	65,05	93,22
AT - AC	11647334,94	11322,65
AT - AC %	34,95	6,78

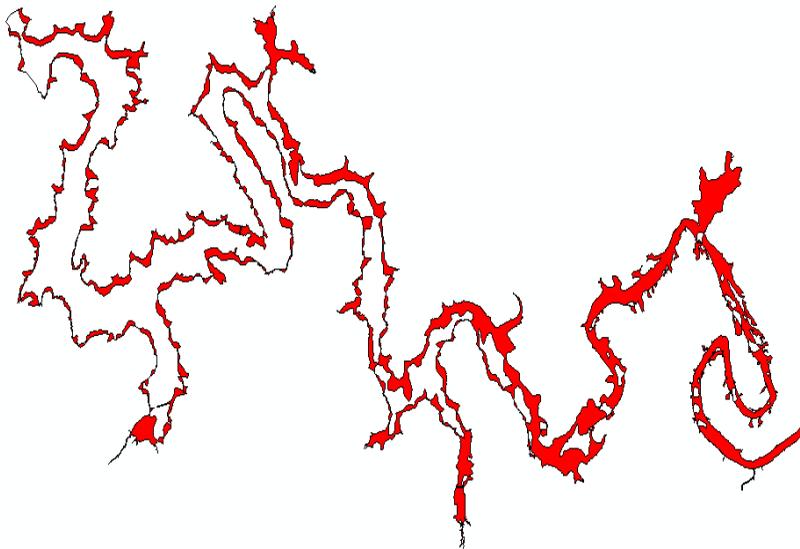


FIGURA 42: UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota simulada 130 m.

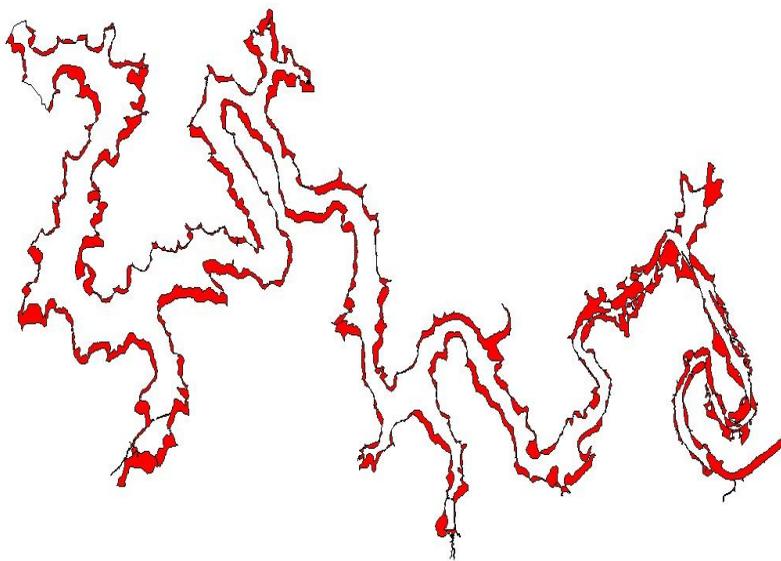


FIGURA 43: UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota resimulada 135 m.

Para a **Base ASTER 1 da UHEPSJ na cota simulada de 130 m** foram geradas 67 curvas fechadas (após generalização) As dimensões podem ser verificadas na Tabela 47. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 44.

Para a **Base ASTER 1 da UHEPSJ na cota resimulada de 135 m** foram geradas 20 curvas fechadas (após generalização) As dimensões podem ser verificadas na Tabela 48. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 45.

TABELA 47: UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota simulada 130 m.

UHEPSJ	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	19314548,58	215831,07
NA - SI	5921555,91	-34690,61
NA - SI %	23,46	-19,15
AT	29725807,73	215534,02
AT %	117,79	118,99

AC	14824845,35	181437,52
AC %	49,87	84,18
AT - AC	14900962,38	34096,50
AT - AC %	50,13	18,82

TABELA 48: UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota resimulada 135 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	32749947,36	255873,37
NA - SI	-7513842,87	-74732,91
NA - SI %	-29,77	-41,26
AT	37833930,81	245891,39
AT %	149,92	135,75
AC	20152121,05	191122,44
AC %	53,26	77,73
AT - AC	17681809,76	54768,94
AT - AC %	46,74	22,27

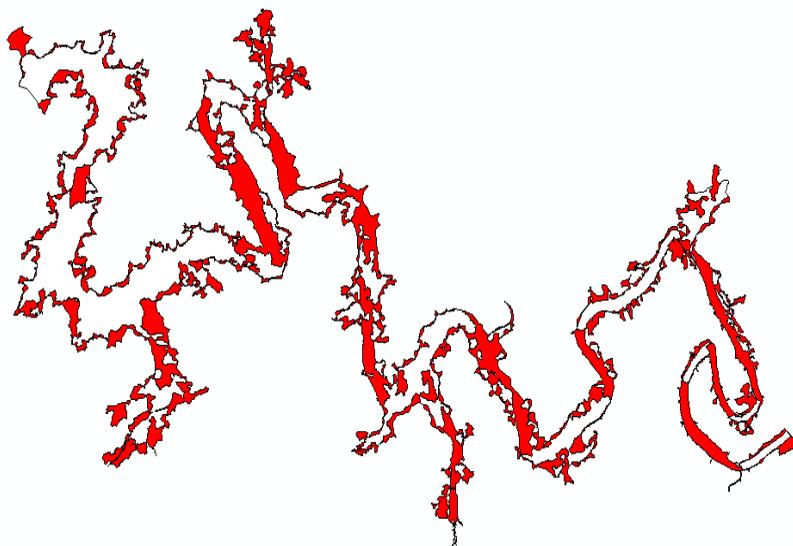


FIGURA 44: UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota simulada 130 m.

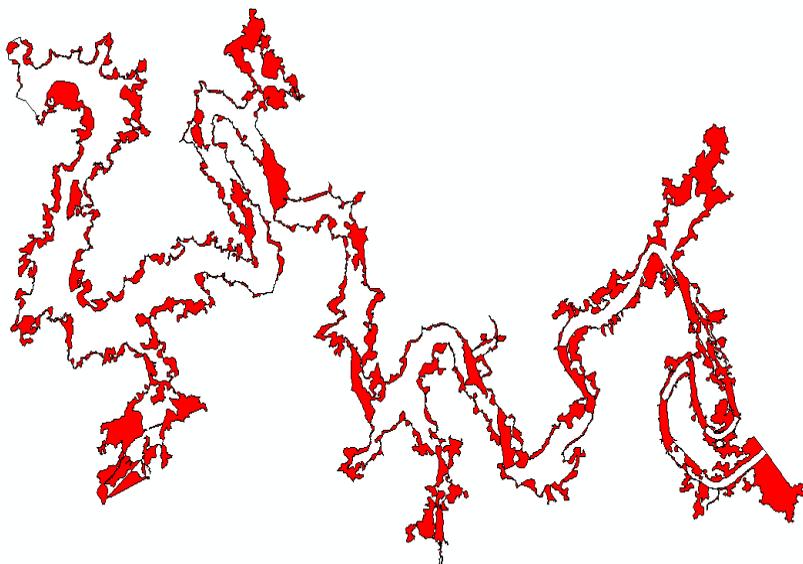


FIGURA 45: UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota resimulada 135 m.

Para a **Base Fotogramétrica 2 da UHESD na cota simulada de 345 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 49. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 47.

Para a **Base Fotogramétrica 2 da UHESD na cota restituída de 345 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 50. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 47.

TABELA 49: UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
SI	18203065,05	76985,59
NA - SI	435521,59	-1241,23
NA - SI %	2,34	-1,64
AT	19207316,86	77851,353
AT %	103,05	102,78

AC	17634334,82	74878,593
AC %	91,81	96,18
AT - AC	1572982,04	2972,76
AT - AC %	8,19	3,82

TABELA 50: UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
SI	18153016,12	75598,70
NA - SI	485570,52	145,66
NA - SI %	2,61	0,19
AT	19188468,43	77311,779
AT %	102,95	102,07
AC	17603134,33	74031,281
AC %	91,74	95,76
AT - AC	1585334,11	3280,50
AT - AC %	8,26	4,24

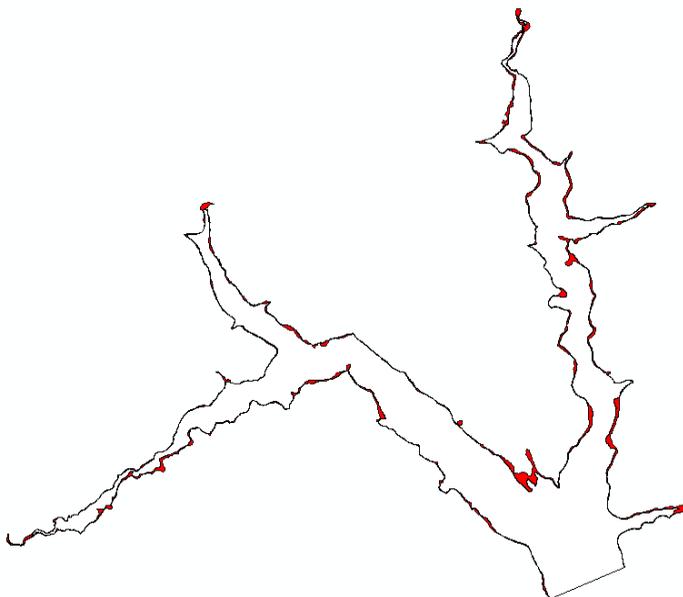


FIGURA 46: UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.

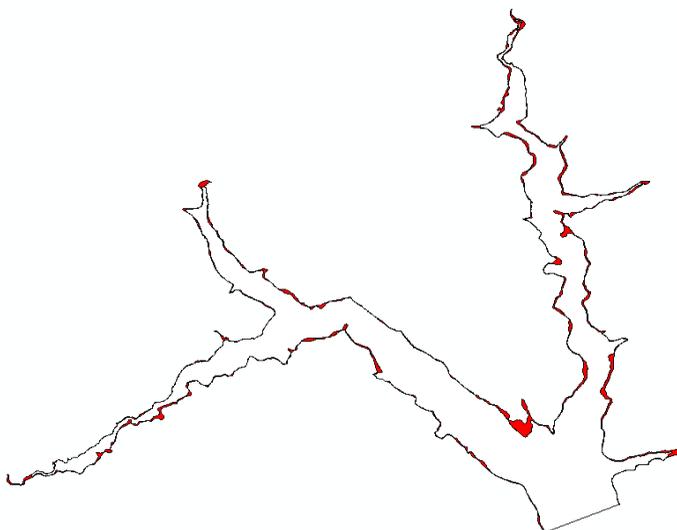


FIGURA 47: UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m.

Para **Base Cartográfica 2 da UHESD na cota simulada de 345** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 51. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 48.

Para **Base Cartográfica 2 da UHESD na cota resimulada de 340** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 52. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 49.

TABELA 51: UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
SI	38577750,11	52122,96
NA - SI	-19939163,47	23621,40
NA - SI %	-106,98	31,19
AT	40454271,3	66056,847
AT %	217,05	87,21

AC	16762065,45	61810,474
AC %	41,43	93,57
AT - AC	23692205,85	4246,37
AT - AC %	58,57	6,43

TABELA 52: UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	31809497,86	43716,44
NA - SI	-13170911,22	32027,92
NA - SI %	-70,66	42,28
AT	34956177,65	67932,90
AT %	187,55	89,69
AC	15491906,85	51527,90
AC %	44,32	75,85
AT - AC	19464270,81	16405,00
AT - AC %	55,68	24,15

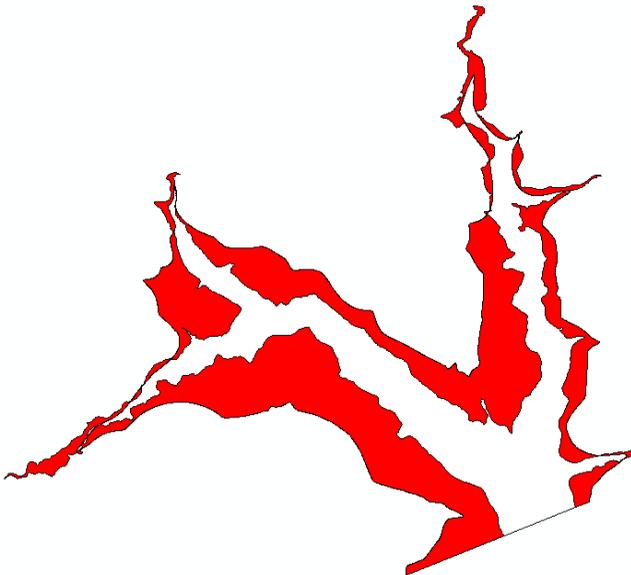


FIGURA 48: UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m.

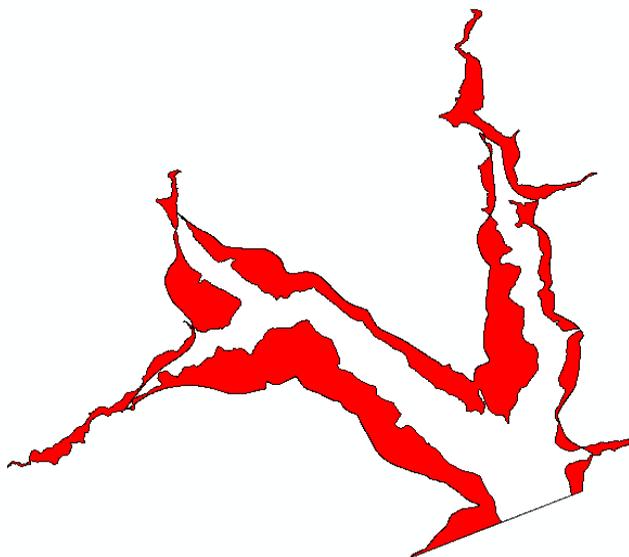


FIGURA 49: UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.

Para a **Base SRTM 2 da UHESD na cota simulada de 345 m** foram geradas 16 curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 53. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 50.

Para a **Base SRTM 2 da UHESD na cota resimulada de 350 m** foram geradas 6 curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 54. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 51.

TABELA 53: UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
SI	10404358,03	53172,28
NA - SI	8234228,61	22572,08
NA - SI %	44,18	29,80
AT	18705721,98	75959,668

AT %	100,36	100,28
AC	10337222,69	52956,971
AC %	55,26	69,72
AT - AC	8368499,30	23002,70
AT - AC %	44,74	30,28

TABELA 54: UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.

UHESD	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	17358782,48	66650,37
NA - SI	1279804,16	9093,99
NA - SI %	6,87	12,01
AT	20050041,16	75463,18
AT %	107,57	99,63
AC	15947327,96	66931,55
AC %	79,54	88,69
AT - AC	4102713,19	8531,63
AT - AC %	20,46	11,31

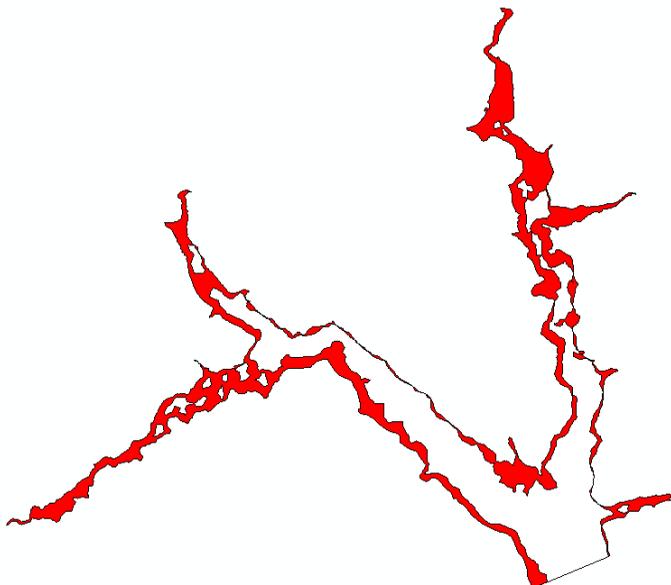


FIGURA 50: UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota simulada 345 m.

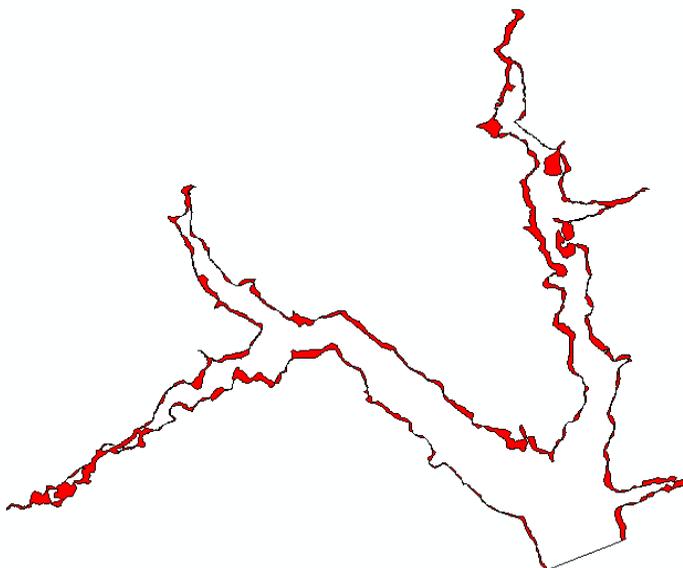


FIGURA 51: UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.

Para a **Base ASTER 2 da UHESD na cota simulada de 345 m** foram geradas 18 curvas fechadas que (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 55. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 52.

Para a **Base ASTER 2 da UHESD na cota resimulada de 352 m** foram geradas 22 curvas fechadas que (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 56. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 53.

TABELA 55: UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
SI	5402843,98	70061,06
NA - SI	13235742,66	5683,30
NA - SI %	71,01	7,50
AT	18646675,44	75870,797

AT %	100,04	100,17
AC	5394755,19	69934,623
AC %	28,93	92,18
AT - AC	13251920,25	5936,17
AT - AC %	71,07	7,82

TABELA 56: UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota resimulada 352 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	14879824,78	109713,30
NA - SI	3758761,86	-33968,94
NA - SI %	20,17	-44,85
AT	19859217,82	91933,93
AT %	106,55	121,37
AC	13659193,61	93523,73
AC %	68,78	101,73
AT - AC	6200024,21	-1589,80
AT - AC %	31,22	-1,73

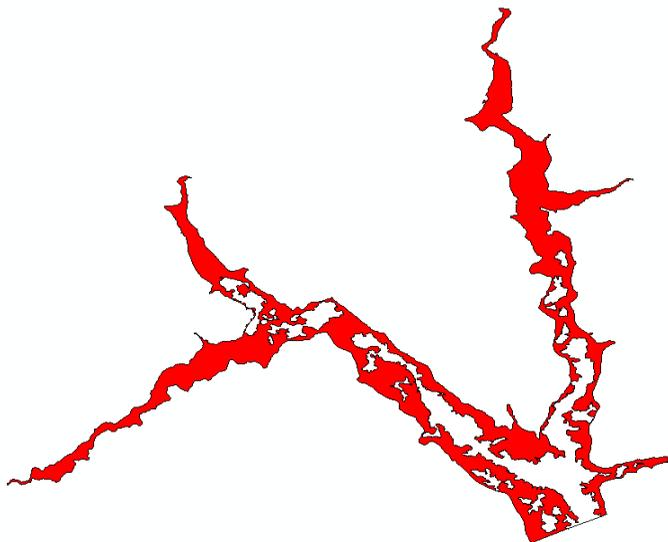


FIGURA 52: UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota simulada 345 m.

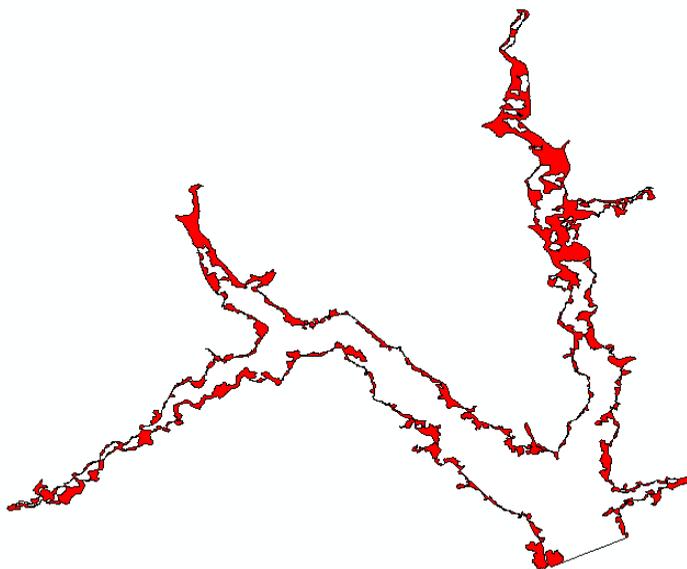


FIGURA 53: UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota resimulada 352 m.

Para a **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX na cota simulada de 872 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 57. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 54.

Para a **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX na cota restituída de 870 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 58. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 55.

Para a **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX na cota resimulada de 875 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 59. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 56.

TABELA 57: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.

PCHCOX	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	664765,50	9983,41
NA - SI	-3774,79	2663,37
NA - SI %	-0,57	21,06
AT	765765,1288	13146,641
AT %	115,85	103,95
AC	559991,0816	9483,5522
AC %	73,13	72,14
AT - AC	205774,05	3663,09
AT - AC %	26,87	27,86

TABELA 58: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.

PCHCOX	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	468659,16	10843,21
NA - SI	192331,55	1803,57
NA - SI %	29,10	14,26
AT	678726,4684	13707,103
AT %	102,68	108,38
AC	450923,404	9782,894
AC %	66,44	71,37
AT - AC	227803,06	3924,21
AT - AC %	33,56	28,63

TABELA 59: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.

UHESD	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
SI	890076,88	11616,79
NA - SI	-229086,17	1029,99
NA - SI %	-34,66	8,14
AT	938075,54	13182,26
AT %	141,92	104,23
AC	612992,05	11081,31
AC %	65,35	84,06

AT - AC	6200024,21	-1589,80
AT - AC %	34,65	15,94

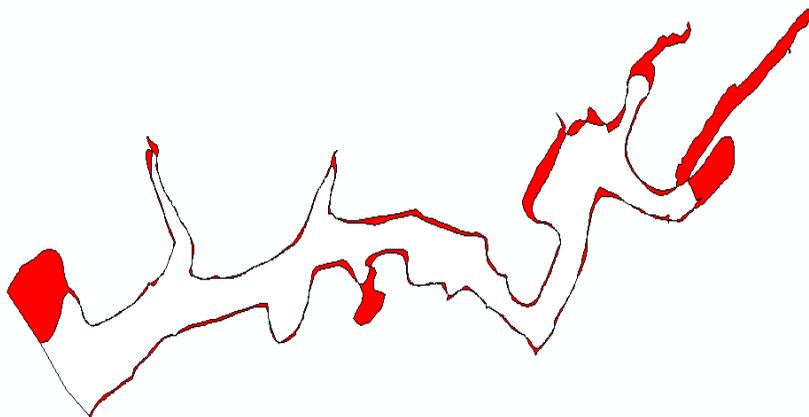


FIGURA 54: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.

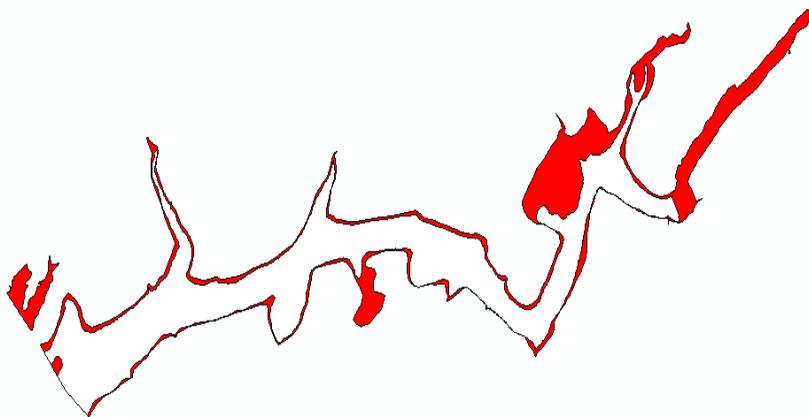


FIGURA 55: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.

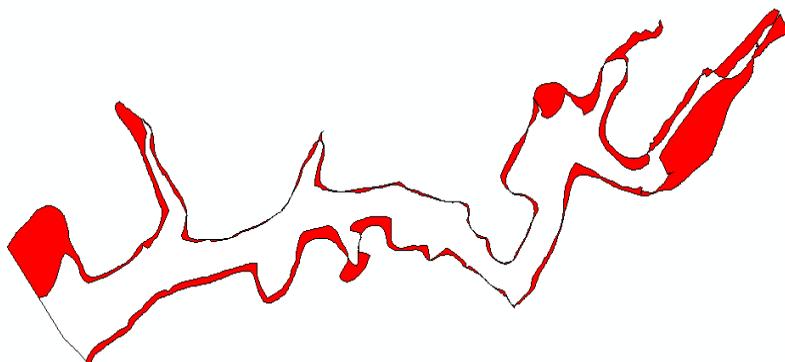


FIGURA 56: PCHCOX – Dimensões Base fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.

Para a **Base Cartográfica 3 da PCHCOX na cota simulada de 870 m** não foram geradas curvas. As dimensões simuladas não puderam ser calculadas, pois não foi gerado um contorno. A avaliação de acordo com o artigo 500 do Código Civil, também não pode ser realizada.

Para a **Base Cartográfica 3 da PCHCOX na cota resimulada de 880 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 60. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 57.

TABELA 60: PCHCOX – Dimensões Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	3515366,83	20555,99
NA - SI	-2854376,12	-7909,21
NA - SI %	-431,83	-62,54
AT	3516606,30	20552,43
AT %	532,02	162,51
AC	659751,24	12650,34
AC %	18,76	61,55
AT - AC	2856855,06	7902,08
AT - AC %	81,24	38,45

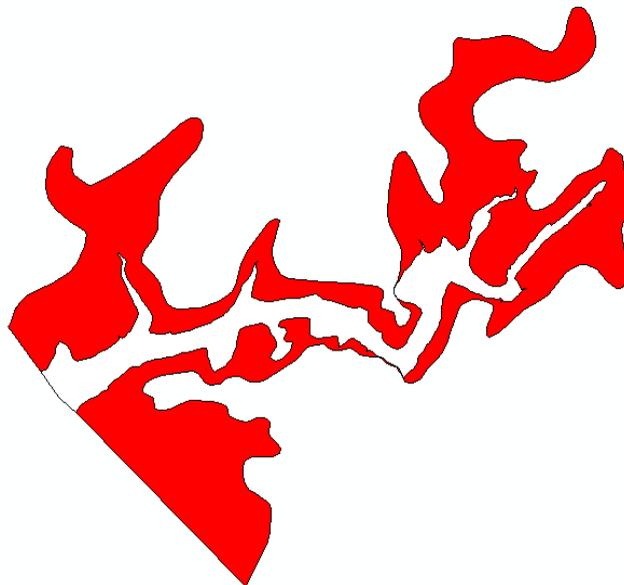


FIGURA 57: PCHCOX – Dimensões Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.

Para a **Base SRTM 3da PCHCOX na cota simulada de 870 m** foram geradas três curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 61. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 58.

Para a **Base SRTM 3da PCHCOX na cota resimulada de 880 m** foi gerada uma curva fechada (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na TABELA 61. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na FIGURA 58.

TABELA 61: PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota simulada 870 m.

PCHCOX	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	194693,98	3980,40
NA - SI	466296,73	8666,38
NA - SI %	70,55	68,53
AT	738165,2844	13489,126

AT %	111,68	106,66
AC	117519,4069	3138,0527
AC %	15,92	23,26
AT - AC	620645,88	10351,07
AT - AC %	84,08	76,74

TABELA 62: PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	1253383,91	10059,29
NA - SI	-592393,20	2587,49
NA - SI %	-89,62	20,46
AT	1425164,51	12852,85
AT %	215,61	101,63
AC	489210,11	9853,22
AC %	34,33	76,66
AT - AC	935954,40	2999,63
AT - AC %	65,67	23,34

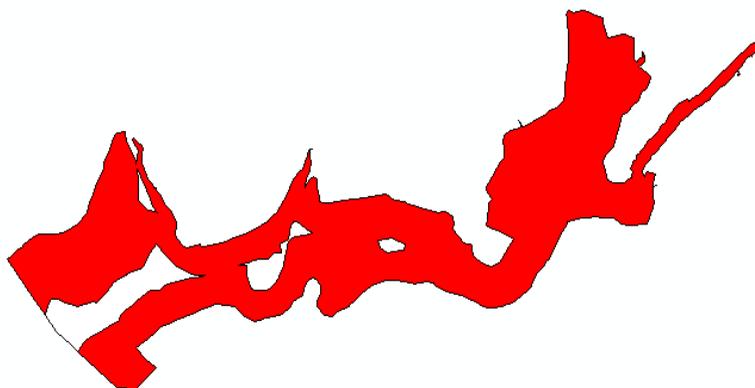


FIGURA 58: PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota simulada 870 m.

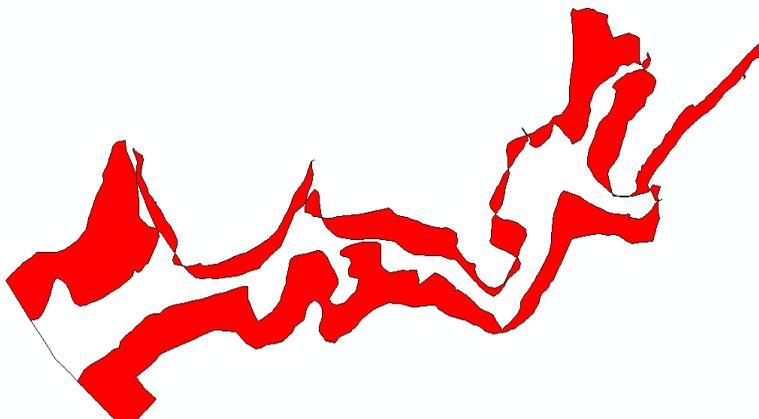


FIGURA 59: PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.

Para a **Base ASTER 3 da PCHCOX na cota simulada de 870 m** foram geradas dez curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 63. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 60.

Para a **Base ASTER 3 da PCHCOX na cota resimulada de 876 m** foram geradas cinco curvas fechadas (após generalização). As dimensões podem ser verificadas na Tabela 64. Os polígonos gerados de AT e AC podem ser observados na Figura 61.

TABELA 63: PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota simulada 870 m.

PCHCOX	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	282684,24	6908,18
NA - SI	378306,47	5738,60
NA - SI %	57,23	45,38
AT	700513,3989	13151,413
AT %	105,98	103,99
AC	243161,5524	6403,5505
AC %	34,71	48,69
AT - AC	457351,85	6747,86
AT - AC %	65,29	51,31

TABELA 64: PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota resimulada 876 m.

PCHCOX	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
SI	593344,91	11024,00
NA - SI	67645,80	1622,78
NA - SI %	10,23	12,83
AT	867932,40	14988,68
AT %	131,31	118,52
AC	386403,22	8682,10
AC %	44,52	57,92
AT - AC	481529,18	6306,59
AT - AC %	55,48	49,87

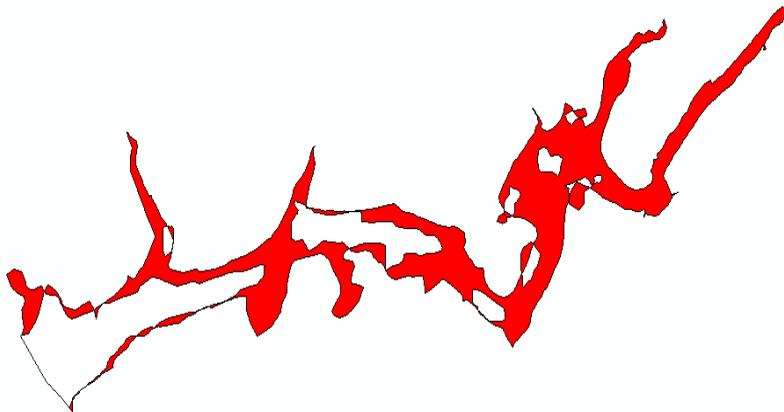


FIGURA 60: PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota simulada 870 m.

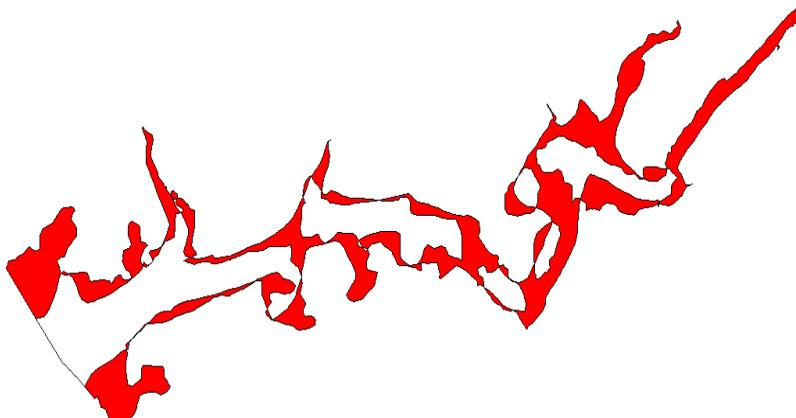


FIGURA 61: PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota resimulada 876 m.

4.4.3 Avaliação Morfológica Quantitativa

Para todos os itens de avaliação morfológica serão utilizadas as curvas de referência, simuladas e resimuladas, bem como os respectivos resultados obtidos no item 4.4.2.

Em todas as figuras apresentadas neste item serão utilizadas as mesmas legendas com relação às cores, ou seja: área destacada em bege é AC, a área em vermelho é AF, a área em azul é AD e a área em verde são os vazios onde não foram gerados polígonos nem curvas.

Para a **base fotogramétrica 1 da UHEPSJ**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, para a cota simulada de 128,5 m, podem ser observados na Figura 62. Os cálculos podem ser observados na Tabela 65. Para a cota restituída de 130 m, os contornos podem ser observados na Figura 63. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 66.

TABELA 65: UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.

UHEPSJ	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	25172322,93	147491,20

AT	26967261,61	172121,88
AC	23441165,82	156509,78
AC %	86,92	90,93
AT - AC	3526095,79	
AT – AC %	13,08	
AF	1731157,12	
AF %	6,42	
AF/AT %	49,10	
AD	1794938,67	
AD %	6,66	
AD/AT %	50,90	

TABELA 66: UHEPSJ – Dimensões Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	30148243,49	179838,26
AT	30296831,32	182827,11
AC	25087516,66	178151,61
AC %	82,81	97,44
AT - AC	5209314,66	
AT – AC %	17,19	
AF	5060726,83	
AF %	16,70	
AF/AT %	97,15	
AD	148587,83	
AD %	0,49	
AD/AT %	2,85	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 65, para a **cota simulada de 128,5 m, da Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de apenas 13,08 %. Esta

diferença está distribuída de forma praticamente igual para as áreas não comuns que foram geradas, 49,10 % de AF e 50,90 % de AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e “AD/AT %” da Tabela 66, para a **cota restituída de 130 m, da Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de apenas 17,19 %. Esta diferença está distribuída de forma não homogênea, ou seja, a diferença é muito superior para a AF, 97,15 %, e de apenas 2,85 % para a AD.

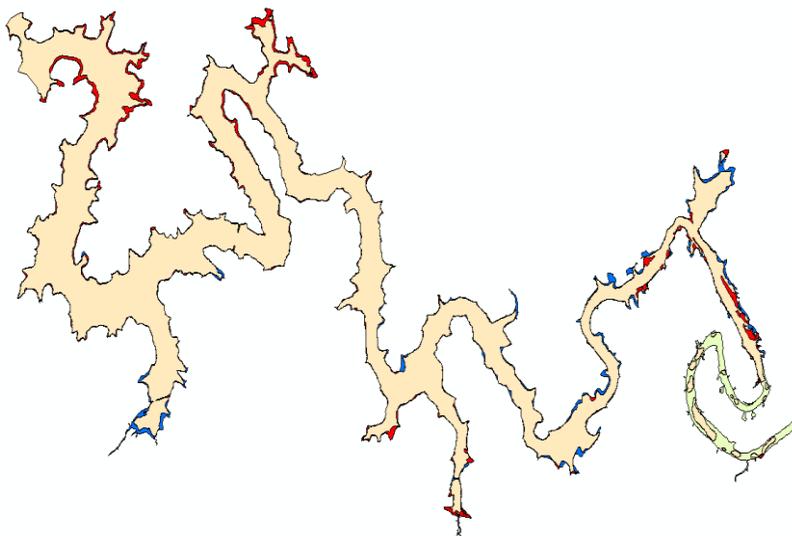


FIGURA 62: UHEPSJ – Apresentação base fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m.

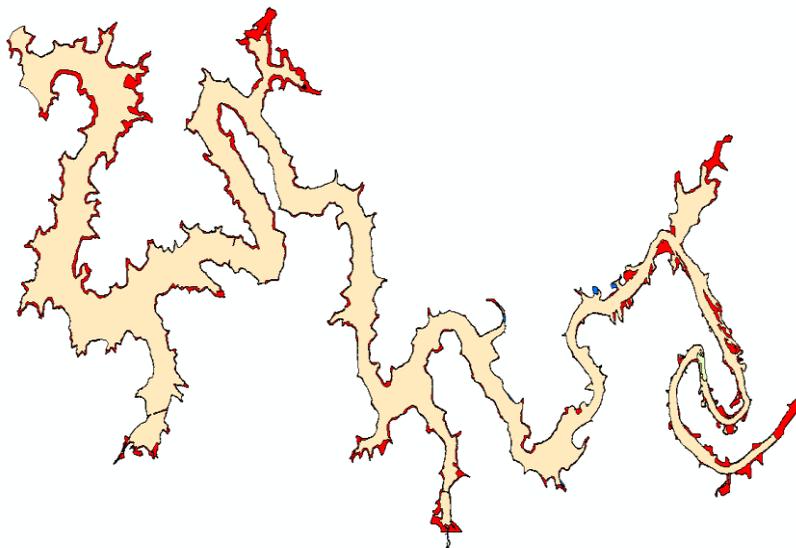


FIGURA 63: UHEPSJ – Apresentação base fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.

Para a **base cartográfica 1 da UHEPSJ**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, para a cota simulada de 128,5 m, podem ser observados na Figura 64. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 67. Para a cota simulada em 130 m, os contornos podem ser observados na Figura 65. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 68

TABELA 67: UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.

UHEPSJ	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	26187799,68	114322,04
AT	31326215,46	178596,33
AC	20097688,71	116866,17
AC %	64,16	65,44
AT - AC	11228526,74	61730,16

AT – AC %	35,84	34,56
AF	6090110,97	
AF %	19,44	
AF/AT %	54,24	
AD	5138415,78	
AD %	16,40	
AD/AT %	45,76	

TABELA 68: UHEPSJ – Dimensões Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m.

UHEPSJ	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	27900769,56	119538,83
AT	32667775,21	180100,95
AC	20469098,83	120578,34
AC %	62,66	66,95
AT - AC	12198676,38	
AT – AC %	37,34	
AF	7431670,72	
AF %	22,75	
AF/AT %	60,92	
AD	4767005,66	
AD %	14,59	
AD/AT %	39,08	

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 67, para a **cota simulada de 128,5 m, da Base Cartográfica 1 da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 35,84 %. Esta diferença está distribuída de forma praticamente igual para as áreas não comuns que foram geradas, 54,24% para a AF e de 45,76% para a AD

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 68, para a **cota simulada de 130 m, da Base Cartográfica 1**

da UHEPSJ, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 37,34 %. Esta diferença está distribuída de forma não homogênea, ou seja, é superior para a AF, 60,92 % e de 39,08 % para a AD.

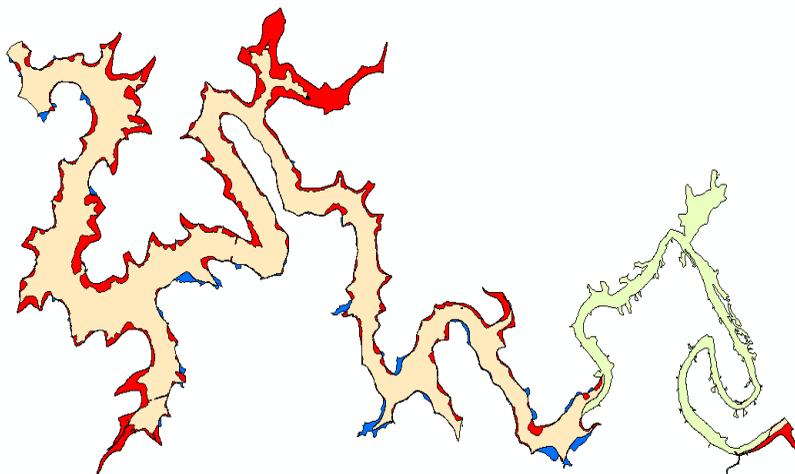


FIGURA 64: UHEPSJ – Apresentação base cartográfica 1 cota simulada 128,5 m.

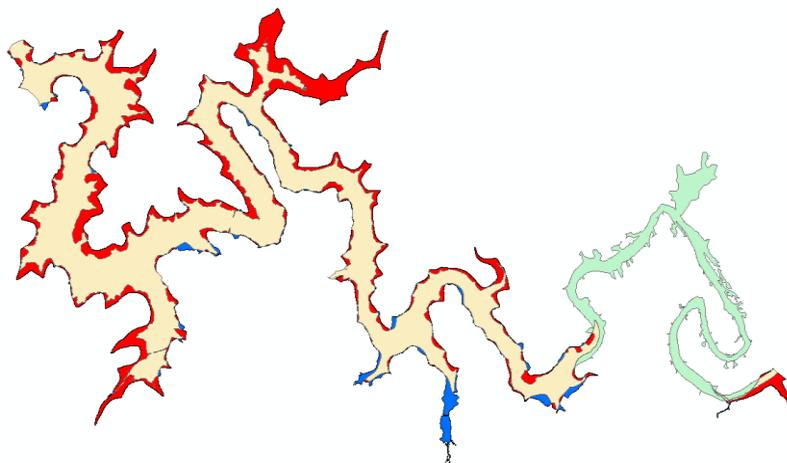


FIGURA 65: UHEPSJ – Apresentação base cartográfica 1 cota simulada 130 m.

Para a **base SRTM 1 da UHEPSJ**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, da cota simulada de 130 m, podem ser observados na Figura 66. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 69. Para a cota resimulada em 135 m, os contornos podem ser observados na Figura 67. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 70.

TABELA 69: UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota simulada 130 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	16388006,99	104138,18
AT	26828040,21	179054,12
AC	14796071,27	106224,52
AC %	35,06	42,51
AT - AC	12031968,95	
AT – AC %	44,85	
AF	1591935,72	
AF %	5,93	
AF/AT %	13,23	
AD	10440033,23	
AD %	38,91	
AD/AT %	86,77	

TABELA 70: UHEPSJ – Dimensões Base SRTM 1 cota resimulada 135 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	29760808,43	141705,74
AT	33322123,93	167084,43
AC	21674788,99	155761,78
AC %	65,05	93,22
AT - AC	11647334,94	
AT – AC %	34,95	
AF	8086019,44	

AF %	24,27	
AF/AT %	69,42	
AD	3561315,50	
AD %	10,69	
AD/AT %	30,58	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 69, para a **cota simulada de 130 m, da Base SRTM 1 da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 44,85 %. , Esta diferença está distribuída de forma não homogênea, ou seja, é muito inferior para a AF, apenas 13,23 % e de 86,77 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 70, para a cota **resimulada de 135 m, da Base SRTM 1da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 34,95 %. Esta diferença está distribuída de forma diferente para as áreas dentro e fora. A AF é de 69,42 % e de AD é de 30,58 %.

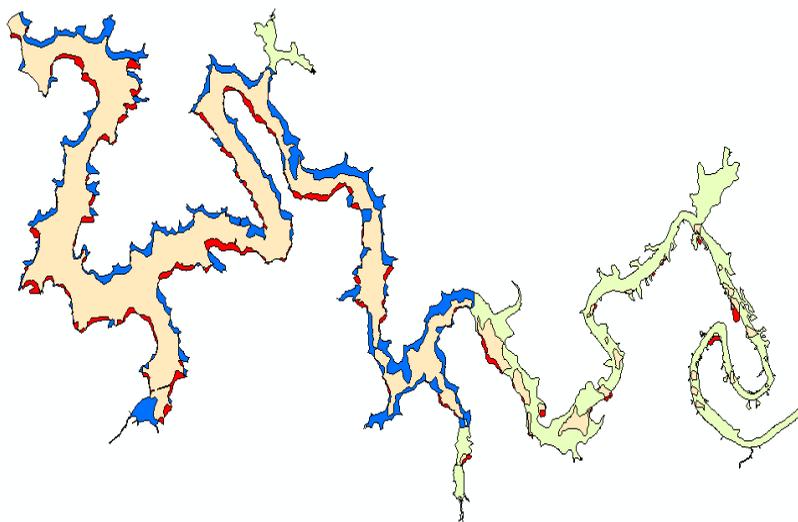


FIGURA 66: UHEPSJ – Apresentação base SRTM 1 cota simulada 130 m.

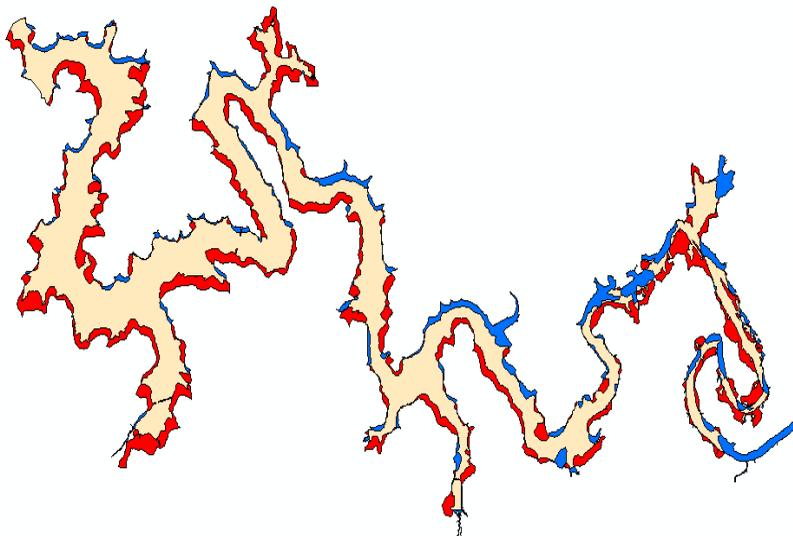


FIGURA 67: UHEPSJ – Apresentação base SRTM 1 cota resimulada 135 m.

Para a **base ASTER 1 da UHEPSJ**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, da cota simulada de 130 m, os contornos de referência podem ser observados na Figura 68. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 71. Para a cota resimulada em 135 m, os contornos podem ser observados na Figura 69. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 72.

TABELA 71: UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota simulada 130 m.

UHEPSJ	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	19314548,58	215831,07
AT	29725807,73	215534,02
AC	14824845,35	181437,52
AC %	49,87	84,18
AT - AC	14900962,38	
AT - AC %	50,13	

AF	4489703,24	
AF %	15,10	
AF/AT %	30,13	
AD	10411259,14	
AD %	35,02	
AD/AT %	69,87	

TABELA 72: UHEPSJ – Dimensões Base ASTER 1 cota resimulada 135 m.

UHEPSJ	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	25236104,49	181140,46
AS	32749947,36	255873,37
AT	37833930,81	245891,39
AC	20152121,05	191122,44
AC %	53,26	77,73
AT - AC	17681809,76	
AT – AC %	46,74	
AF	12597826,32	
AF %	33,30	
AF/AT %	71,25	
AD	5083983,44	
AD %	13,44	
AD/AT %	28,75	

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 71, para a **cotasimulada de 130 m, da Base ASTER 1 da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 50,13 %. Esta diferença está distribuída de forma não homogênea, ou seja, é inferior para a AF, 30,13 % e de 69,87 % para a AD.

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 72, para a **cota resimulada de 135 m, da Base ASTER 1 da UHEPSJ**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC

%", de área não comum, é de 46,74 %. Esta diferença está distribuída de forma não homogênea, ou seja, é superior para a AF, 71,25 %, e de 28,75 % para a AD.

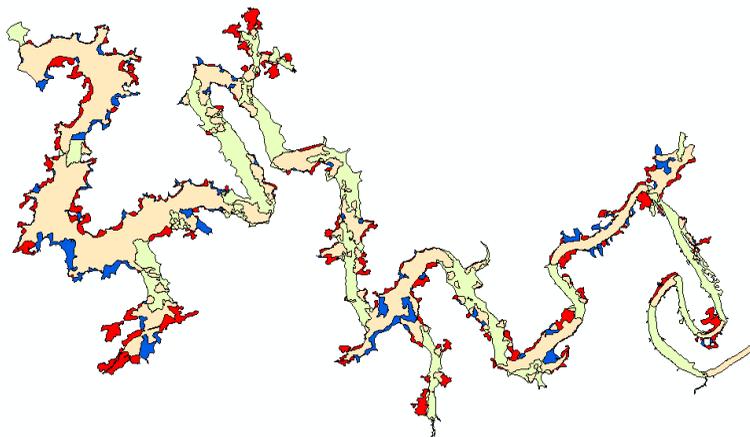


FIGURA 68: UHEPSJ – Apresentação base ASTER 1 cota simulada 130 m.

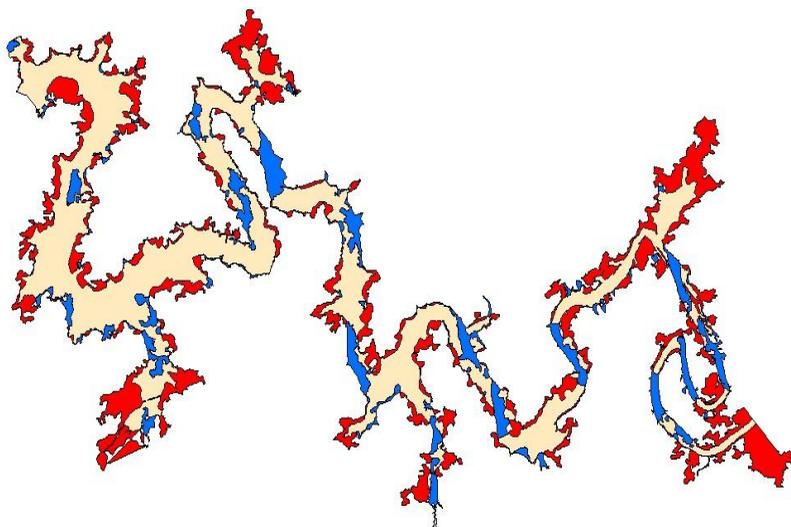


FIGURA 69: UHEPSJ – Apresentação base ASTER 1 cota resimulada 135 m.

Para a **base fotogramétrica 2 da UHESD**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, para a cota simulada de 345 m, podem ser observados na Figura 70. Os cálculos podem ser observados Tabela 73. Os polígonos definidos pelos contornos restituídos, para a cota restituída de 345 m, podem ser observados na Figura 71. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 74..

TABELA 73: UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	18203065,05	76985,59
AT	19207316,86	77851,353
AC	17634334,82	74878,593
AC %	91,81	96,18
AT - AC	1572982,04	
AT – AC %	8,19	
AF	568730,22	
AF %	2,96	
AF/AT %	36,16	
AD	1004251,82	
AD %	5,23	
AD/AT %	63,84	

TABELA 74: UHESD – Dimensões Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	18153016,12	75598,70
AT	19188468,43	77311,779
AC	17603134,33	74031,281
AC %	91,74	95,76
AT - AC	1585334,11	
AT – AC %	8,26	
AF	549881,79	

AF %	2,87	
AF/AT %	34,69	
AD	1035452,31	
AD %	5,40	
AD/AT %	65,31	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 73, para a **cota simulada de 345 m, da Base Fotogramétrica 2**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de apenas 8,19 %. Esta diferença está distribuída de forma diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 36,16 % para a AF e 63,84 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 74, para a **cota restituída de 345 m, da Base Fotogramétrica 2**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de apenas 8,26 %. Esta diferença está distribuída de forma diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 34,69 % para a AF e 65,31 % para a AD.

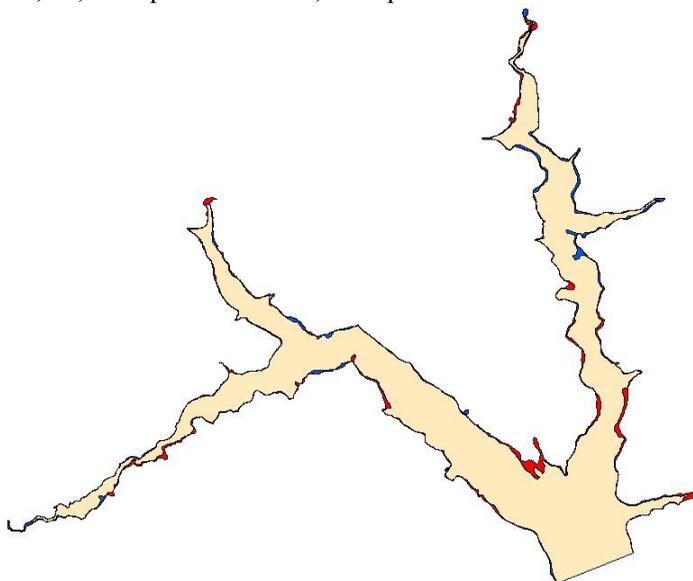


FIGURA 70: UHESD – Apresentação base fotogramétrica 2 cota simulada 345 m.

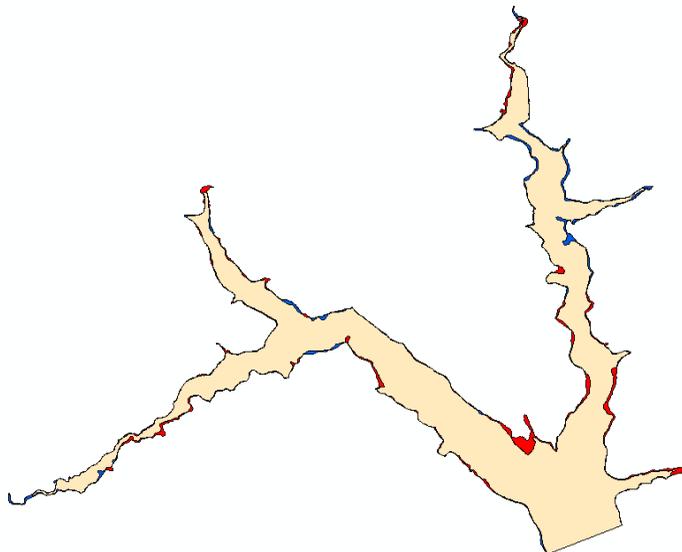


FIGURA 71: UHESD – Apresentação base fotogramétrica 2 cota restituída 345.

Para a **base cartográfica 2 da UHESD**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, para a cota simulada de 345 m, podem ser observados na Figura 72. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 75. Para a cota resimulada em 340 m, os contornos podem ser observados na Figura 73. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 76.

TABELA 75: UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	38577750,11	52122,96
AT	40454271,30	66056,847
AC	16762065,45	61810,474
AC %	41,43	93,57
AT - AC	23692205,85	
AT - AC %	58,57	

AF	21815684,66	
AF %	53,93	
AF/AT %	92,08	
AD	1876521,19	
AD %	4,64	
AD/AT %	7,92	

TABELA 76: UHESD – Dimensões Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	31809497,86	43716,44
AT	34956177,65	67932,90
AC	15491906,85	51527,90
AC %	44,32	75,85
AT - AC	19464270,81	
AT – AC %	55,68	
AF	16317591,01	
AF %	46,68	
AF/AT %	83,83	
AD	3146679,79	
AD %	9,00	
AD/AT %	16,17	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 75, para a **cota simulada de 345 m, da Base Cartográfica 2**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 58,57 %. Esta diferença está distribuída de forma diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 92,08 % para a AF e 7,92 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 76, para a **cota resimulada de 340 m, da Base Cartográfica 2 da UHESD**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 55,68 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 83,83 % para a AF e 16,17 % para a AD.

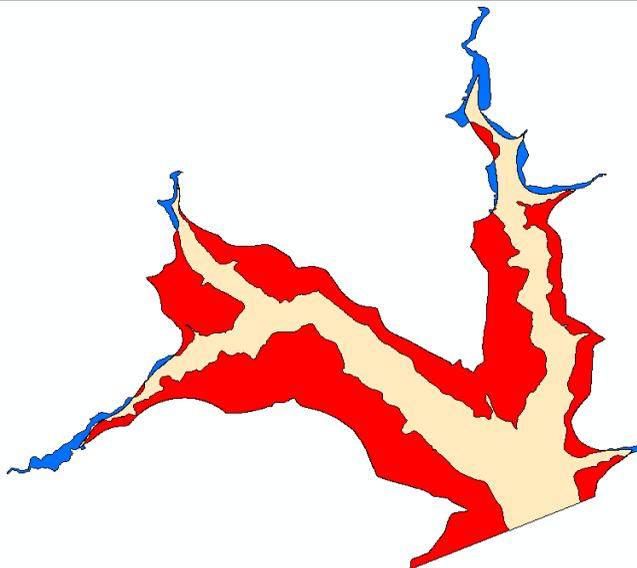


FIGURA 72: UHESD – Apresentação base cartográfica 2 cota simulada 345 m.

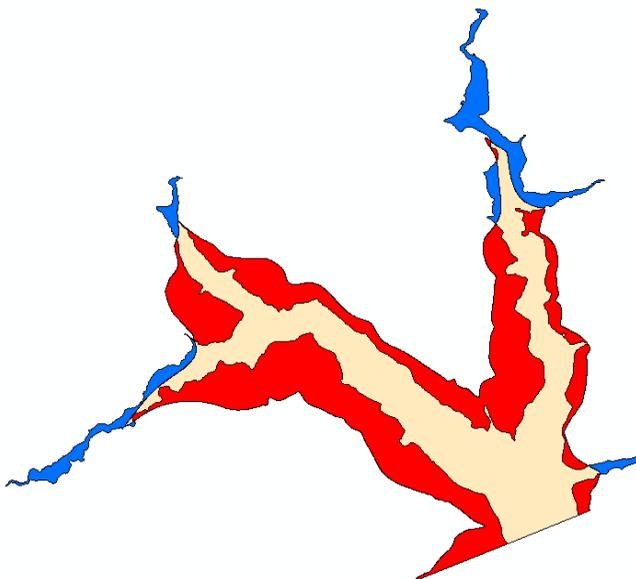


FIGURA 73: UHESD – Apresentação base cartográfica 2 cota resimulada 340 m.

Para a **base SRTM 2 da UHESD**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, da cota simulada de 345 m, podem ser observados na Figura 74. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 77. Para a cota resimulada em 350 m, os contornos podem ser observados na Figura 75. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 78.

TABELA 77: UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	10404358,03	53172,28
AT	18705721,98	75959,668
AC	10337222,69	52956,971
AC %	55,26	69,72
AT - AC	8368499,30	
AT – AC %	44,74	
AF	67135,34	
AF %	0,36	
AF/AT %	0,80	
AD	8301363,95	
AD %	44,38	
AD/AT %	99,20	

TABELA 78: UHESD – Dimensões Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.

UHESD	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	17358782,48	66650,37
AT	20050041,16	75463,18
AC	15947327,96	66931,55
AC %	79,54	88,69
AT - AC	4102713,19	
AT – AC %	20,46	
AF	1411454,52	

AF %	7,04	
AF/AT %	34,40	
AD	2691258,68	
AD %	13,42	
AD/AT %	65,60	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 77, para a **cota simulada de 345 m, da Base SRTM 2**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 44,74 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, apenas 0,80 % para a AF e 99,20 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 84, para a **cota resimulada de 350 m, da Base SRTM 2 da UHESD**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de apenas de 20,46 %. Esta diferença está distribuída de forma não homogênea para as áreas não comuns que foram geradas, 34,40 % para a AF e 65,60 % para a AD.

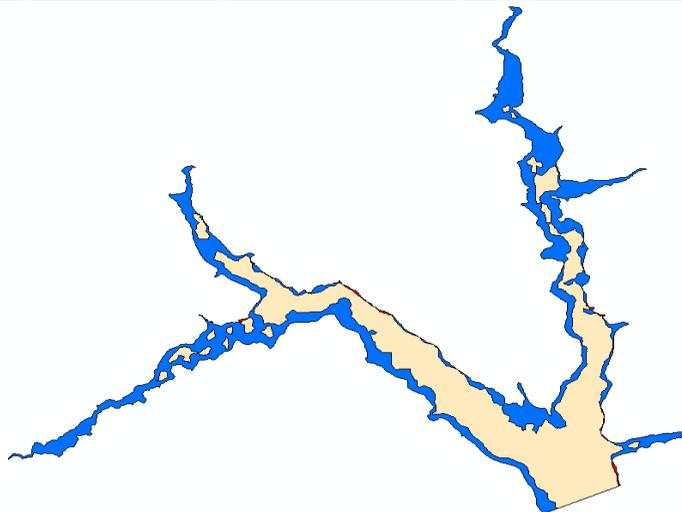


FIGURA 74: UHESD – Apresentação base SRTM 2 cota simulada 345 m.

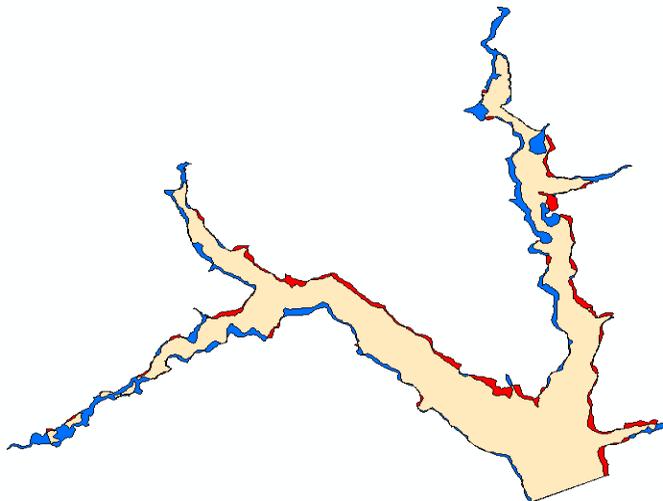


FIGURA 75: UHESD – Apresentação base SRTM 2 cota resimulada 350 m.

Para a **base ASTER 2 da UHESD**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, da cota simulada de 345 m, podem ser observados na Figura 76. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 79. Para a cota resimulada em 352 m, os contornos podem ser observados na Figura 77. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 80.

TABELA 79: UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota simulada 345 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	5402843,98	70061,06
AT	18646675,44	75870,797
AC	5394755,19	69934,623
AC %	28,93	92,18
AT - AC	13251920,25	
AT - AC %	71,07	
AF	8088,80	
AF %	0,04	
AF/AT %	0,06	

AD	13243831,45	
AD %	71,03	
AD/AT %	99,94	

TABELA 80: UHESD – Dimensões Base ASTER 2 cota resimulada 352 m.

UHESD	Área (m ²)	Perímetro (m)
NA	18638586,64	75744,36
AS	14879824,78	109713,30
AT	19859217,82	91933,93
AC	13659193,61	93523,73
AC %	68,78	101,73
AT - AC	6200024,21	
AT – AC %	31,22	
AF	1220631,18	
AF %	6,15	
AF/AT %	19,69	
AD	4979393,03	
AD %	25,07	
AD/AT %	80,31	

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 79, para a **cota simulada de 345 m, da Base ASTER 2**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 71,07 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, apenas 0,06 % para a AF e 99,94 % para a AD.

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 80, para a **cota resimulada de 352 m, da Base ASTER 2 da UHESD**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 31,22 %. Esta diferença está distribuída de forma diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 19,69 % para a AF e 80,31 % para a AD.

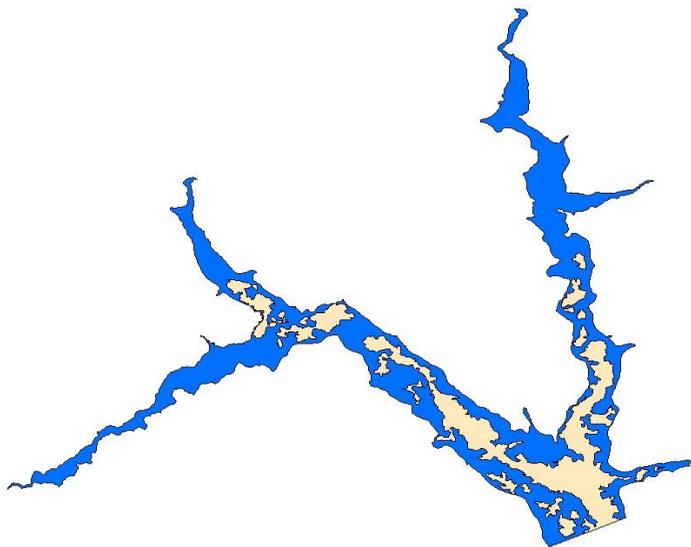


FIGURA 76: UHESD – Apresentação base ASTER 2 cota simulada 345 m.

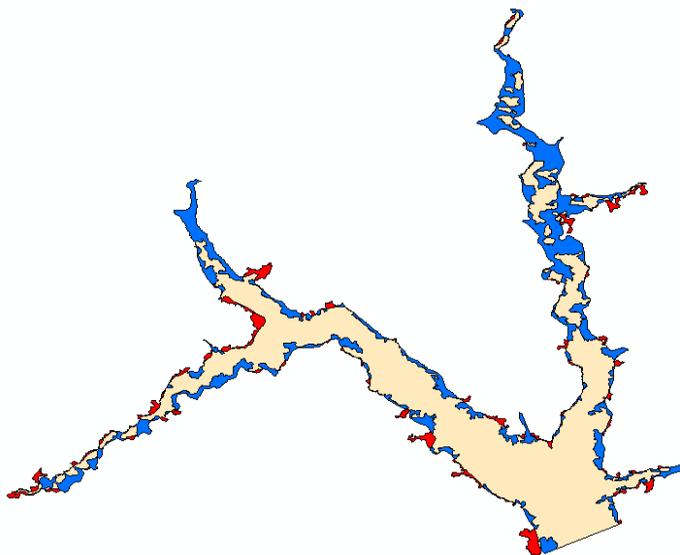


FIGURA 77: UHESD – Apresentação base ASTER 2 cota resimulada 352 m.

Para a base fotogramétrica 3 da PCHCOX, os polígonos definidos pelos contornos simulados, para a cota simulada de 872 m, podem ser observados na Figura 78. Os cálculos podem ser observados na Tabela 81. Para a cota restituída de 870 m, podem ser observados na Figura 79. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 82. Para a cota resimulada de 875 m, podem ser observados na Figura 80. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 83.

TABELA 81: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.

PCHCOX	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	664765,50	9983,41
AT	765765,13	13146,64
AC	559991,08	9483,55
AC %	73,13	72,14
AT - AC	205774,05	
AT - AC %	26,87	
AF	104774,42	
AF %	13,68	
AF/AT %	50,92	
AD	100999,63	
AD %	13,19	
AD/AT %	49,08	

TABELA 82: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.

PCHCOX	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	468659,16	10843,21
AT	678726,47	13707,10
AC	450923,40	9782,89
AC %	66,44	71,37
AT - AC	227803,06	

AT – AC %	33,56	
AF	17735,76	
AF %	2,61	
AF/AT %	7,79	
AD	210067,31	
AD %	30,95	
AD/AT %	92,21	

TABELA 83: PCHCOX – Dimensões Base Fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.

PCHCOX	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	890076,88	11616,79
AT	938075,54	13182,26
AC	612992,05	11081,31
AC %	65,35	84,06
AT - AC	325083,48	
AT – AC %	34,65	
AF	277084,83	
AF %	29,54	
AF/AT %	85,23	
AD	47998,66	
AD %	5,12	
AD/AT %	14,77	

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 81, para a **cotasimulada de 872 m, da Base Fotogramétrica 3**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 26,87 %. Esta diferença está distribuída de forma praticamente homogênea para as áreas não comuns que foram geradas, 50,92 % para a AF e 49,08 % para a AD.

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 82, para a **cota restituída de 870 m, da Base Fotogramétrica 3**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT

– AC %”, de área não comum, é de 33,56 %. Esta diferença está distribuída de forma diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 7,79 % para a AF e 92,21 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 86, para a **cota resimulada de 875 m, da Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 34,65 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 85,23 % para a AF e 14,77 % para a AD.

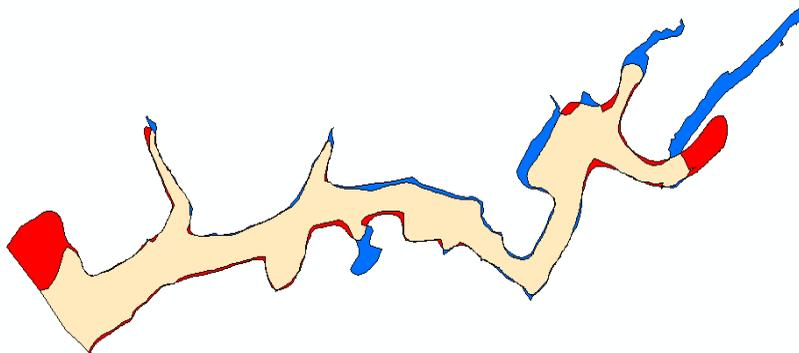


FIGURA 78: PCHCOX – Apresentação base fotogramétrica 3 cota simulada 872 m.

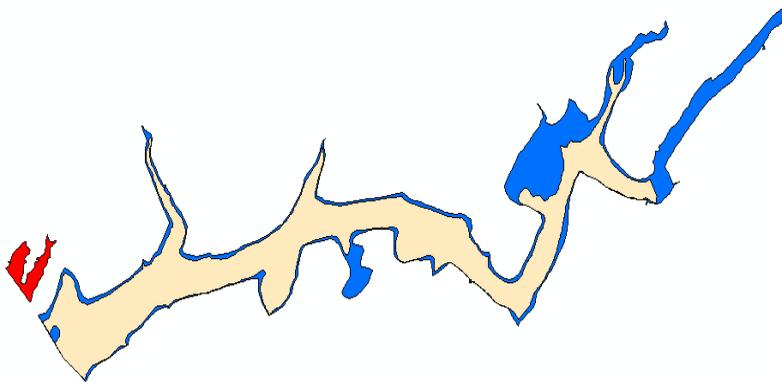


FIGURA 79: PCHCOX – Apresentação base fotogramétrica 3 cota restituída 870 m.

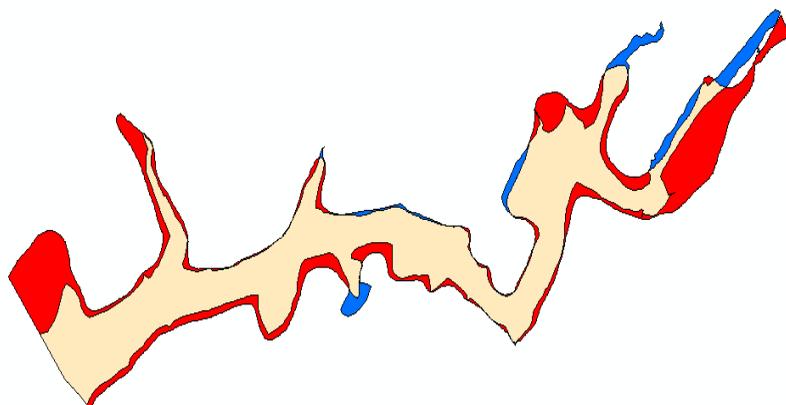


FIGURA80: PCHCOX – Apresentação base fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.

Para a **base cartográfica 3 da PCHCOX**, os contornos simulados gerados, tanto para a cota de 870m, quanto para a cota de 872 m, ficaram completamente fora da curva de referência. Como não foram realizadas as outras etapas de avaliação, para estas simulações, esta também não foi realizada. Para a cota resimulada de 875 m, os polígonos definidos pelos contornos resimulados podem ser observados na Figura 81. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 84.

TABELA 84: PCHCOX – Dimensões Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.

PCHCOX	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	3515366,83	20555,99
AT	3516606,30	20552,43
AC	659751,24	12650,34
AC %	18,76	61,55
AT - AC	2856855,06	
AT - AC %	81,24	
AF	2855615,59	
AF %	81,20	

AF/AT %	99,96	
AD	1239,47	
AD %	0,04	
AD/AT %	0,04	

Observando os valores apresentados nas linhas “AF/AT %” e “AD/AT %” da Tabela 84, para a **cota resimulada de 880 m, da Base Cartográfica 3 da PCHCOX**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 81,24 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 99,96 % para a AF e apenas 0,04 % para a AD.

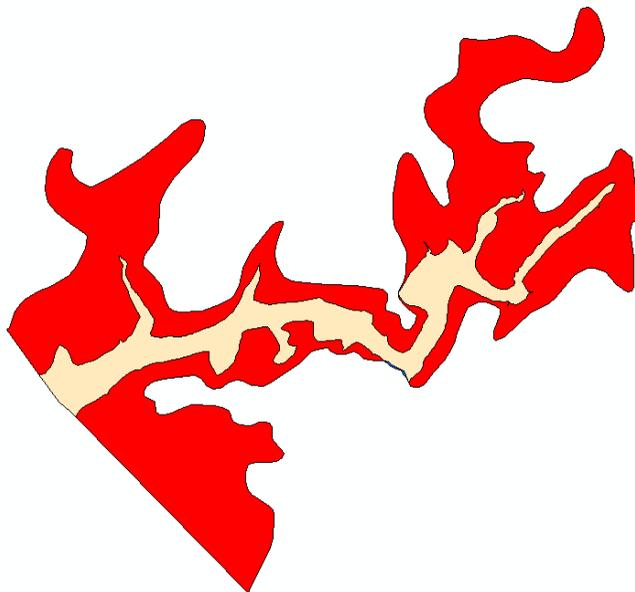


FIGURA 81: PCHCOX – Apresentação base cartográfica 3 cota resimulada 880 m.

Para a **base SRTM 3 da PCHCOX**, os polígonos definidos pelos contornos simulados, da cota simulada de 870 m, podem ser observados na Figura 82. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 85. Para a cota resimulada de 880 m, podem ser observados na Figura 83. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 86.

TABELA 85: PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota simulada 870 m.

PCHCOX	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	194693,98	3980,40
AT	738165,28	13489,13
AC	117519,41	3138,05
AC %	15,92	23,26
AT - AC	620645,88	
AT – AC %	84,08	
AF	77174,57	
AF %	10,45	
AF/AT %	12,43	
AD	543471,30	
AD %	73,62	
AD/AT %	87,57	

TABELA 86: PCHCOX – Dimensões Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.

PCHCOX	Área (m2)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	1253383,91	10059,29
AT	1425164,51	12852,85
AC	489210,11	9853,22
AC %	34,33	76,66
AT - AC	935954,40	
AT – AC %	65,67	
AF	764173,80	
AF %	53,62	
AF/AT %	81,65	
AD	171780,60	
AD %	12,05	
AD/AT %	18,35	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 85, para a **cota simulada de 870 m, da Base SRTM 3 da PCHCOX**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 84,08 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, apenas 12,43 % para a AF e 87,57 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 86, para a **cota resimulada de 880 m, da Base SRTM 3 da PCHCOX**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 65,67 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, 81,65 % para a AF e 18,35 % para a AD.

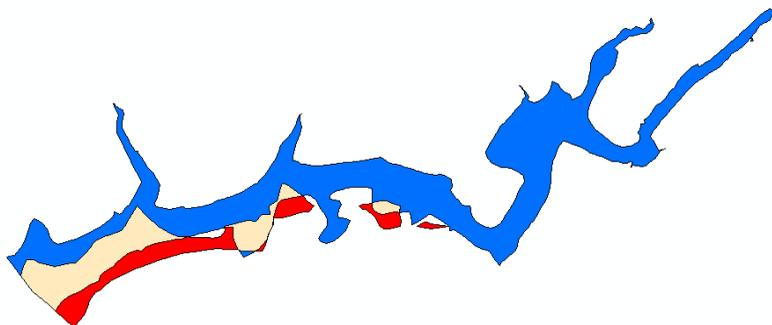


FIGURA 82: PCHCOX – Apresentação base SRTM 3 cota simulada 870 m.

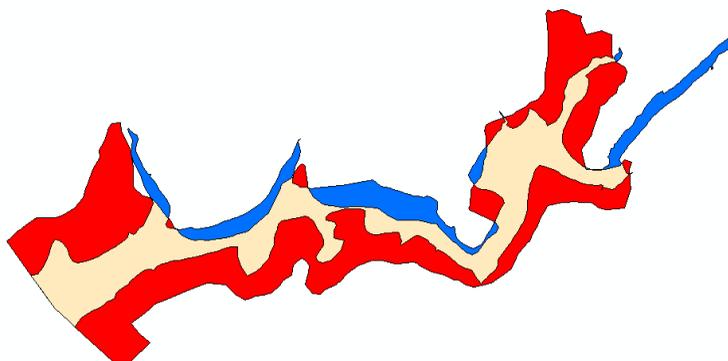


FIGURA 83: PCHCOX – Apresentação base SRTM 3 cota resimulada 880 m.

Para a base ASTER 3 da PCHCOX, os polígonos definidos pelos contornos simulados, da cota simulada de 870 m, podem ser observados na Figura 84. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 87. Para a cota resimulada de 876 m, podem ser observados na Figura 85 e os quantitativos podem ser observados na Tabela 88.

TABELA 87: PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota simulada 870 m.

PCHCOX	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	282684,24	6908,18
AT	700513,40	13151,41
AC	243161,55	6403,55
AC %	34,71	50,63
AT - AC	457351,85	
AT - AC %	65,29	
AF	39522,69	
AF %	5,64	
AF/AT %	8,64	
AD	417829,16	
AD %	59,65	
AD/AT %	91,36	

TABELA 88: PCHCOX – Dimensões Base ASTER 3 cota resimulada 880 m.

PCHCOX	Área (m²)	Perímetro (m)
NA	660990,71	12646,78
AS	593344,91	11024,00
AT	867932,40	14988,68
AC	386403,22	8682,10
AC %	44,52	57,92
AT - AC	481529,18	
AT - AC %	42,98	
AF	206941,69	

AF %	23,84	
AF/AT %	42,98	
AD	274587,49	
AD %	31,64	
AD/AT %	57,02	

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da, para a **cota simulada de 870 m, da Base ASTER 3 da PCHCOX**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 65,29 %. Esta diferença está distribuída de forma muito diferente para as áreas não comuns que foram geradas, apenas 8,64 % para a AF e 91,36 % para a AD.

Observando os valores apresentados na linhas “AF/AT %” e AD/AT %” da Tabela 70, para a **cota resimulada de 876 m, da Base ASTER 3 da PCHCOX**, verifica-se que a diferença apresentada na linha “AT – AC %”, de área não comum, é de 42,98 %. Esta diferença está distribuída de forma semelhante para as áreas não comuns que foram geradas, 42,98 % para a AF e 57,02 % para a AD.

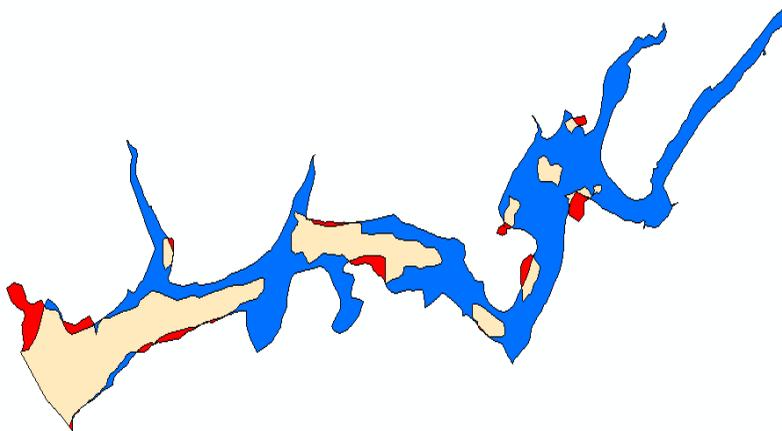


FIGURA 84: PCHCOX – Apresentação base ASTER 3 cota simulada 870 m.

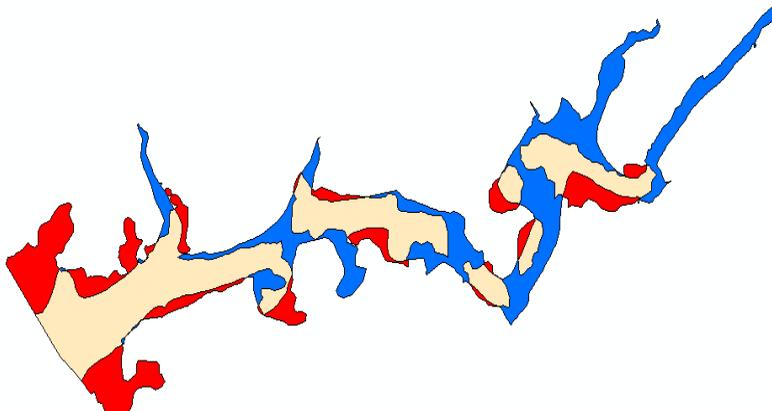


FIGURA 85: PCHCOX – Apresentação base ASTER 3 cota resimulada 880 m.

4.4.4 Aplicação às Etapas de Projetos de Hidrelétricas

Neste trabalho foram considerados como ideais a serem aplicadas em projetos de hidrelétricas as curvas que apresentaram maiores superfícies em comum com as formadas pelas curvas de referência, seguida por aquelas que, apresentando superfícies não comuns, apresentem distribuição de superfícies ora para fora, ora para dentro da cota de referência, em uma proporção de 50 % cada, para compensar perdas e ganhos.

No caso de simulação de cotas de alagamento por diferentes bases, as áreas formadas, ora para fora, ora para dentro no ambiente gráfico em relação ao nível de alagamento de referência (a cota efetivamente demarcada em campo e sua conseqüente inundação), devem ser analisadas com critério, pois dependendo do que pode ser considerado melhor ou pior caso, do ponto de vista do empreendedor ou do atingido por barragem (proprietário da terra a ser alagada), pode interferir nos resultados e nas análises.

Em grandes usinas, áreas estimadas por simulação nas fases de estudo, maiores do que o efetivado nas fases de projetos consolidados podem comprometer as outras fases de estudo, como a de inventário e viabilidade, por exemplo. Nestes casos pode e deve ser indicada a

realização de maiores estudos para compilação de informações com qualidade superior, antes de inviabilizar o projeto.

Em contrapartida, áreas estimadas por simulação nas fases de estudo, menores do que o efetivado nas fases de projetos consolidados pode se tornar um grande problema, pois uma maior área alagada pode significar um número maior de atingidos, bem como maiores áreas com vegetação a ser suprimida, entre outros, que no final se transformam em prejuízos aos empreendedores e um impacto negativo perante a comunidade atingida.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações, ora para fora ou ora para dentro da mesma, numa proporção de quase 50% (49,10 % AF e 50,90 % AD) para cada uma, de acordo com a Tabela 56, conclui-se que a **cota simulada de 128,5 m da base fotogramétrica 1 da UHEPSJ** pode ser utilizada para simular a área de alagado desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Viabilidade. Pois a área gerada ora para dentro e ora para fora indica que os impactos causados podem ser previstos ou estimados e na implantação, as áreas atingidas podem variar espacialmente, mas não em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações para fora da curva de referência, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 57, conclui-se que a **cota simulada de 130 m da base fotogramétrica 1 da UHEPSJ** pode ser utilizada para simular a área de alagado desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Projeto Básico. Pois a área gerada para fora, quando não muito superestimada não chega a causar grandes impactos, pelo contrário, na implantação do projeto executivo oferece uma área menor alagada, se revertendo em ganho para o empreendedor e segurança para o atingido.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações, ora para fora ou ora para dentro da mesma, de acordo com a Tabela 58, numa proporção de 54,24% AF e de 45,76% AD, conclui-se que a **cota simulada de 128,5 m para a base cartográfica 1 da UHEPSJ** pode ser utilizada para simular a área de alagado desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Pois a área gerada ora para dentro e ora para fora indica que os impactos causados podem ser previstos ou estimados

e na implantação, as áreas atingidas podem variar espacialmente, mas não em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações para fora da curva de referência, de acordo com a Tabela 59, numa proporção de 60,92 % AF e de 39,08 % AD, conclui-se que a **cota simulada de 130 m para a base cartográfica 1 da UHEPSJ** pode ser utilizada para simular a área de alague desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Pois a área gerada para fora, quando não muito superestimada não chega a causar grandes impactos, pelo contrário, na implantação do projeto executivo oferece uma área menor alagada, se revertendo em ganho para o empreendedor e segurança para o atingido.

Por apresentar um contorno diferente ao da curva de referência, com variações para menos durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 51, numa proporção de 13,23% (AF) e de 86,77 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 130 m da base SRTM 1 da UHEPSJ** não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada somente para dentro indica que os impactos causados podem ser muito superiores na implantação, fazendo com que as áreas atingidas aumentem consideravelmente sua espacialização, como também em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno diferente ao da curva de referência, com variações para menos durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 52, numa proporção de 30,13% (AF) e de 69,87 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 130 m da Base ASTER 1 da UHEPSJ**, não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada somente para dentro indica que os impactos causados podem ser muito superiores na implantação, fazendo com que as áreas atingidas aumentem consideravelmente sua espacialização, como também em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, sem discrepâncias, ora para fora ou ora para dentro da mesma, numa proporção de 36,16 % (AF) e 63,84 % (AD), de acordo com a Tabela 53, conclui-se que a **cota simulada de 345 m da base fotogramétrica 2 da UHESD** pode ser utilizada para simular a área de alague desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Projeto Básico. Pois a área gerada ora para dentro e ora para fora indica que os

impactos causados podem ser previstos ou estimados e na implantação, as áreas atingidas podem variar espacialmente, mas não em termos de valores absolutos, tendo em vista que a diferença entre AT e AC foi de apenas 8,19 %.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, sem discrepâncias, ora para fora ou ora para dentro da mesma, numa proporção de 34,69 % (AF) e 65,31 % (AD), de acordo com a Tabela 54, conclui-se que a **cota restituída de 345 m da base fotogramétrica 2 da UHESD** pode ser utilizada para simular a área de alague desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Projeto Básico. Pois a área gerada ora para dentro e ora para fora indica que os impactos causados podem ser previstos ou estimados e na implantação, as áreas atingidas podem variar espacialmente, mas não em termos de valores absolutos, tendo em vista que a diferença entre AT e AC foi de apenas 8,26 %.

Por apresentar um contorno muito diferente ao da curva de referência, com variações para mais durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 55, numa proporção de 92,08 % (AF) e de 7,92 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 345 m da Base Cartográfica 2 da UHESD**, não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada para fora indica uma possível inviabilização do projeto ainda nas fases iniciais

Por apresentar um contorno diferente ao da curva de referência, com variações para menos durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 56, numa proporção de 0,80 (AF) e de 99,20 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 345 m da base SRTM 2 da UHESD** não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada somente para dentro indica que os impactos causados podem ser muito superiores na implantação, fazendo com que as áreas atingidas aumentem consideravelmente sua espacialização, como também em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno diferente ao da curva de referência, com variações para menos durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 57, numa proporção de 0,06 (AF) e de 99,94 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 345 m da base ASTER 2 da UHESD** não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada somente para dentro indica que os impactos

causados podem ser muito superiores na implantação, fazendo com que as áreas atingidas aumentem consideravelmente sua espacialização, como também em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com algumas discrepâncias, ora para fora ou ora para dentro da mesma, numa proporção de quase 50% (50,92 % AF e 49,08 % AD) para cada uma, de acordo com a Tabela 58, conclui-se que a **cota simulada de 872 m da base fotogramétrica 3 da PCHCOX** pode ser utilizada para simular a área de alague desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Viabilidade. Pois a área gerada ora para dentro e ora para fora indica que os impactos causados podem ser previstos ou estimados e, na implantação, as áreas atingidas podem variar espacialmente, mas não em termos de valores absolutos, tendo em vista que a diferença entre AT e AC foi de 26,87 %.

Por apresentar um contorno diferente da curva de referência, com várias discrepâncias, na maioria para dentro da mesma, numa proporção de 7,79 % AF e 92,21 % AD, de acordo com a Tabela 58, conclui-se que a **cota simulada de 872 m da base fotogramétrica 3 da PCHCOX** conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas. Pois a área gerada para dentro indica que os impactos causados no decorrer da obra podem não ser previstos ou estimados e na implantação, conseqüentemente as áreas atingidas podem variar espacialmente, inclusive em valores absolutos.

Por não ter formado, na simulação, curva que acompanhasse a curva de referência, conclui-se que a **cota simulada de 872 m da base cartográfica 3 da PCHCOX** também não é indicada a ser utilizada em nenhuma etapa de projeto de hidrelétrica.

Por apresentar um contorno diferente ao da curva de referência, com variações para menos durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 60, numa proporção de 12,43 % (AF) e de 87,57 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 870 m da base SRTM 3 da PCHCOX** não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada somente para dentro indica que os impactos causados podem ser muito superiores na implantação, fazendo com que as áreas atingidas aumentem consideravelmente sua espacialização, como também em termos de valores absolutos.

Por apresentar um contorno diferente ao da curva de referência, com variações para menos durante todo o percurso, de acordo com a Tabela 61, numa proporção de 8,64 % (AF) e de 91,36 % (AD), conclui-se que a **cota simulada de 870 m da base ASTER 3 da PCHCOX** não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projetos de usinas. Pois a área gerada somente para dentro indica que os impactos causados podem ser muito superiores na implantação, fazendo com que as áreas atingidas aumentem consideravelmente sua espacialização, como também em termos de valores absolutos.

4.4.5 Aplicação ao Indicador de Moreira e Polle – M&P

De acordo com a Resolução Aneel 394/1998, uma PCH é todo aproveitamento hidrelétrico caracterizado por uma potência instalada entre 1 e 30 MW e área inundada de até 3,0 km² (300 ha), para a cheia centenária.

Utilizando o indicador apresentado por Moreira e Poole (1993), aqui denominado de indicador M&P, também citado por Goldemberg e Lucon (2008), como parâmetro médio no caso de uma PCH chega-se aos valores apresentados no Quadro 10, pois a Aneel não especifica uma relação proporcional entre energia gerada e área inundada. O valor de 3,33 seria o mínimo ideal para se considerar viável uma PCH, muito aquém, porém, dos valores apresentados no Quadro 1 do item 1.1. Neste caso foi calculado também, um valor médio, mais coerente com os valores também apresentados no Quadro 1, dos projetos em implantação ou já implantados no Brasil.

QUADRO 10: Indicador de M&P para PCH's.

Usina/PCH	Potência (mW)	NA (ha)	(kW)/NA(ha)
Melhor caso	30	300	100
Pior caso	1	300	3,33
Médio caso	15	300	50

Os indicadores de referência calculados por produto e área de estudo estão sendo apresentados no Quadro 11 e serão utilizados como referência nas avaliações dos diferentes produtos nos itens que serão descritos a seguir. Foi considerado como parâmetro de referência, os valores que variaram somente em até 20 % para mais ou para menos..

QUADRO 11: Indicador de M&P para os NAs de referência.

Usina/PCH	Potência (kW)	NA (ha)	(kW)/NA(ha)
UHEPSJ (área 1)	77000	2523,61	30,51
UHESD (área 2)	48000	1863,86	25,75
PCHCOX (área 3)	18000	66,10	272,31

Os resultados dos indicadores calculados para as áreas simuladas/resimuladas estão sendo apresentados no Quadro 12, onde:

- Para a **Base Fotogramétrica 1 da UHEPSJ** foram calculados dois indicadores, um proveniente das dimensões obtidas pela extração da curva 128,5 m do MDE da Base Fotogramétrica 1 e o outro das dimensões extraídas da curva de 130 m advinda diretamente da restituição da mesma base.
- Para a **Base Cartográfica 1da UHEPSJ** foram calculados dois indicadores, ambos provenientes da extração das curvas 128,5 m e 130 m provenientes do MDE da Base Cartográfica 1.
- Para a **Base SRTM 1da UHEPSJ** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 130 m e da curva resimulada de 135 m do MDE da Base SRTM 1.
- Para a **Base ASTER 1 da UHEPSJ** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 130 m e da curva resimulada de 135 m do MDE da Base ASTER 1.
- Para a **Base Fotogramétrica 2 da UHESD** foram calculados dois indicadores, um proveniente das dimensões obtidas pela extração da curva 345 m do MDE da Base Fotogramétrica 2 e o outro das dimensões extraídas da curva de 345 m advinda diretamente da restituição da mesma base.
- Para a **Base Cartográfica 2 da UHESD** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 345 m e da curva resimulada de 340 m provenientes do MDE da Base Cartográfica 2.
- Para a **Base SRTM 2 da UHESD** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 345 m e da curva resimulada de 350 m do MDE da Base SRTM 2.
- Para a **Base ASTER 2 da UHESD** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 345 m e da curva resimulada de 352 m do MDE da Base ASTER 2.
- Para a **Base Fotogramétrica 3 da PCHCOX** foram calculados

três indicadores, dois provenientes das dimensões obtidas pela extração, primeiro, da curva simulada 872 m e, segundo, da curva resimulada 875 m, do MDE da Base Fotogramétrica 3 e um terceiro, das dimensões extraídas da curva de 870 m advinda diretamente da restituição da mesma base.

- Para a **Base Cartográfica 3 da PCHCOX**, foi calculado um indicador, baseado na extração da curva resimulada de 880 m do MDE da Base Cartográfica 3.
- Para a **Base SRTM 3 da PCHCOX** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 870 m e da curva resimulada de 880 m do MDE da Base SRTM 3.
- Para a **Base ASTER 3 da PCHCOX** foram calculados dois indicadores, baseados na extração da curva simulada de 870 m e da curva resimulada de 876 m do MDE da Base ASTER 3.

QUADRO 12: Indicador M&P para os SIs dos produtos testados.

UHE/PCH	Potência (kW)	Área SI (ha)	(kW)/SI (ha)	(kW)/SI (%)
UHEPSJ – foto 1 (128,5 S) m	77000	2517,23	30,59	0,26
UHEPSJ foto 1 (130 R) m	77000	3014,82	25,54	-16,29
UHEPSJ – carta 1 (128,5 S) m	77000	2618,78	29,40	-3,64
UHEPSJ - carta 1 (130 S) m	77000	2790,08	27,60	-9,54
UHEPSJ – SRTM 1 (130 S) m	77000	1638,80	46,98	54,00
UHEPSJ – SRTM 1 (135 S) m	77000	2976,08	25,87	-15,20
UHEPSJ – ASTER 1 (130 S) m	77000	1931,45	40,23	39,87
UHEPSJ – ASTER 1 (135 S) m	77000	3274,99	23,51	-22,94
UHESD – foto 2 (345 S) m	48000	1820,31	26,37	2,41
UHESD - foto 2 (345 R) m	48000	1815,30	26,44	2,68
UHESD – carta 2 (345 S) m	48000	3857,77	12,44	-51,69
UHESD – carta 2 (340 S) m	48000	3180,95	15,09	-41,40
UHESD – SRTM 2 (345 S) m	48000	1040,43	46,13	79,16
UHESD – SRTM 2 (350 S) m	48000	1735,88	27,65	7,38
UHESD – ASTER 2 (345 S) m	48000	540,284	88,84	245,02

UHESD – ASTER 2 (352 S) m	48000	1487,98	32,26	25,27
PCHCOX – foto 3 (872 S) m	18000	66,48	270,76	-0,57
PCHCOX – foto 3 (875 S) m	18000	89,01	202,23	-25,73
PCHCOX - foto 3 (870 R) m	18000	46,86	384,12	41,06
PCHCOX - carta 3 (880 S) m	18000	351,54	51,20	-81,20
PCHCOX – SRTM 3 (870 S) m	18000	19,47	924,50	239,50
PCHCOX – SRTM 3 (880 S) m	18000	125,34	143,61	-47,26
PCHCOX – ASTER 3 (870 S) m	18000	28,27	636,72	133,82
PCHCOX – ASTER 3 (876 S) m	18000	59,33	303,36	11,40

De acordo com os indicadores apresentados no Quadro 12, não houve diferença significativa no indicador calculado, apenas 0,26 % em relação ao valor de referência, estando a curva simulada advinda da **Base Fotogramétrica 1 na cota simulada de 128,5 m, dentro do limite estabelecido**. Em relação a cota restituída de 130 m, houve uma diferença de -16,29% em relação ao indicador calculado a partir da do valor de referência, estando a curva simulada advinda da **Base Fotogramétrica 1 na cota restituída de 130 m, dentro do limite estabelecido**. Os valores apresentados para as curvas em questão se forem analisados somente numericamente, podem ser interpretados de forma equivocada, principalmente por ter, o advindo da restituição, um valor subestimado e apresentar, como consequência, somente uma maior área simulada alagada. O mesmo deve ser analisado em conjunto com os mapas apresentados antes de recorrer a maiores estudos para verificação da viabilidade econômica do projeto, para que o mesmo não seja inviabilizado. A recomendação é de que seja levado em consideração o contorno da curva restituída de 130 m, que se apresentou mais coerente com a curva de referência em todo o percurso da linha de alagamento, o que assegura a utilização da citada curva, principalmente por não ter apresentado inúmeras lhas, como foi o caso da curva simulada a partir da cota de 128,5 m.

De acordo com os indicadores apresentados no Quadro 12, não houve diferença significativa no indicador calculado, apenas -3,64 % em relação ao valor de referência, estando a curva simulada advinda da

Base Cartográfica 1 na cota simulada de 128,5 m, dentro do limite estabelecido. Em relação a cota simulada de 130 m, houve uma diferença de -9,54 % em relação ao indicador calculado a partir da do valor de referência, estando a curva simulada advinda da **Base Cartográfica 1 na cota simulada de 130 m, dentro do limite estabelecido.** Os valores apresentados, se analisados somente numericamente, podem ser equivocadamente interpretados, por serem superestimados e apresentarem conseqüentemente uma menor área simulada alagada. Os valores devem ser analisados em conjunto com os mapas apresentados antes de recorrer a maiores estudos para verificação da viabilidade econômica do projeto, para que o mesmo não seja inviabilizado devido a descontinuidade das curvas simuladas (o que ocorre devido a limitação e ausência de curvas de nível na base utilizada nas proximidades de cursos de água).

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa acima do tolerável, 54,00 % em relação ao valor de referência, estando a curva simulada advinda da **Base SRTM 1 na cota simulada de 130 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor superestimado e uma área alagada subestimada, sem contar as inúmeras ilhas geradas. A grande diferença verificada se deve ao fato da limitação do modo de obtenção da cena que gerou o modelo, não sendo aconselhável seu uso em áreas de relevos ondulados. Em relação à **Base SRTM 1 da UHEPSJ, na cota resimulada de 135 m,** houve uma diferença de -15,20 % em relação ao valor de referência, estando a curva resimulada de 135 m **dentro do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa acima do tolerável, 39,87 % em relação ao valor de referência, estando a curva simulada advinda da **Base ASTER 1 na cota simulada de 130 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor superestimado e uma área alagada subestimada, sem contar as inúmeras ilhas geradas. A grande diferença verificada se deve ao fato da limitação do modo de obtenção da imagem que gerou o modelo, não sendo aconselhável seu uso em áreas de relevos ondulados. Em relação à **Base ASTER 1 da UHEPSJ, na cota resimulada de 135 m,** houve uma diferença de -22,94 % em relação ao valor de referência, estando a curva resimulada de 135 m **fora do limite estabelecido.**

De acordo com os indicadores apresentados no Quadro 12, não houve diferença significativa nos indicadores calculados, apenas 2,41 % e 2,68

%, respectivamente para a cota simulada e restituída em 345 m em relação ao valor de referência apresentado no Quadro 11, estando as curvas advindas da **Base Fotogramétrica 2, dentro do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa muito acima do tolerável, -51,69 % em relação ao valor de referência, estando a curva simulada advinda da **Base Cartográfica 2, na cota simulada de 345 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor subestimado devido a área alagada superestimada. A grande diferença apresentada se deve, provavelmente, a limitação de informação e ausência de curvas de nível na base 1:100000 utilizada, principalmente nas proximidades de cursos de água. Em relação à **Base Cartográfica 2 da UHESD, na cota resimulada de 340 m,** houve uma diferença de -41,40 % em relação ao valor de referência, estando a curva resimulada de 340 m **fora do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa acima do tolerável, 79,16 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva simulada advinda da **Base SRTM 2, na cota simulada de 345 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor superestimado devido a sua área alagada subestimada, sem contar as inúmeras ilhas geradas. A grande diferença verificada se deve ao fato da limitação do modo de obtenção da cena que gerou o modelo, não sendo aconselhável seu uso próximo a cursos de água. Em relação à **Base SRTM 2 da UHESD, na cota resimulada de 350 m,** houve uma diferença de 7,38 % em relação ao valor de referência, estando a curva resimulada de 350 m **dentro do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa muito acima do tolerável, 245,02 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva simulada advinda da **Base ASTER 2, na cota simulada de 345 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor superestimado devido a sua área alagada subestimada, sem contar as inúmeras ilhas geradas. A grande diferença verificada se deve ao fato da limitação do modo de obtenção da imagem que gerou o modelo, não sendo aconselhável seu uso próximo a cursos de água. Em relação à **Base ASTER 2 da UHESD, na cota resimulada de 352 m,** houve uma diferença de 25,27 % em relação ao valor de referência, estando a curva resimulada de 352 m **fora do limite**

estabelecido.

De acordo com os indicadores apresentados no Quadro 12, não houve diferença significativa no indicador calculado, apenas -0,57 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva advinda da **Base Fotogramétrica 3 na cota simulada de 872 m, dentro do limite estabelecido.** Em relação a cota restituída de 870 m, houve uma diferença de 41,06 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva advinda da **Base Fotogramétrica 3 na cota restituída de 870 m, fora do limite estabelecido.** Em relação a cota resimulada de 875 m, houve uma diferença de -25,73 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva advinda da **Base Fotogramétrica 3 na cota resimulada de 875 m, fora do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve uma diferença de -81,20 % em relação ao valor de referência, estando a curva advinda da **Base Cartográfica 3, na cota resimulada de 880 m, fora do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa muito acima do tolerável, 239,50 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva advinda da **Base SRTM 3 na cota simulada de 870 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor superestimado devido a sua área alagada subestimada. A grande diferença verificada se deve ao fato da limitação do modo de obtenção da cena que gerou o modelo, não sendo aconselhável seu uso próximo a cursos de água. De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12, houve diferença significativa acima do tolerável, -47,26 % em relação ao valor de referência, estando a curva advinda da **Base SRTM 3 na cota resimulada de 880 m, fora do limite estabelecido.**

De acordo com o indicador apresentado no Quadro 12 diferença significativa muito acima do tolerável, 133,82 % em relação ao valor de referência apresentado, estando a curva advinda da **base ASTER 3 na cota simulada de 870 m, fora do limite estabelecido.** O indicador apresenta um valor superestimado devido a sua área alagada subestimada. A grande diferença verificada se deve ao fato da limitação do modo de obtenção da cena que gerou o modelo, não sendo aconselhável seu uso próximo a cursos de água. De acordo com os

indicadores apresentados no Quadro 12 não houve diferença significativa acima do tolerável no indicador calculado, apenas 11,40 %, em relação ao valor de referência, estando a curva advinda da **Base ASTER 3 da PCHCOX, na cota resimulada de 876 m, dentro do limite estabelecido.**

4.4.6 Método de Avaliação Morfológica – Considerações

Em relação à **área de estudo 1 da UHEPSJ**, que apresenta um relevo mais ondulado, os resultados apresentados pela curva simulada extraída, a partir do MDE da **Base Fotogramétrica 1**, que possui curvas de nível equidistantes em 5 m, convergiram porque um relevo mais inclinado diminui o espaçamento lateral (distância) entre as curvas de nível e o consequente limite que define a exatidão horizontal, sendo mais difícil, portanto enquadrar as informações horizontais de referência nos produtos testados, pois sobram poucos “espaços”. Nas figuras onde houver a indicação PB significa a apresentação das curvas próximas ao barramento e a indicação DB significa a apresentação das curvas distantes do barramento.

A pequena diferença numérica apresentada na Tabela 65, entre área de referência e área simulada da **base fotogramétrica 1 da UHEPSJ para a cota simulada de 128,5 m**, de apenas 0,25 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um ótimo resultado, pois atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 86,92 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 86 e Figura 87 (onde a linha vermelha é a curva simulada e a linha azul é a curva real), podem ser percebidas pequenas variações próximas ao barramento e algumas consideráveis variações distante no barramento, inclusive com a formação de ilhas. Morfológicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra diferente, em parte, do contorno da curva de referência, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi mais coerente e satisfatório do que o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 66, entre área de referência

e área simulada da **base fotogramétrica 1 da UHEPSJ para a cota restituída de 130 m**, de -19,46 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 82,81 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 88 (onde a linha vermelha é a curva simulada e a linha azul é a curva real), porém, morfologicamente se percebe uma homogeneidade no contorno da curva simulada em comparação com o contorno da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão insatisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

Para a **base fotogramétrica 1 da UHEPSJ**, embora os resultados advindos da cota simulada 128,5 m, apresentados na Tabela 56 pareçam convergir para um melhor resultado em termos numéricos, do que os resultados apresentados, em contrapartida, da cota restituída de 130 m da Tabela 57, visualmente a curva formada pela cota simulada de 128,5 m (Figura 86 e Figura 87) apresentou um contorno menos homogêneo quando comparado com a cota restituída de 130 m (Figura 54) O contorno formado pela cota restituída de 130 m se apresentou, desde o seu início (local de barramento) até o final, morfologicamente de acordo com a curva de referência mais próximo ao barramento. Já a curva formada pela cota simulada de 128,5 m se apresentou, no seu início (local de barramento, à esquerda na figura) até antes do último quarto da barragem, também, morfologicamente de acordo com a curva de referência, porém apresentou inúmeras ilhas no final do barramento (à direita da figura), o que pode sugerir um corte no alagamento anterior ao consolidado no final.

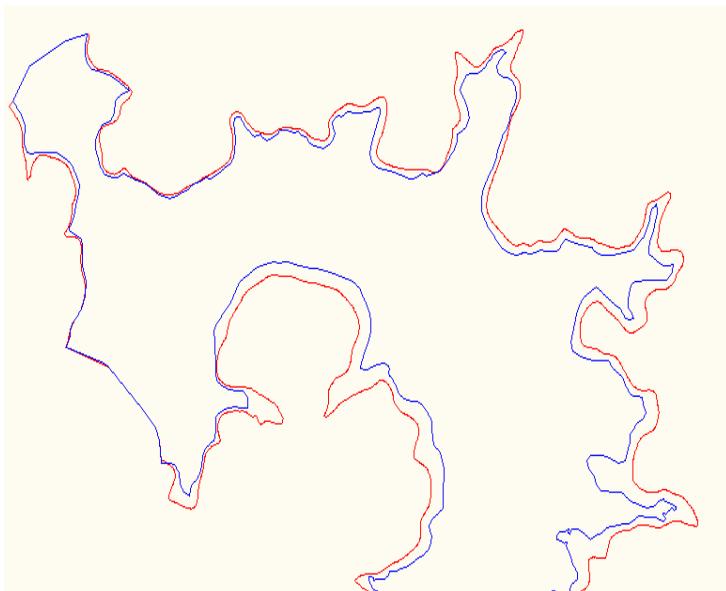


FIGURA 86: UHEPSJ – Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m (PB).

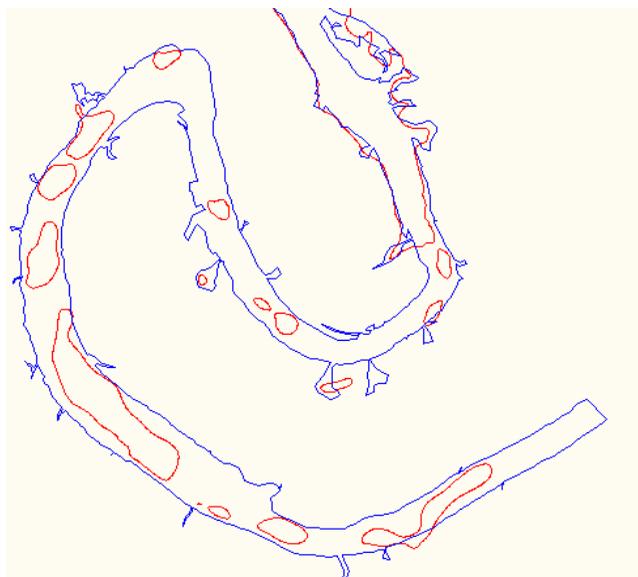


FIGURA 87: UHEPSJ – Base Fotogramétrica 1 cota simulada 128,5 m (DB).

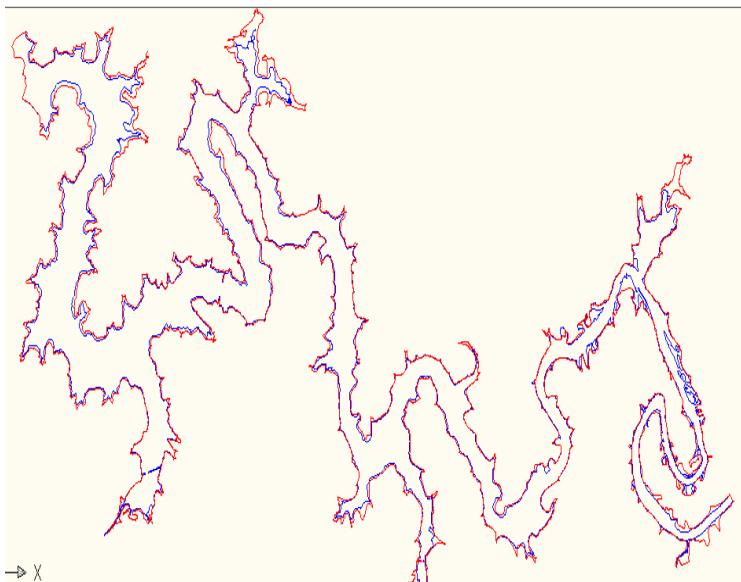


FIGURA 88: UHEPSJ – Base Fotogramétrica 1 cota restituída 130 m.

Em relação à **Base Cartográfica 1 da UHEPSJ**, que possui curvas de nível equidistantes em 20 m, os resultados se justificam porque, apesar do relevo ser mais inclinado e o espaçamento lateral (distância) entre as curvas de nível ser maior, a generalização das curvas de nível provenientes da base utilizada na escala 1:50000 reflete na geração do MDE e na consequente extração das curvas simuladas, que apresentaram um contorno também generalizado, apesar de coerentes com a curva de referência.

A diferença numérica apresentada na Tabela 67, entre área de referência e área simulada da **base cartográfica 1 da UHEPSJ para a cota simulada de 128,5 m**, de -3,77 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um ótimo resultado, pois atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 64,16 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 89 e a Figura 90 (onde a Lina vermelha é a curva simulada e a linha azul é a curva real), podem ser percebidas pequenas variações próximas ao barramento e algumas consideráveis variações distante no barramento, inclusive com a

formação de ilhas e uma interrupção da curva simulada. Morfologicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra diferente, em parte, do contorno da curva de referência, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi mais coerente e satisfatório do que o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 68, entre área de referência e área simulada da **base cartográfica 1 da UHEPSJ para a cota simulada de 130 m**, de -10,56 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 62,66 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 91 e Figura 92 (onde a linha vermelha é a curva simulada e a linha azul é a curva real), porém, morfologicamente se percebe uma homogeneidade no contorno da curva simulada em comparação com o contorno da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão insatisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

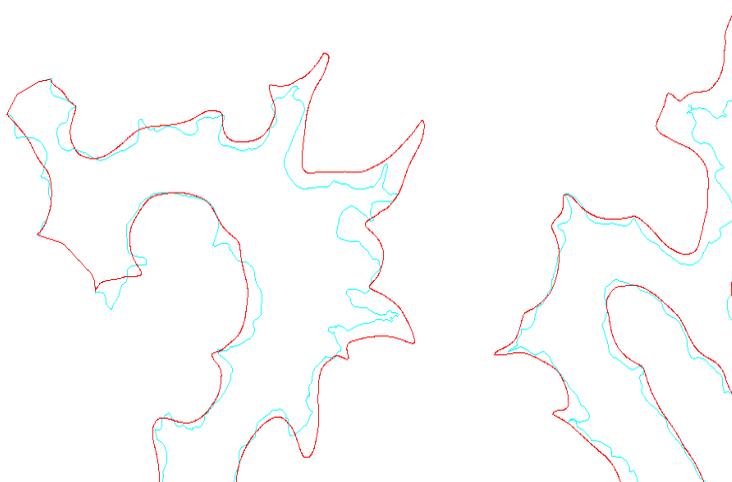


FIGURA 89: UHEPSJ – Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m (PB).

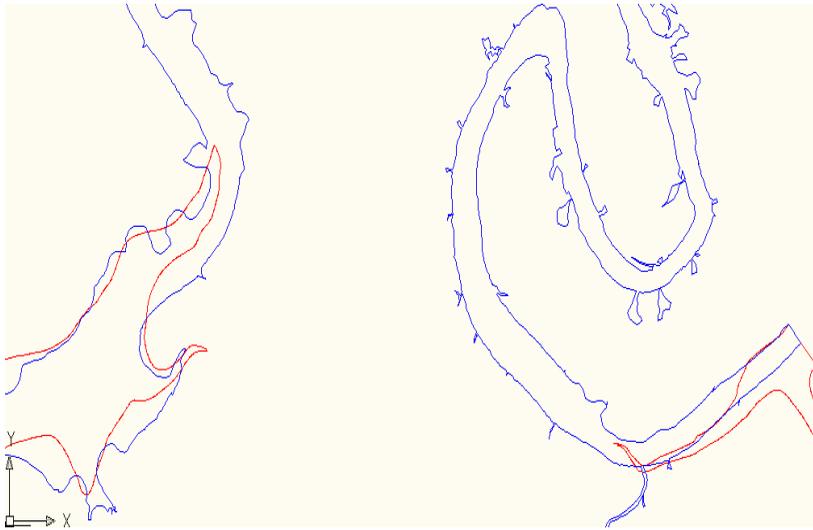


FIGURA 90: UHEPSJ – Base Cartográfica 1 cota simulada 128,5 m (DB).

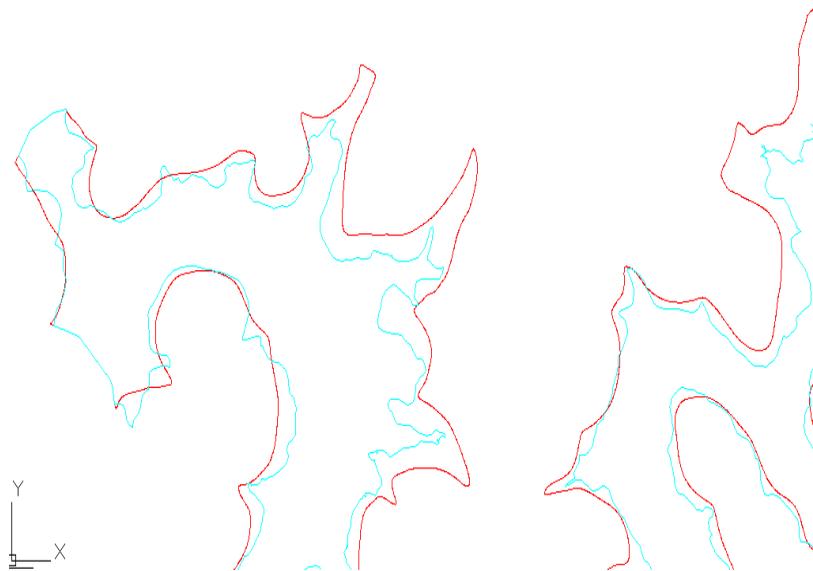


FIGURA 91: UHEPSJ – Base Cartográfica 1 cota simulada 130 m (PB).

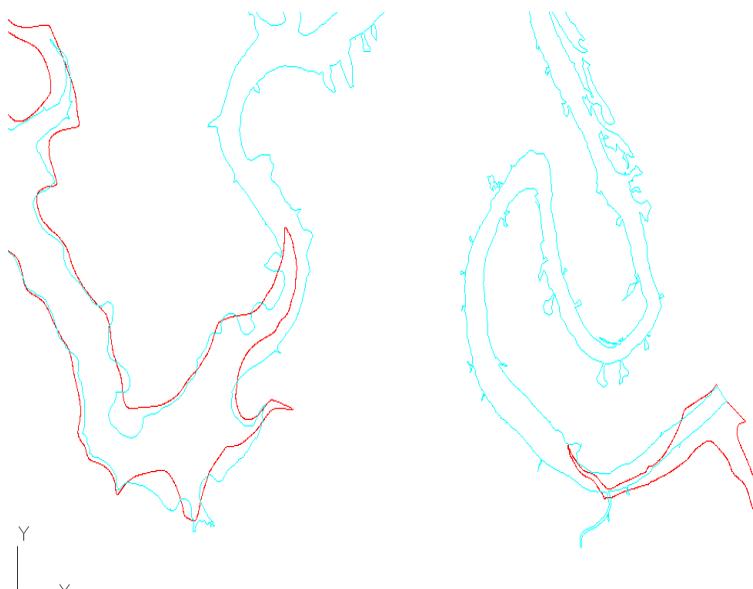


FIGURA 92: UHEPSJ – Base Cartográfica cota simulada 130 m (DB).

A diferença numérica apresentada na Tabela, entre área de referência e área simulada da **base SRTM 1 da UHEPSJ para a cota simulada de 130 m**, de -35,02 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 55,15 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 93 e a Figura 94 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 70, entre área de referência e área simulada da **Base SRTM 1 da UHEPSJ para a cota resimulada de 135 m**, de -17,93 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de

qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 65,05 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 95 e a Figura 96 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfológicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

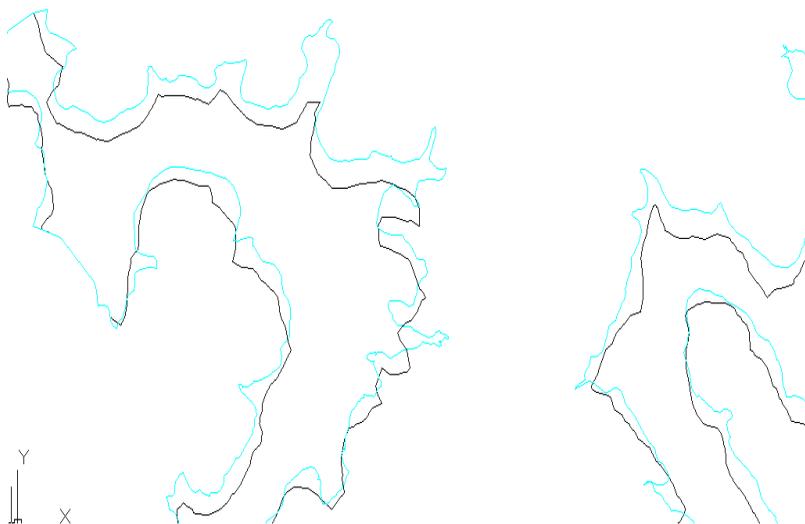


FIGURA 93: UHEPSJ – Base SRTM 1 cota simulada 130 m (PB).

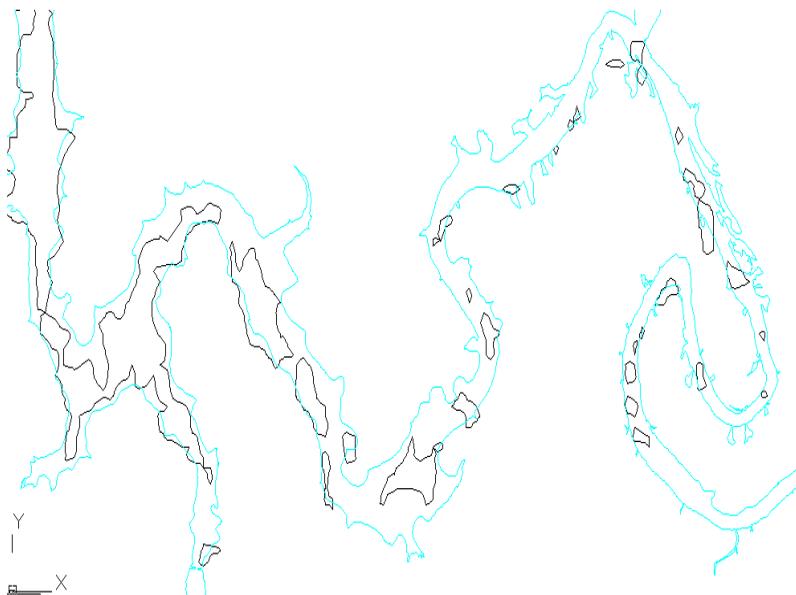


FIGURA 94: UHEPSJ – Base SRTM 1 cota simulada 130 m (DB).

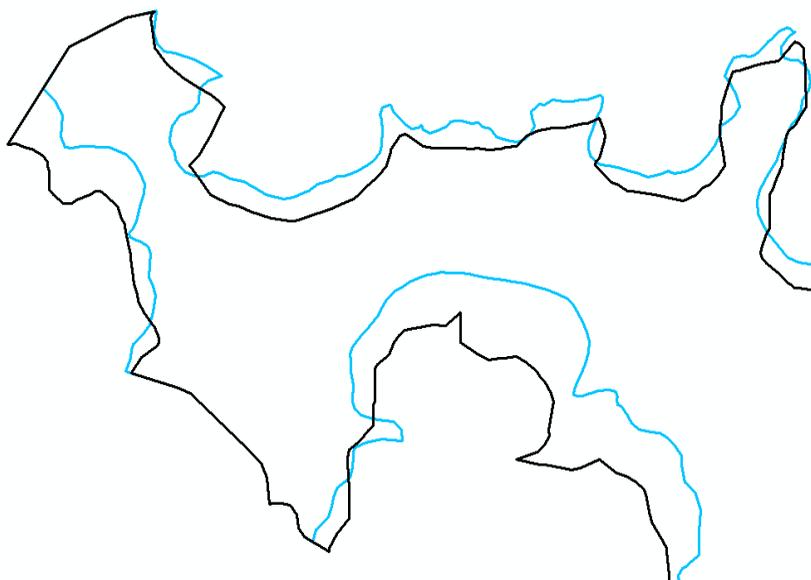


FIGURA 95: UHEPSJ – Base SRTM 1 cota resimulada 135 m (PB).

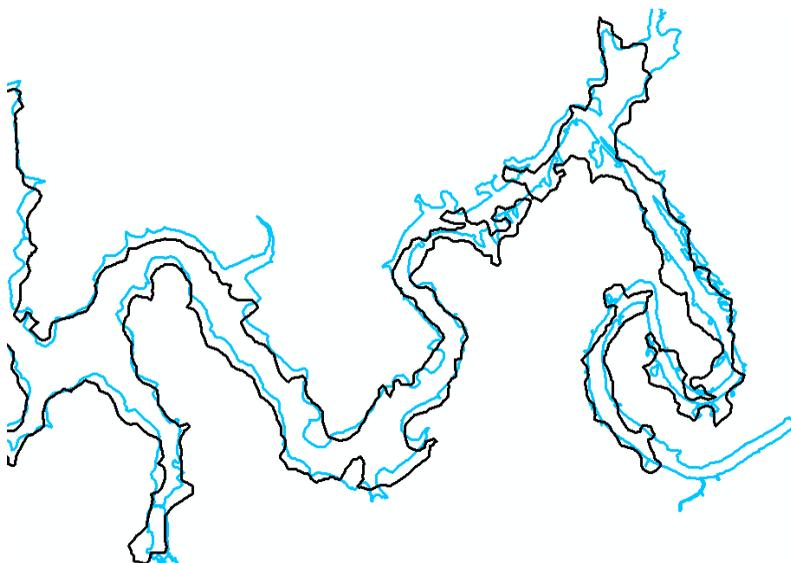


FIGURA 96: UHEPSJ – Base SRTM 1 cota resimulada 135 m (DB).

A diferença numérica apresentada no Tabela 71, entre área de referência e área simulada da **base ASTER 1 da UHEPSJ para a cota simulada de 130 m**, de 23,46 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 49,87 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 97 e a Figura 98 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 72, entre área de referência e área simulada da **base ASTER 1 da UHEPSJ para a cota resimulada de 135 m**, de -29,77 %, se for observada numericamente

pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 53,26 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 99 e a Figura 100 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

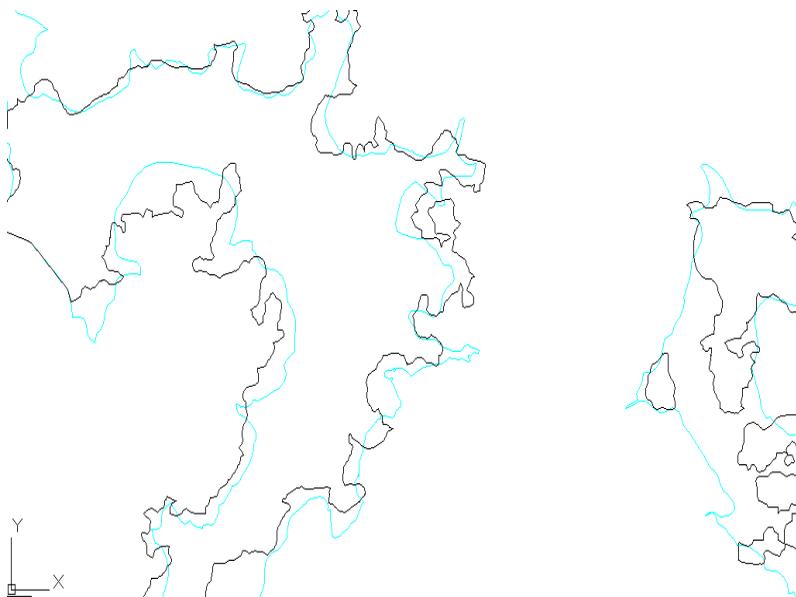


FIGURA 97: UHEPSJ – Base ASTER 1 cota simulada 130 m (PB).

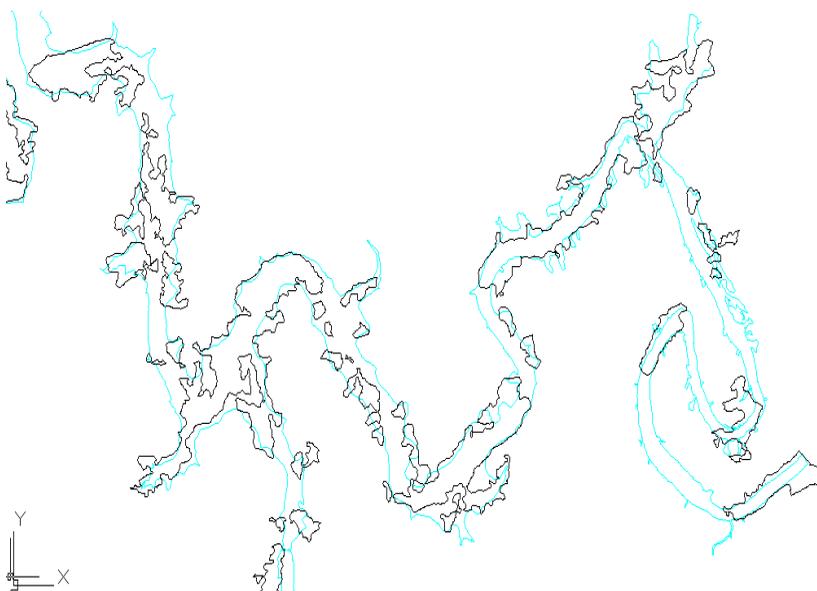


FIGURA 98: UHEPSJ – Base ASTER 1 cota simulada 130 m (DB).

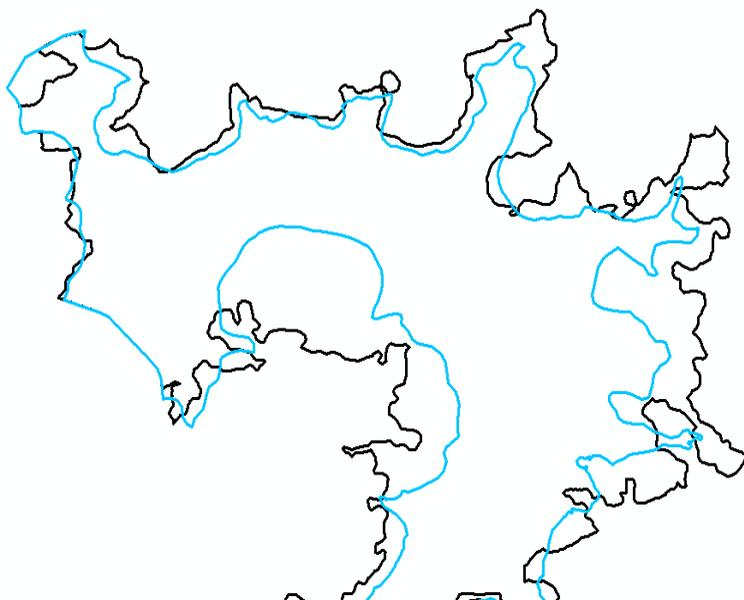


FIGURA 99: UHEPSJ – Base ASTER 1 cota resimulada 135 m (PB).

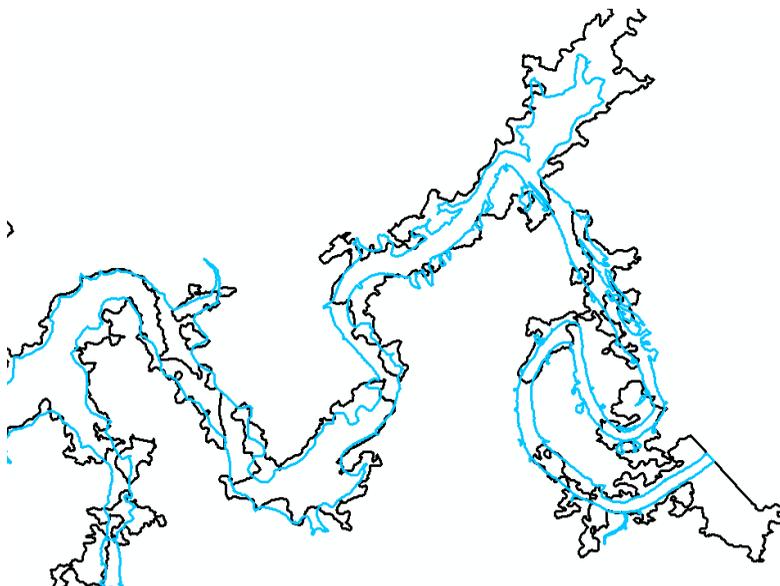


FIGURA 100: UHEPSJ – Base ASTER 1 cota resimulada 135 m (DB).

Em relação à **área de estudo 2 da UHESD**, que apresenta um relevo levemente ondulado, os resultados apresentados pela curva simulada, extraída a partir do MDE da **Base Fotogramétrica 2**, que possui curvas de nível equidistantes em 5 m, se justificam porque uma das curvas de nível restituída era exatamente a curva 345 (análoga à curva de referência), o que diminui os erros provenientes de interpolações e generalizações realizadas.

A pequena diferença numérica apresentada na Tabela 73, entre área de referência e área simulada da **base fotogramétrica 2 da UHESD na cota simulada de 345 m**, de apenas 2,34 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um ótimo resultado, pois atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 91,81 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 101 (onde a linha vermelha é a curva simulada e a linha azul é a curva real), pode ser percebida a homogeneidade na formação da curva simulada em relação à curva de referência. Morfologicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra semelhante com o contorno da curva de

referência em todo o percurso, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi menos coerente e satisfatório do que o cálculo somente numérico realizado no método absoluto. Da mesma forma, para a **curva restituída na cota 345 m da base fotogramétrica 2**, os resultados morfológicos são os mesmos, com as diferenças somente em alguns números, apenas 2,61 % de diferença no método absoluto e de 91,74 % no método relativo, de acordo com a Tabela 74. Ver apresentação das curvas na Figura 102 (onde a linha vermelha é a curva simulada e a linha azul é a curva real).

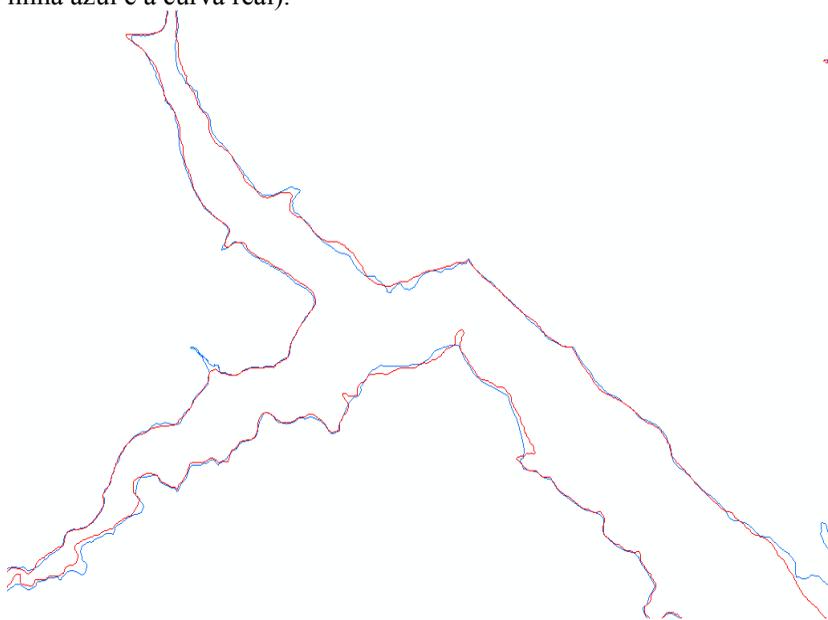


FIGURA 101: UHESD – Base Fotogramétrica 2 cota simulada 345 m (detalhe).

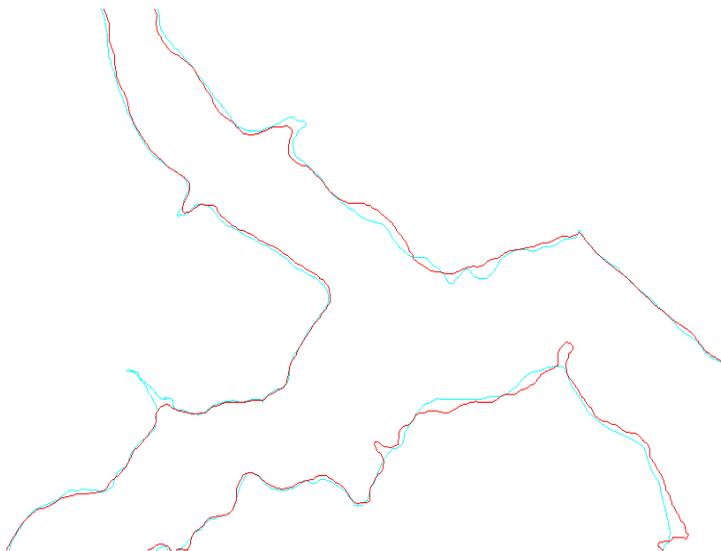


FIGURA 102: UHESD – Base Fotogramétrica 2 cota restituída 345 m (detalhe).

A diferença numérica apresentada na Tabela 75, entre área de referência e área simulada da **Base Cartográfica 2 da UHESD para a cota simulada de 345 m**, de -106,98 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 41,43 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 105 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfológicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos da curva simulada extrapolam para mais quase a totalidade do contorno da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 76, entre área de referência e área simulada da **Base Cartográfica 2 da UHESD para a cota resimulada de 340 m**, de -70,76 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o

critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 44,32 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 104 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos da curva simulada extrapolam para mais quase a totalidade do contorno da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

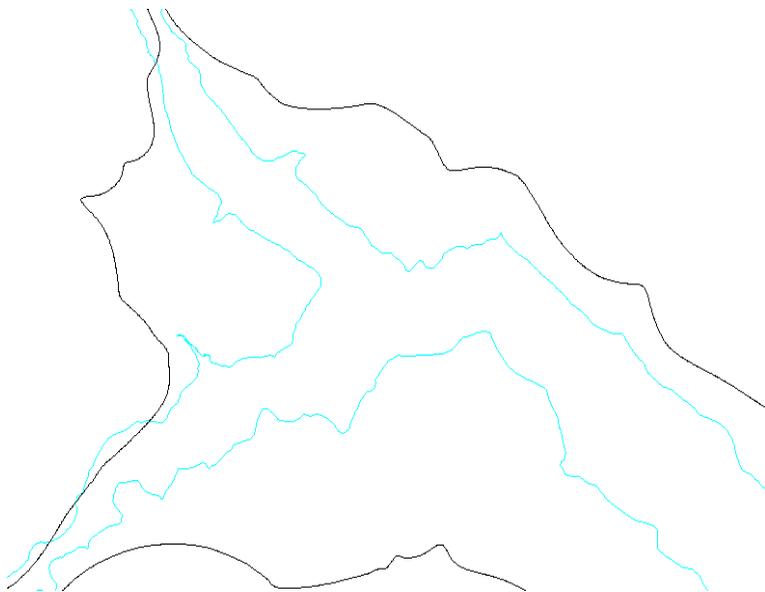


FIGURA 103: UHESD – Base Cartográfica 2 cota simulada 345 m (detalhe).

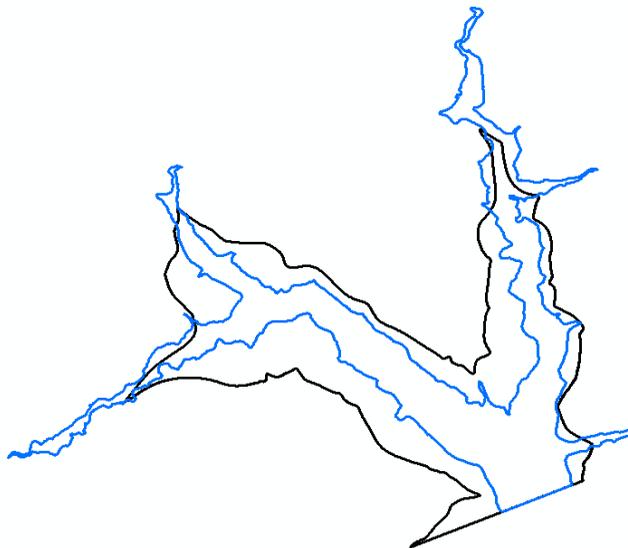


FIGURA 104: UHESD – Base Cartográfica 2 cota resimulada 340 m.

A diferença numérica apresentada na Tabela 77, entre área de referência e área simulada da **Base SRTM 2da UHESD para a cota simulada de 345 m**, de 44,18 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 55,26 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 105 e a Figura 106 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 78, entre área de referência e área simulada da **Base SRTM 2da UHESD para a cota resimulada de 350 m**, de 6,87 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de

qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 79,54 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 105 e a Figura 106(onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados não convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada são semelhantes aos contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi insatisfatório em relação ao cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

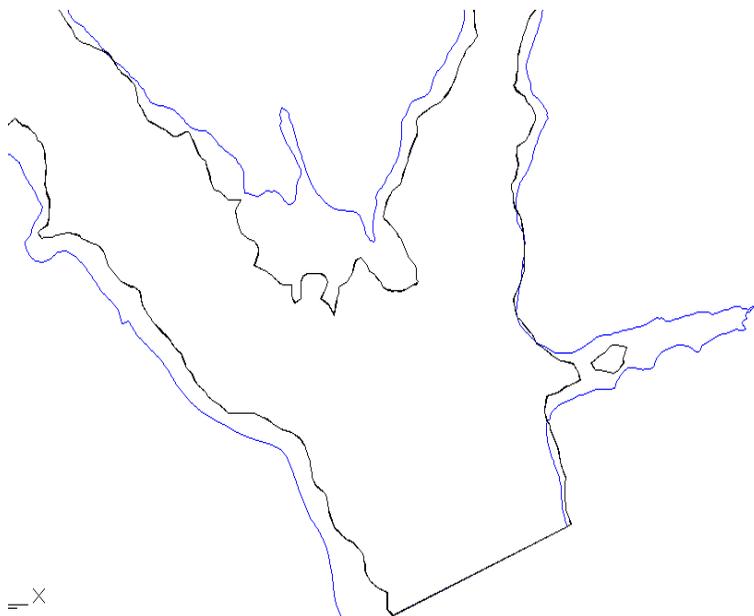


FIGURA 105: UHESD – Base SRTM 2 cota simulada 345 m (PB).

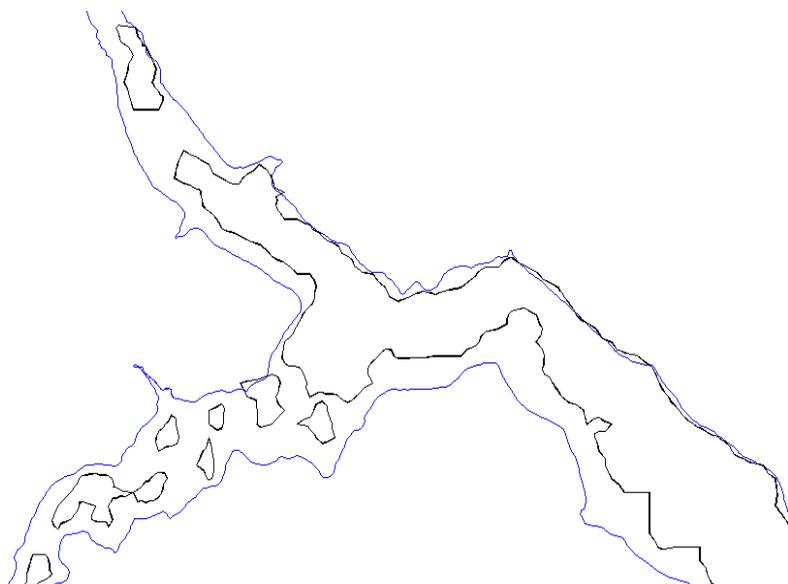


FIGURA 106: UHESD – Base SRTM 2 cota simulada 345 m (DB).

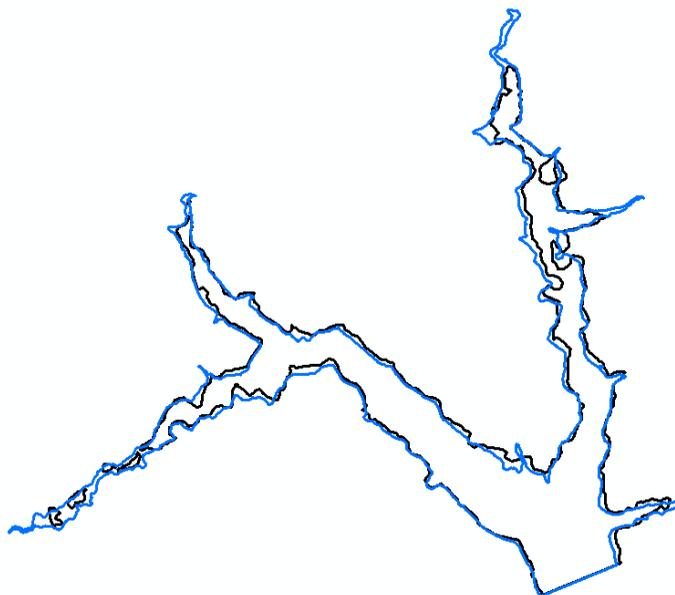


FIGURA 107: UHESD – Base SRTM 2 cota resimulada 350 m.

A diferença numérica apresentada na Tabela 79, entre área de referência e área simulada da **Base ASTER 2da UHESD para a cota simulada de 345 m**, de 71,01 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 28,93 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 108 e a Figura 109 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 80, entre área de referência e área simulada da **Base ASTER 2da UHESD para a cota resimulada de 352 m**, de 20,17 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 68,78 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 110 e a Figura 111 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois os contornos apresentados pela curva simulada não são semelhantes como os contornos da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

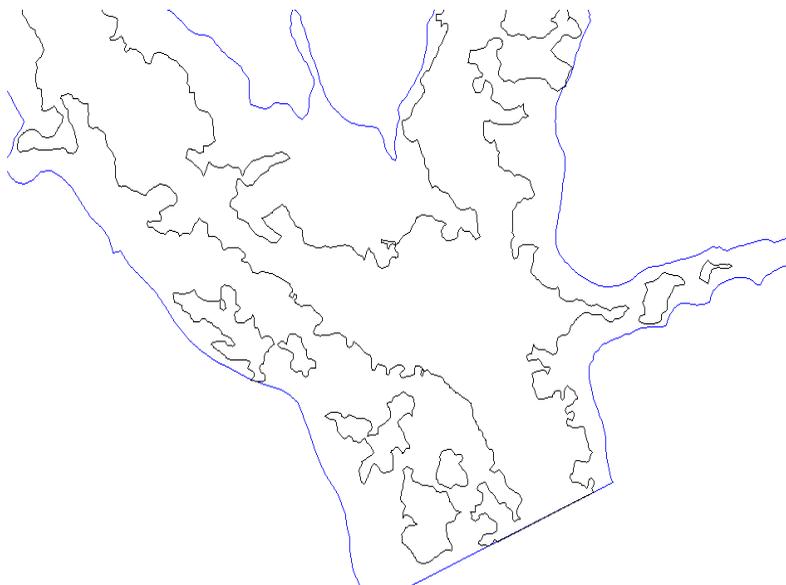


FIGURA 108: UHESD – Base ASTER 2 cota simulada 345 m (PB).

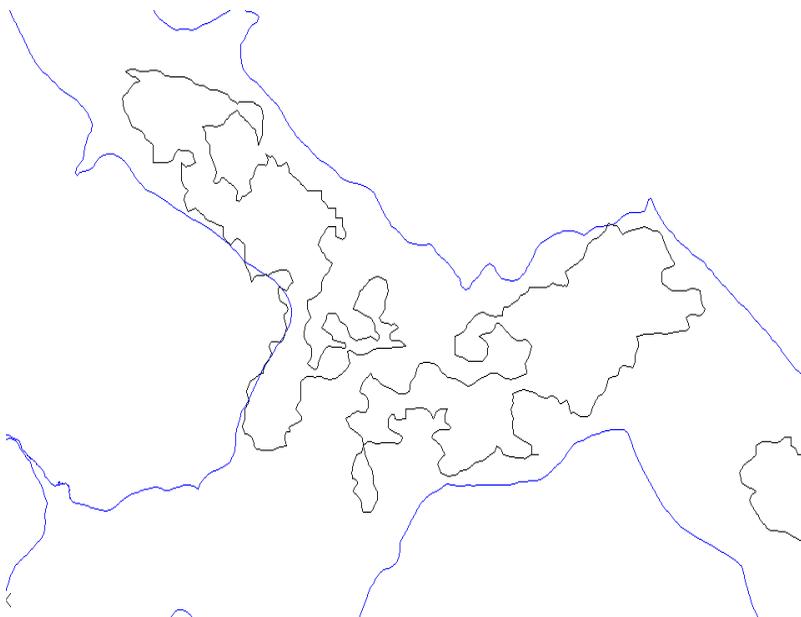


FIGURA 109: UHESD – Base ASTER 2 cota simulada 345 m (DB).

Em relação à **área de estudo 3 da PCHCOX**, que apresenta um relevo ondulado, os resultados apresentados pela curva simulada na cota 872 m, extraída a partir do MDE da **Base Fotogramétrica 3**, que possui curvas de nível equidistantes em 10 m, se justificam porque uma das curvas de nível restituída (870 m) era muito próxima da curva extraída (872 m), o que diminui os erros provenientes de interpolações e generalizações realizadas.

A diferença numérica apresentada na Tabela 81, entre área de referência e área simulada **base fotogramétrica 3 da PCHCOX para a cota simulada de 872 m**, de -0,57 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um ótimo resultado, pois atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 73,13 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 112 e a Figura 113 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que a curva simulada acompanha o desenho da curva de referência, em parte, com algumas discrepâncias, tanto próximo quanto distante do local do barramento. Morfologicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra semelhante com o contorno da curva de referência, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi menos coerente e satisfatório do que o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 82, entre área de referência e área simulada **base fotogramétrica 3 da PCHCOX para a cota restituída de 870 m**, de 29,10 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 66,44 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 114 e a Figura 115 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que a curva simulada acompanha o desenho da curva de referência, em parte, com algumas discrepâncias para dentro, tanto próximo quanto distante do local do barramento. Morfologicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra menor que o contorno da curva de referência, donde se conclui que, tanto o cálculo da porcentagem de área comum

realizado através do método relativo, quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto foram convergentes.

A diferença numérica apresentada na Tabela 83, entre área de referência e área simulada **base fotogramétrica 3 da PCHCOX para a cota resimulada de 875 m**, de -34,66 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 65,35 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 116 e a Figura 117 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que a curva simulada acompanha o desenho da curva de referência, com algumas discrepâncias tanto próximo quanto distantes do local do barramento. Morfologicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra maior que o contorno da curva de referência, donde se conclui que, tanto o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo, quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto foram convergentes.

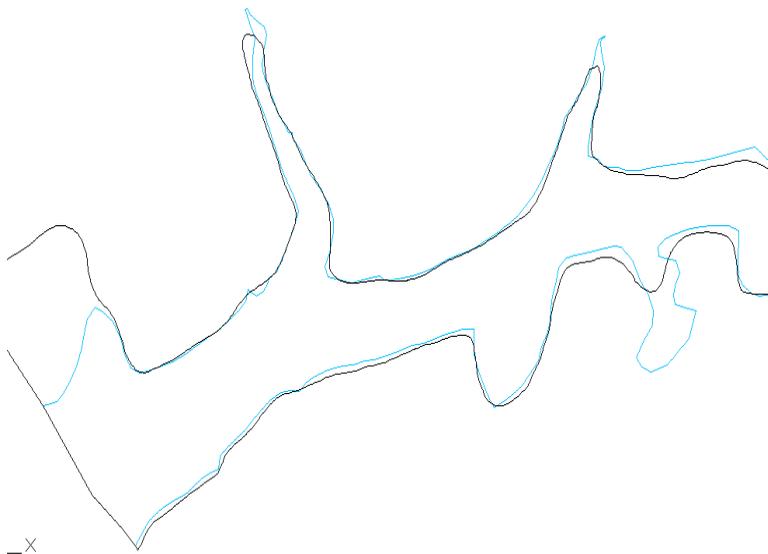


FIGURA 112: PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m (PB).

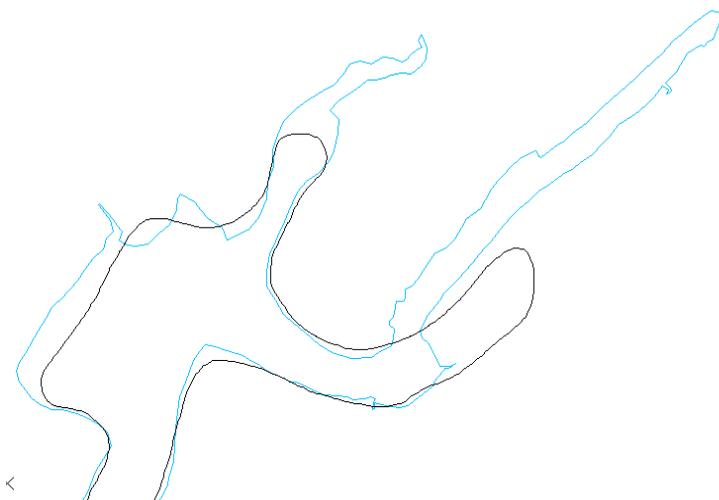


FIGURA 113: PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota simulada 872 m (DB).



FIGURA 114: PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m (PB).

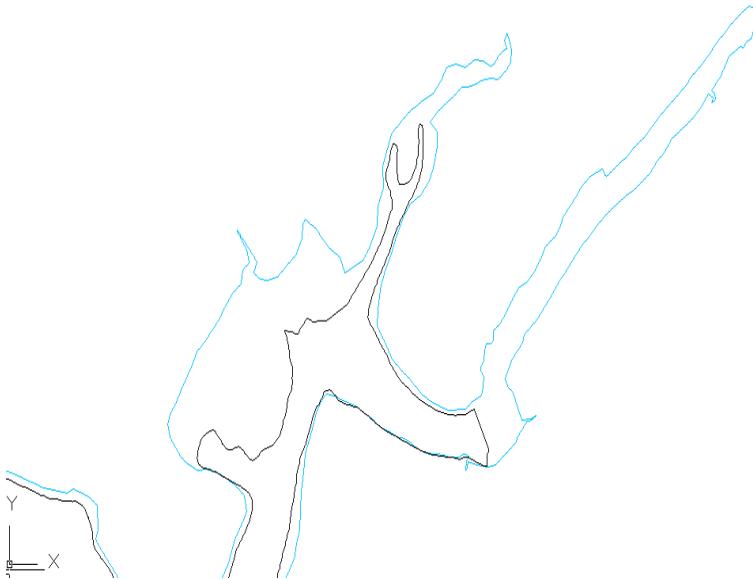


FIGURA 115: PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota restituída 870 m (DB).

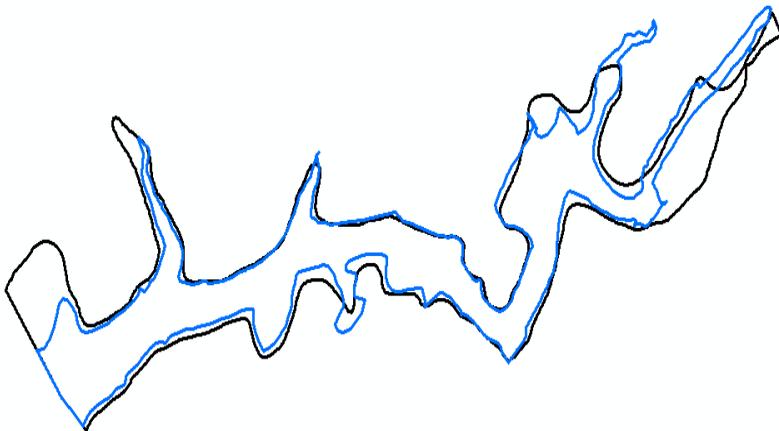


FIGURA 116: PCHCOX – Base Fotogramétrica 3 cota resimulada 875 m.

Para a **base cartográfica 3 da PCHCOX para a cota simulada de 872 m**, por sua curva simulada não ter acompanhado em nenhuma parte a curva de referência, não foi calculada diferença para esta base. Ver Figura 117 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real).

A diferença numérica apresentada na Tabela 84, entre área de referência e área simulada **base cartográfica 3 da PCHCOX para a cota resimulada de 880 m**, de -431,83 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado péssimo, pois não atendeu um critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. Já a porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 18,76 %, pode ser considerado numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 117 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que a curva simulada não acompanha o desenho da curva de referência em nenhuma parte. Morfologicamente, o contorno apresentado pela curva simulada se mostra maior que o contorno da curva de referência em todo percurso, donde se conclui que, tanto o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo, quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto foram convergentes.



FIGURA 117: PCHCOX – Base Cartográfica 3 cota simulada 870 m.

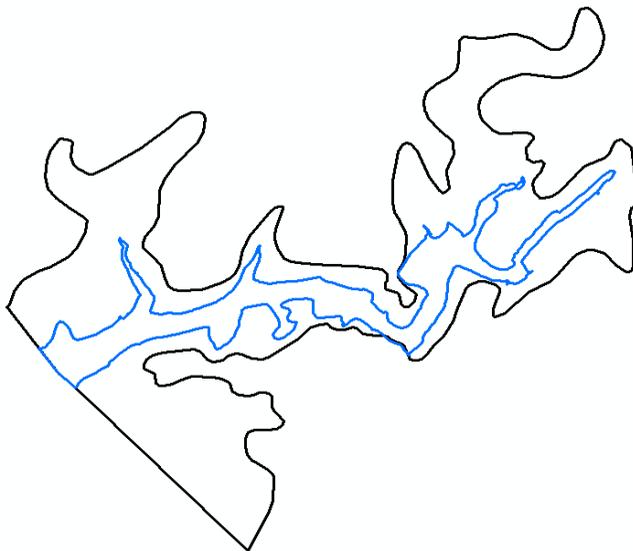


FIGURA 118: PCHCOX – Base Cartográfica 3 cota resimulada 880 m.

A diferença numérica apresentada na Tabela 85, entre área de referência e área simulada da **Base SRTM 3da PCHCOX para a cota simulada de 870 m**, de 70,55 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 15,92 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 119 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfológicamente e numericamente os resultados convergem, pois o contorno apresentado pela curva simulada se mostrou menor e muito diferente ao da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 86, entre área de referência e área simulada da **Base SRTM 3da PCHCOX para a cota resimulada de 880 m**, de -89,62 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o

critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 34,33 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 120 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfológicamente e numericamente os resultados convergem, pois o contorno apresentado pela curva simulada se mostrou maior e deslocado em relação ao contorno da curva de referência por toda a barragem, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

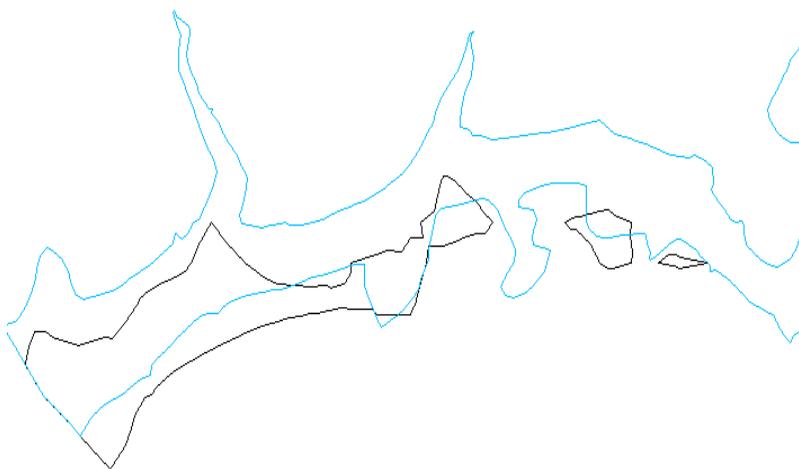


FIGURA 119: PCHCOX – Base SRTM 3 cota simulada 870 m (PB).

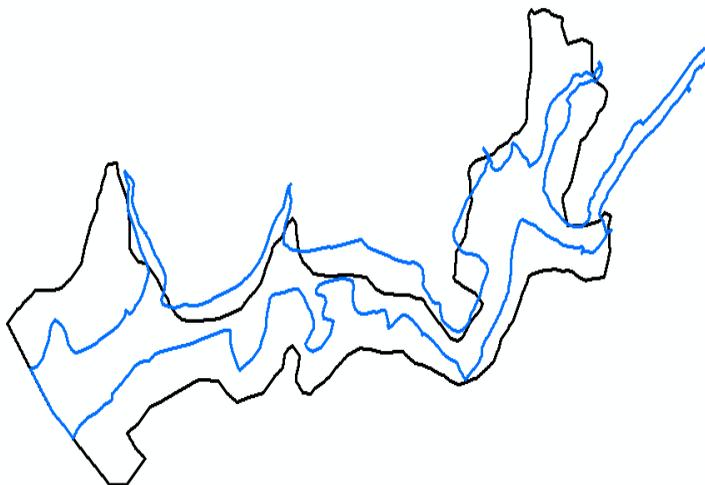


FIGURA 120: PCHCOX – Base SRTM 3 cota resimulada 880 m.

A diferença numérica apresentada na Tabela 87, entre área de referência e área simulada da **Base ASTER 3da PCHCOX para a cota simulada de 870 m**, de 57,23 %, se for observada numericamente pode ser considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 15,92 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 121 e a Figura 122 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfologicamente e numericamente os resultados convergem, pois o contorno apresentado pela curva simulada, quando existente, acompanha o desenho da curva de referência, mas apresenta variações para menos em quase todo seu contorno, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

A diferença numérica apresentada na Tabela 87, entre área de referência e área simulada da **Base ASTER 3da PCHCOX para a cota simulada de 870 m**, de 10,23 %, se for observada numericamente pode ser

considerada como um resultado ruim, pois não atendeu o critério de qualidade do Artigo 500 do Código Civil, definido pelo método absoluto proposto. A porcentagem calculada pelo método relativo do mesmo Artigo, ou seja, de área comum formada pelas curvas de referência e simulada, de 44,52 %, pode ser considerado também numericamente insatisfatório. Ao observar a Figura 123 (onde a linha preta é a curva simulada e a linha azul é a curva real), percebe-se que, morfológicamente e numericamente os resultados convergem, pois o contorno apresentado pela curva simulada acompanha, em parte, o desenho da curva de referência, mas apresenta variações ora para mais e ora para menos em quase todo seu contorno, donde se conclui que o cálculo da porcentagem de área comum realizado através do método relativo foi tão satisfatório quanto o cálculo somente numérico realizado no método absoluto.

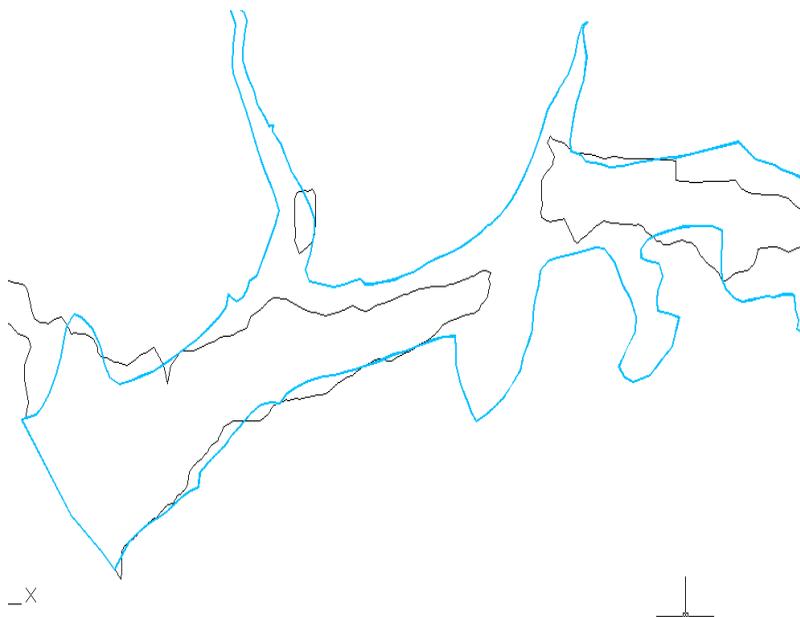


FIGURA 121: PCHCOX – Base ASTER 3 cota simulada 870 m (PB).



FIGURA 122: PCHCOX – Base ASTER 3 cota simulada 870 m (DB).

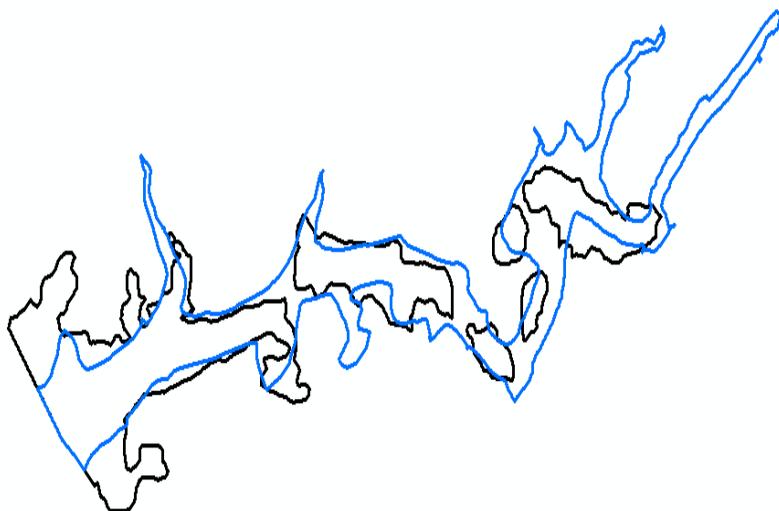


FIGURA 123: PCHCOX – Base ASTER 3 cota resimulada 876 m.

5. RESUMO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Resumo dos Resultados

Os resultados obtidos em todas as avaliações de qualidade, já descritos exhaustivamente nos itens anteriores, estão sendo apresentados de forma resumida, por área de estudo e respectivas bases testadas, com suas tendências sistemáticas, quando existentes no Quadro 13, no Quadro 14 e no quadro 15. Os resultados obtidos depois da retirada parcial da tendência sistemática estão sendo apresentados, também, de forma resumida, no Quadro 16, no Quadro 17 e no Quadro 18.

QUADRO 13: Avaliações de qualidade dos produtos da UHEPSJ.

Enquadramento	Base Fotogramétrica 1		Base Cartográfica 1		Base SRTM 1		Base ASTER 1	
	Simulada 128,5 m	Resituidade 130m	Simulada 128,5 m	Simulada 130 m	Simulada 130 m	Simulada 130 m	Simulada 130 m	Simulada 130 m
PEC altimétrico	Padrão Classe A Exatidão: 2,5 m Precisão: 1,48 m	Padrão Classe A Exatidão: 2,5 m Precisão: 1,48 m	Padrão Classe B Exatidão: 12 m Precisão: 7,52 m	Padrão Classe A Exatidão: 12,5 m Precisão: 4,77 m	Padrão Classe A Exatidão: 12,5 m Precisão: 4,77 m	Padrão Classe A Exatidão: 16 m Precisão: 8,82 m	Padrão Classe A Exatidão: 16 m Precisão: 8,82 m	Padrão Classe A Exatidão: 16 m Precisão: 8,82 m
STANAG vertical	Padrão Classe 1 Exatidão: 3 m Escala 1:15000	Padrão Classe 1 Exatidão: 3 m Escala 1:15000	Padrão Classe 2 Exatidão: 20 m Escala 1:50000	Padrão Classe 1 Exatidão: 16 m Escala 1:80000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000
Teste de Tendência	Média: 0,33 m Sem tendência	Média: 0,33 m Sem tendência	Média: -0,70 m Sem tendência	Média: -7,48 m Com tendência	Média: -7,48 m Com tendência	Média: -5,45 m Com tendência	Média: -5,45 m Com tendência	Média: -5,45 m Com tendência
Código Civil	Diferença: 0,25% Aprovado	Diferença: -19,46% Reprovado	Diferença: -3,77% Aprovado	Diferença: -10,56% Reprovado	Diferença: -10,56% Reprovado	Diferença: 35,06% Reprovado	Diferença: 35,06% Reprovado	Diferença: 23,46% Reprovado
Área Absoluto	Diferença: 13,08% Reprovado	Diferença: 20,64% Reprovado	Diferença: 35,84% Reprovado	Diferença: 37,34% Reprovado	Diferença: 37,34% Reprovado	Diferença: 44,85% Reprovado	Diferença: 44,85% Reprovado	Diferença: 50,13% Reprovado
Área Relativo	Diferença: 18,58% Reprovado	Diferença: 0,72% Aprovado	Diferença: 36,89% Reprovado	Diferença: 34,01% Reprovado	Diferença: 34,01% Reprovado	Diferença: 42,51% Reprovado	Diferença: 42,51% Reprovado	Diferença: -19,15% Reprovado
Código Civil	Diferença: 9,07% Reprovado	Diferença: 2,58% Aprovado	Diferença: 34,56% Reprovado	Diferença: 33,05% Reprovado	Diferença: 33,05% Reprovado	Diferença: 40,67% Reprovado	Diferença: 40,67% Reprovado	Diferença: 18,82% Reprovado
Perímetro Relativo	Diferença: 49,10 % para fora 50,90 % para dentro Aprovado	Diferença: 97,15 % para fora 2,85 % para dentro Aprovado	Diferença: 54,24 % para fora 45,76 % para dentro Aprovado	Diferença: 60,92 % para fora 39,08 % para dentro Aprovado	Diferença: 60,92 % para fora 39,08 % para dentro Aprovado	Diferença: 13,23 % para fora 86,77 % para dentro Reprovado	Diferença: 13,23 % para fora 86,77 % para dentro Reprovado	Diferença: 30,13 % para fora 69,87 % para dentro Reprovado
Morfologia Quantitativa	Até a viabilidade	Até o projeto básico	Até o Inventário Hidrelétrico	Até o Inventário Hidrelétrico	Até o Inventário Hidrelétrico	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
Morfologia Qualitativa	A curva simulada acompanha a curva de referência com formação de ilhas distante do barramento. Áreas comuns em 86,92 % da totalidade.	A curva simulada acompanha a curva de referência sem formação de ilhas. Áreas comuns em 82,81 % da totalidade.	A curva simulada acompanha, em sua maioria, a curva de referência, com uma interrupção distante do barramento. Áreas comuns em 64,16 % da totalidade.	A curva simulada acompanha, em sua maioria, a curva de referência, com uma interrupção distante do barramento. Áreas comuns em 62,66 % da totalidade.	A curva simulada acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 55,15 % da	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas

Indicador de M&P	Indicador: 30,59 Aprovado	Indicador: 25,54 Aprovado	Indicador: 29,40 Aprovado	Indicador: 27,60 Aprovado	Indicador: 46,98 Reprovado	comuns em 49,87 % da totalidade. Indicador: 40,23 Reprovado
-----------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--

QUADRO 14: Avaliações de qualidade dos produtos da UHESD.

Enquadramento	Base Fotogramétrica 2		Base Cartográfica 2		Base SRTM 2		Base ASTER 2	
	Simulada 345 m	Restituída 345 m	Simulada 345 m	Simulada 345 m	Simulada 345 m	Simulada 345 m	Simulada 345 m	Simulada 345 m
PEC altimétrico	Padrão Classe A Exatidão: 2,5 m Precisão: 1,52 m	Padrão Classe B Exatidão: 24 m Precisão: 15,82 m	Padrão Classe A Exatidão: 24 m Precisão: 3,24 m	Padrão Classe A Exatidão: 10 m Precisão: 3,24 m	Padrão Classe A Exatidão: 10 m Precisão: 3,24 m	Padrão Classe A Exatidão: 14 m Precisão: 3,55 m	Padrão Classe A Exatidão: 14 m Precisão: 3,55 m	Padrão Classe A Exatidão: 14 m Precisão: 3,55 m
STANAG vertical	Padrão Classe 0 Exatidão: 3 m Escala 1:30000	Padrão Classe 2 Exatidão: 40 m Escala 1:100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 16 m Escala 1:80000	Padrão Classe 1 Exatidão: 16 m Escala 1:80000	Padrão Classe 1 Exatidão: 16 m Escala 1:80000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1:100000
Teste de Tendência	Média: -0,66 m Sem tendência	Média: 4,15 m Com tendência	Média: -6,49 m Com tendência	Média: -6,49 m Com tendência	Média: -6,49 m Com tendência	Média: -8,16 m Com tendência	Média: -8,16 m Com tendência	Média: -8,16 m Com tendência
Código Civil Área Absoluto	Diferença: 2,34% Aprovado	Diferença: 2,61% Aprovado	Diferença: -106,98% Reprovado	Diferença: -106,98% Reprovado	Diferença: -106,98% Reprovado	Diferença: 23,46% Reprovado	Diferença: 23,46% Reprovado	Diferença: 23,46% Reprovado
Código Civil Área Relativo	Diferença: 8,19% Reprovado	Diferença: 8,16% Reprovado	Diferença: 58,57% Reprovado	Diferença: 58,57% Reprovado	Diferença: 44,74% Reprovado	Diferença: 50,13% Reprovado	Diferença: 50,13% Reprovado	Diferença: 50,13% Reprovado
Código Civil Perímetro Absoluto	Diferença: -1,64% Aprovado	Diferença: 0,19% Aprovado	Diferença: 31,19% Reprovado	Diferença: 31,19% Reprovado	Diferença: 29,80% Reprovado	Diferença: -19,15% Reprovado	Diferença: -19,15% Reprovado	Diferença: -19,15% Reprovado
Código Civil Perímetro Relativo	Diferença: 3,82% Aprovado	Diferença: 4,24% Aprovado	Diferença: 6,43% Reprovado	Diferença: 6,43% Reprovado	Diferença: 30,28% Reprovado	Diferença: 18,82% Reprovado	Diferença: 18,82% Reprovado	Diferença: 18,82% Reprovado
Morfologia Quantitativa	Diferença: 36,16 % para fora 6384 % para dentro Aprovado	Diferença: 34,69 % para fora 65,31 % para dentro Aprovado	Diferença: 92,08 % para fora 7,92 % para dentro Reprovado	Diferença: 92,08 % para fora 7,92 % para dentro Reprovado	Diferença: 0,80 % para fora 99,20 % para dentro Reprovado	Diferença: 0,06 % para fora 99,94 % para dentro Reprovado	Diferença: 0,06 % para fora 99,94 % para dentro Reprovado	Diferença: 0,06 % para fora 99,94 % para dentro Reprovado
Etapa de projeto	Até o projeto básico	Até o projeto básico	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
Morfologia Qualitativa	A curva simulada acompanha a curva de referência sem discrepância. Áreas comuns em 91,81 % da totalidade.	A curva simulada acompanha a curva de referência sem discrepância. Áreas comuns em 91,74 % da totalidade.	A curva simulada não acompanha a curva de referência e apresenta grandes discrepâncias para mais. Áreas comuns em 41,43 % da totalidade.	A curva simulada acompanha a curva de referência e apresenta grandes discrepâncias para menos. Áreas comuns em 55,26 % da totalidade.	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas.	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 28,93 % da totalidade.	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 28,93 % da totalidade.	A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 28,93 % da totalidade.
Indicador de M&P	Indicador: 26,37 Aprovado	Indicador: 26,44 Aprovado	Indicador: 12,44 Reprovado	Indicador: 12,44 Reprovado	Indicador: 46,13 Reprovado	Indicador: 88,84 Reprovado	Indicador: 88,84 Reprovado	Indicador: 88,84 Reprovado

QUADRO 15: Avaliações de qualidade dos produtos da PCHCOX.

Enquadramento	Base Fotogramétrica 3		Base Cartográfica 3		Base SRTM 3		Base ASTER 3		
	Simulada 872 m	Restituída 870 m	Simulada 870 m	Simulada 870 m	Simulada 870 m	Simulada 870 m	Simulada 870 m	Simulada 870 m	
Cota									
PEC altimétrico	<p>Não enquadrada em nenhum padrão para a escala declarada de 1:10000.</p> <p>Padrão Classe A para a escala 1:40000</p> <p>Exatidão: 8 m</p> <p>Precisão: 3,63 m</p>	<p>Padrão Classe 1</p> <p>Exatidão: 8 m</p> <p>Escala 1:40000</p>	<p>Padrão Classe A</p> <p>Exatidão: 10 m</p> <p>Precisão: 5,95 m</p>	<p>Padrão Classe B</p> <p>Exatidão: 20 m</p> <p>Precisão: 6,68 m</p>	<p>Padrão Classe A</p> <p>Exatidão: 14 m</p> <p>Precisão: 7,18 m</p>				
STANAG vertical			<p>Padrão Classe 0</p> <p>Exatidão: 10 m</p> <p>Escala 1:100000</p> <p>Média: -7,06 m</p> <p>Com tendência</p>	<p>Padrão Classe 2</p> <p>Exatidão: 32 m</p> <p>Escala 1:80000</p> <p>Média: -7,85 m</p> <p>Com tendência</p>	<p>Padrão Classe 1</p> <p>Exatidão: 20 m</p> <p>Escala 1:100000</p> <p>Média: -4,88 m</p> <p>Com tendência</p>				
Teste de Tendência	<p>Média: -2,63 m</p> <p>Com tendência</p>								
Código Civil									
Área Absoluto	<p>Diferença: -0,57%</p> <p>Aprovado</p>	<p>Diferença: 29,10%</p> <p>Reprovado</p>							
Código Civil	<p>Diferença: 26,87%</p> <p>Reprovado</p>	<p>Diferença: 33,56%</p> <p>Reprovado</p>							
Área Relativo	<p>Diferença: 21,06%</p> <p>Reprovado</p>	<p>Diferença: 14,26%</p> <p>Reprovado</p>							
Código Civil	<p>Diferença: 27,86%</p> <p>Reprovado</p>	<p>Diferença: 28,63%</p> <p>Reprovado</p>							
Perímetro Absoluto									
Código Civil	<p>Diferença: 50,92 % para fora</p> <p>49,08 % para dentro</p> <p>Aprovado</p>	<p>Diferença: 7,79 % para fora</p> <p>92,21 % para dentro</p> <p>Reprovado</p>	<p>Testes não realizados</p>	<p>Diferença: 12,43 % para fora</p> <p>87,57 % para dentro</p> <p>Reprovado</p>	<p>Diferença: 8,64 % para fora</p> <p>91,36 % para dentro</p> <p>Reprovado</p>				
Perímetro Relativo									
Morfologia									
Quantitativa									
Estapa de projeto	<p>Até a viabilidade</p>	<p>Nenhuma</p>							
Morfologia									
Qualitativa	<p>A curva simulada acompanha a curva de referência com alguma discrepância. Áreas comuns em 73,13 % da totalidade.</p>	<p>A curva simulada acompanha a curva de referência com alguma discrepância. Áreas comuns em 66,44 % da totalidade.</p>	<p>A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 15,92 % da totalidade.</p>	<p>A curva simulada praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 34,71 % da totalidade.</p>					

Indicador de M&P	Indicador: 270,76 Aprobado	Indicador: 384,12 Reprovido		Indicador: 924,50 Reprovido	Indicador: 636,72 Reprovido
-----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--	--------------------------------	--------------------------------

QUADRO 16: Reavaliações de qualidade dos produtos da UHEPSJ.

Enquadramento	Base SRTM 1	Base ASTER 1
Cota	Resimulada 135 m	Resimulada 135 m
PEC altimétrico	Padrão Classe A Exatidão: -5,5 m Precisão: 4,77 m	Padrão Classe A Exatidão: -15,93 m Precisão: 8,82 m
STANAG vertical	Padrão Classe 1 Exatidão: 7,5 m Escala 1:37500	Padrão Classe 1 Exatidão: 16 m Escala 1: 80000
Teste de Tendência	Média: 0,02 m Sem tendência	Média: -0,45 m Sem tendência
Código Civil Área Absoluto	Diferença: -17,93% Reprovado	Diferença: -29,77% Reprovado
Código Civil Área Relativo	Diferença: 34,95% Reprovado	Diferença: 46,74% Reprovado
Código Civil Perímetro Absoluto	Diferença: 21,77% Reprovado	Diferença: -41,26% Reprovado
Código Civil Perímetro Relativo	Diferença: 6,78% Reprovado	Diferença: 22,27% Reprovado
Morfologia Quantitativa	Diferença: 69,42 % para fora 30,58 % para dentro Necessita de análise	Diferença: 71,25 % para fora 28,75 % para dentro Necessita de análise
Etapa de Projetos	Até o Inventário Hidrelétrico	Até o Planejamento de Estudo na etapa de Inventário Hidrelétrico
Morfologia Qualitativa	A curva simulada praticamente acompanha a curva de referência, porém apresenta a formação de algumas ilhas. Áreas comuns em 65,05 % da totalidade.	A curva simulada praticamente acompanha a curva de referência, porém apresenta a formação de algumas ilhas. Áreas comuns em 53,26 % da totalidade.
Indicador de M&P	Indicador: 25,87 Aprovado	Indicador: 23,51 Reprovado

QUADRO 17: Reavaliações de qualidade dos produtos da UHESD.

Enquadramento	Base Cartográfica 2	Base SRTM 2	Base ASTER 2
Cota	Resimulada 340 m	Resimulada 350 m	Resimulada 352 m
PEC altimétrico	Padrão Classe B Exatidão: 20 m Precisão: 14,57 m	Padrão Classe A Exatidão: -4,89 m Precisão: 3,24 m	Padrão Classe A Exatidão: 5,57 m Precisão: 3,55 m
STANAG vertical	Padrão Classe 1 Exatidão: 20 m Escala 1: 100000	Padrão Classe 1 Exatidão: 5,0 m Escala 1:25000	Padrão Classe 1 Exatidão: 6,0 m Escala 1: 30000
Teste de Tendência	Média: 0,40 m Sem tendência	Média: -0,01 m Sem tendência	Média: -0,16 m Sem tendência
Código Civil Área Absoluto	Diferença: -70,66% Reprovado	Diferença: 6,87% Reprovado	Diferença: 20,17% Reprovado
Código Civil Área Relativo	Diferença: 55,68% Reprovado	Diferença: 20,46% Reprovado	Diferença: 31,22% Reprovado
Código Civil Perímetro Absoluto	Diferença: 42,28% Reprovado	Diferença: 12,01% Reprovado	Diferença: -44,85% Reprovado
Código Civil Perímetro Relativo	Diferença: 24,15% Reprovado	Diferença: 11,31% Reprovado	Diferença: -1,73% Aprovado
Morfologia Quantitativa	Diferença: 83,83 % para fora 16,17 % para dentro Reprovado	Diferença: 34,40 % para fora 65,60 % para dentro Aprovado	Diferença: 19,69 % para fora 80,31 % para dentro Necessita de análise
Etapas de Projetos	Nenhuma	Até a Viabilidade	Até o Inventário Hidrelétrico
Morfologia Qualitativa	A curva simulada não acompanha a curva de referência e apresenta grandes discrepâncias para mais. Áreas comuns em 44,32 % da totalidade.	A curva simulada acompanha a curva de referência, apresentando-se ora para dentro e ora para fora da mesma. Áreas comuns em 79,54 % da totalidade.	A curva simulada acompanha em parte a curva de referência, e apresenta a formação de ilhas. Áreas comuns em 68,78 % da totalidade.
Indicador de M&P	Indicador: 15,09 Reprovado	Indicador: 27,65 Aprovado	Indicador: 32,26 Reprovado

		em 18,76 % da totalidade.	Áreas comuns em 34,33 % da totalidade.	discrepâncias para menos e a formação de ilhas. Áreas comuns em 44,52 % da totalidade.
Indicador de M&P	Indicador: 202,23 Reprovado	Indicador: 51,20 Reprovado	Indicador: 143,61 Reprovado	Indicador: 303,36 Aprovado

5.2 Análise dos Resultados

Analisando os resultados apresentados no Quadro 13, Quadro 14 e Quadro 15, verifica-se que: praticamente todas as bases testadas foram enquadradas no PEC altimétrico para a exatidão declarada (com exceção da Base Fotogramétrica 3 que só se enquadrou na escala 1:40000); todas as bases testadas foram enquadradas no STANAG vertical para a escala declarada; praticamente todas as bases testadas foram avaliadas morfologicamente (com exceção da Base Cartográfica 3 que não gerou curvas convergentes).

Os resultados obtidos pela avaliação da qualidade convencional das Bases Fotogramétricas 1 e 2 se mostraram semelhantes, pois: foram enquadradas no PEC Altimétrico Padrão Classe A com equidistância de curvas de nível de 5 m e precisão em torno de 1,5 m; foram enquadradas no STANAG Vertical Classe 1 (escala 1:15:000) e Classe 0 (escala 1:30000), respectivamente, com o mesmo valor de exatidão, 3 m; não apresentaram tendência sistemática com médias próximas de zero.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica das Bases Fotogramétricas 1 e 2 na simulação das cotas de alague também se mostraram semelhantes, pois: foram aprovadas no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e reprovadas no relativo, embora tenham apresentado, aproximadamente 87 % e 92 % de áreas comuns, respectivamente; apresentaram também, valores muito próximos das referências para os indicadores de M&P, recebendo também aprovação para simular a cota de alague.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da cota simulada da Base Fotogramétrica 1 se mostraram semelhantes, em parte, em comparação com os resultados obtidos pela cota restituída. Enquanto que a primeira foi aprovada no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil, a segunda foi reprovada; ambas foram reprovadas no método relativo do Código Civil, com aproximadamente 87 % e 83 % de áreas comuns, respectivamente; a primeira apresentou um valor muito próximo da referência para o indicador de M&P e recebeu a aprovação para simular cota de alague até a etapa de viabilidade, a segunda apresentou um indicador um pouco subestimado, porém apresentou um contorno mais homogêneo e foi aprovada para simular a cota de alagamento até a etapa de projeto básico. A diferença

primordial se deu ao fato da cota restituída de 130 m não ser exatamente a cota de alague, de 128,5 m, que pode ter contribuído para uma não formação de ilhas, quando comparado com os resultados da cota simulada em 128,5 m. Mesmo com esta diferença os resultados podem ser considerados satisfatórios para ambas as curvas.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da cota simulada da Base Fotogramétrica 2 se mostraram semelhantes em comparação com os resultados obtidos pela cota restituída, pois: foram aprovadas no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e reprovadas no relativo com valores análogos, embora ambas tenham apresentado aproximadamente 92 % de áreas comuns; apresentaram também, valores muito próximos das referências para os indicadores de M&P, recebendo também aprovação para simular a cota de alague, bem como foram aprovadas para simular a cota de alagamento até a etapa de projeto básico. Os resultados semelhantes podem ser considerados satisfatórios e se devem ao fato da cota restituída ser exatamente a cota de alague, de 345 m.

Em relação à avaliação convencional da qualidade da Base Fotogramétrica 3, verifica-se o seguinte: enquadramento no PEC Padrão Classe A, no máximo, para apresentação da equidistância de curvas de nível em 16 m, compatível para a escala 1:40000 e precisão de 3,63 m; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 (escala 1:40000), com exatidão de 8 m; ocorrência de tendência sistemática negativa na avaliação, -2,63 m, o que pode ter sido ocasionado devido à superabundância de vegetação na margem do rio e uma conseqüente não caracterização da forma do relevo. Embora o relevo tenha sido classificado como ondulado no capítulo 4.2, na margem do rio ele tende a se mostrar mais inclinado, o que dificulta o mapeamento e a representação.

Em relação à avaliação morfológica da Base Fotogramétrica 3, portanto, os resultados foram um pouco melhores. Foram utilizadas duas cotas para tanto, a primeira simulada na cota 872 m e a segunda, restituída na cota 870 m. Enquanto que a primeira foi aprovada no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil, a segunda foi reprovada; ambas foram reprovadas no método relativo do Código Civil, com aproximadamente 73 % e 66 % de áreas comuns, respectivamente; a primeira apresentou um valor muito próximo da referência para o indicador de M&P e recebeu a aprovação para simular cota de

alagamento até a etapa de viabilidade, a segunda apresentou um indicador superestimado e foi reprovada, inclusive para simular a cota de alagamento em qualquer etapa de projeto de hidrelétricas. A diferença primordial se deu ao fato da cota restituída não ser exatamente a cota de alague, de 872 m. Os resultados obtidos pela cota restituída de 870 m não são considerados satisfatórios.

Os resultados obtidos pela avaliação da qualidade convencional das Bases Cartográficas 1, 2 e 3 (cartografia sistemática brasileira) se mostraram diferentes para as três áreas estudadas.

Primeiramente será considerado somente o resultado da Base Cartográfica 1, única na escala 1:50000. A base foi enquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe B para a equidistância de curvas de nível de 20 m e precisão de 7,52 m; foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 2 (escala 1:50000), com exatidão de 20 m; não apresentou tendência sistemática com uma média próxima de zero.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Cartográfica 1 na cota simulada de 128, 5 m e 130 m se mostraram semelhantes em parte: a primeira foi aprovada no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e a segunda não, mas ambas foram reprovadas no relativo, embora tenham apresentado aproximadamente 64 % e 63 % de áreas comuns, respectivamente; ambas apresentaram valores próximos ao da referência para o indicador de M&P e foram aprovadas, também receberam a aprovação para simular cota de alagamento até a etapa de inventário hidrelétrico. Os resultados para ambas as curvas simuladas podem ser considerados satisfatórios.

A Base Cartográfica 2, escala 1:100000, foi enquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe B para a equidistância de curvas de nível de 40 m e precisão de 15,82 m; foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 2 (escala 1:100000), com exatidão de 40 m; apresentou tendência sistemática com uma média de 4,15 m.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Cartográfica 2 na cota simulada de 345 m foram os seguintes: não enquadramento de áreas nos métodos absoluto e relativo do Código Civil, com somente 41,43 % de áreas comuns; apresentação de valor completamente subestimado para o indicador de M&P devido a sua área inundada superestimada, conseqüentemente não recebeu a aprovação para simular

ção de alinhamento em nenhuma etapa do projeto hidroviário.

A Base Cartográfica 3, em contrapartida, também na escala 1:100000, foi enquadrada no PEC Altimétrico Público Classe A para a equalização de curvas de nível de 30 m e precisão de apenas 5,95 m, foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 0 (escala 1:100000), com curvatura de 40 m, apresentou tendência sistêmica com uma média de -7,06 m.

A avaliação morfológica da Base Cartográfica 3 não pode ser realizada para a identificação das pontos litorais que se fecharam em torno do rio, ao contrário, foram geradas linhas divergentes, para fora do eixo, portanto, nenhuma análise pode, consequentemente, ser realizada.

O fato de a Base Cartográfica 3 ter sido classificada em relação ao PEC e ao STANAG merece atenção pois, a mesma limitação da escala da carta, que não permite uma análise morfológica, permitiu um bom emparelhamento pontual. Esta incorreção se deu porque a diferença entre a altura da aproximação de 800 m, e a cota de alaguel de 872 m, caiu dentro da margem de erro permitida, de uma equalização, ou seja, 20 m.

A Base Cartográfica 4 é aprovada sem modificações, no PEC Classe B e forma uma curva com uma área quase análoga ao método absoluto do Código Civil, com 64,16% de áreas comuns no relativo.

A Base Cartográfica 2.4 é aprovada com uma tendência positiva de 4,13 m, no PEC Classe B e forma uma curva com uma área praticamente o dobro do real no método absoluto do Código Civil, com apenas 46,16% de áreas comuns no relativo. O que sugere simular uma curva na cota aproximada de 340 m para corrigir esta tendência sistêmica.

A Base Cartográfica 1 é aprovada com uma tendência negativa de -7,06 m, no PEC Classe A e não forma curva nenhuma em torno do rio. O que sugere simular uma curva na cota aproximada de 800 m para corrigir esta tendência sistêmica.

Em relação à avaliação convencional da qualidade das Bases SRTM 1, 2 e 3, verifica-se o seguinte: emparelhamento no PEC Público Classe A, para as duas primeiras e Classe B para a terceira, com qualidades de 12,5, 10 e 20 m, e apresentação da equalização de curvas de nível em 25, 20

e 40 m, respectivamente, compatível para a escala 1:80000, e precisões de 4,77, 3,24, e 6,68 m, respectivamente; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 para as duas primeiras e Classe 2 para a terceira (escala 1:80000), com exatidão de 16, 16 e 32 m, respectivamente; ocorrência de tendência sistemática negativa na avaliação das três bases, com médias de -7,48, -6,49 e -7,85, o que pode ter sido ocasionado devido à limitação do método de obtenção dos dados.

Em relação à avaliação morfológica das Bases SRTM 1, 2 e 3 testadas foi verificado o seguinte: todas as bases foram reprovadas nos métodos absoluto e relativo do Código Civil; todas as curvas geradas para as bases geraram inúmeras ilhas para dentro da curva de referência; para as duas primeiras bases a sobreposição das curvas, simulada e de referência, gerou áreas comuns em até um pouco mais de 55 %, para a terceira base, portanto, somente menos de 16 %; todos os indicadores de M&P para as bases foram superestimados e reprovados, bem como nenhuma simulação advinda do SRTM foi aprovada para simular cota de alagamento em etapas de projeto de hidrelétricas.

Para as Bases SRTM 1, 2 e 3 testadas não foi verificada nenhuma diferença significativa que pudesse ser vinculada ao relevo das regiões testadas. Tanto no relevo levemente ondulado, quando no ondulado, os resultados se mostraram semelhantes e insatisfatórios para o objetivo proposto, ou seja, simular a cota de alagamento. Uma sugestão é resimular a cota de alague retirando primeiro a tendência sistemática verificada em todas as bases SRTM, ou seja, simular as cotas de 136, 351 e 880 m, como se fossem as cotas de referência.

Em relação à avaliação convencional da qualidade das Bases ASTER 1, 2 e 3, verifica-se o seguinte: enquadramento no PEC Padrão Classe A, para todas as bases, com exatidões de 16, 14 e 14 m, e apresentação da equidistância de curvas de nível em 32, 28 e 28 m, respectivamente, compatível para a escala 1:100000, e precisões de 8,82, 3,55, e 7,18 m, respectivamente; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 para todas as bases (escala 1:100000), com exatidão de 20, 20 e 20 m, respectivamente; ocorrência de tendência sistemática negativa na avaliação das três bases, com médias de -5,45, -8,16 e -4,88, o que pode ter sido ocasionado devido à limitação do método de obtenção dos dados.

Em relação à avaliação morfológica das Bases ASTER 1, 2 e 3 testadas

foi verificado o seguinte: todas as bases foram reprovadas nos métodos absoluto e relativo do Código Civil; todas as curvas geradas para as bases geraram inúmeras ilhas para dentro da curva de referência; para todas as sobreposições das curvas, simulada e de referência, foram geradas áreas comuns nas seguintes proporções, respectivamente, 49,87, 28,93 e 34,71 %; todos os indicadores de M&P para as bases foram superestimados e reprovados, bem como nenhuma simulação advinda do ASTER foi aprovada para simular cota de alagamento em etapas de projeto de hidrelétricas.

Para as Bases ASTER 1, 2 e 3 testadas não foi verificada nenhuma diferença significativa que pudesse ser vinculada ao relevo das regiões testadas. Tanto no relevo levemente ondulado, quando no ondulado, os resultados se mostraram semelhantes e insatisfatórios para o objetivo proposto, ou seja, simular a cota de alagamento. Uma sugestão é resimular a cota de alague retirando primeiro a tendência sistemática verificada em todas as bases ASTER, ou seja, simular as cotas de 134, 353 e 877 m como se fossem as cotas de referência.

Analisando os resultados apresentados no Quadro 17 e no Quadro 18, verifica-se que: praticamente todas as bases testadas melhoraram sua classificação no PEC altimétrico e sua consequente exatidão (com exceção da Base ASTER 1 que continuou com a mesma classificação do Quadro 13); quase todas as bases testadas foram reenquadradas no STANAG vertical com um ganho na escala ou classe (com exceção da Base ASTER 1 que continuou com a mesma classificação citada no Quadro 13); após resimulação todas as bases testadas puderam ser reavaliadas morfologicamente.

Em relação às Bases Fotogramétricas, somente a da área 3 foi reavaliada, pois era a única que apresentou tendência sistemática. O enquadramento para a resimulação da cota 875 m foi o seguinte: PEC Altimétrico Padrão Classe A com equidistância de curvas de nível de 11 m e precisão em torno de 3,65 m; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 (escala 1:27.500), com exatidão de 5,5 m. A tendência após retirada de praticamente todo erro sistemático se aproximou de zero (-0,13 m). Os resultados obtidos pela reavaliação mostraram um ganho de qualidade em relação à escala e classificação, tanto no PEC quanto no STANAG, em comparação com os resultados apresentados no Quadro 15, quando da simulação da cota 872 ou restituição da cota 870 m (que não puderam ser enquadradas em nenhuma classe para a escala

declarada 1:10000 e foram enquadradas no PEC Classe A somente na escala 1:40000 no STANAG Classe 1, de acordo com o Quadro 15).

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Fotogramétrica 3 na resimulação da cota de 875 m foram os seguintes: reprovação no enquadramento de áreas e perímetro, tanto no método absoluto quanto no relativo do Código Civil, embora tenha apresentado, 65,35 % de área comum; a base não apresentou um valor aceitável em relação ao valor de referência para o indicador de M&P (202,23), mas recebeu aprovação para simular a cota de alagamento até a etapa de viabilidade.

Em relação às Bases Cartográficas, somente os reenquadramentos das áreas 2 e 3 foram realizados, pois apresentaram tendência sistemática.

A Base Cartográfica 2, na escala 1:100000 foi reenquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe A para a equidistância de curvas de nível de 40 m e precisão de 14,57 m; foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 1 (escala 1:100000), com exatidão de 20 m; A tendência após a retirada do erro sistemático se aproximou de zero (0,40 m).

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Cartográfica 2 na cota resimulada de 340 m foram os seguintes: reprovação no enquadramento de áreas e perímetro, tanto no método absoluto quanto o relativo do Código Civil, com apresentação de somente 44,32 % de área comum; a base apresentou um valor subestimado em relação ao valor de referência para o indicador de M&P (15,09), e recebeu também reprovação para simular a cota de alagamento em todas as etapas de projetos de hidrelétricas.

A Base Cartográfica 3, na escala 1:100000 foi reenquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe A para a equidistância de curvas de nível de 18 m e precisão de 5,95 m; foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 1 (escala 1:45000), com exatidão de 9,0 m; A tendência após retirada do erro sistemático se aproximou de zero (-0,06 m).

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Cartográfica 3 na cota resimulada de 880 m foram os seguintes: reprovação no enquadramento de áreas e perímetro, tanto no método absoluto quanto o relativo do Código Civil, com apresentação de somente 18,76 % de área comum; a base apresentou um valor subestimado em relação ao valor de referência para o indicador de M&P (51,20), recebendo também reprovação para simular a cota de alagamento em todas as etapas de

projetos de hidrelétricas.

Em relação à reavaliação convencional da qualidade das Bases SRTM 1, 2 e 3 apresentadas no Quadro 16, Quadro 17e Quadro 18, após retirada dos erros sistemáticos, verificou-se uma melhora nos resultados quando comparados com os apresentados no Quadro 13, Quadro 14e Quadro 15: enquadramento no PEC Padrão Classe A, com exatidões de -5,5, -4,89 e -10,53 m, apresentação da equidistância de curvas de nível em 15, 10 e 22 m, respectivamente, compatível com as escalas 1:37500, 1:25000 e 1:55000, e precisões de 4,77, 3,24, e 6,68 m, respectivamente; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 nas escalas citadas, com exatidão de 7,5, 5,0 e 11 m, respectivamente; tendências sistemáticas se aproximaram de zero para todas as bases reenquadradas (0,02, -0,01 e -0,35 m), respectivamente.

Em relação à avaliação morfológica das Bases SRTM 1, 2 e 3 nas suas respectivas cotas resimuladas foram verificados o seguinte: todas as bases foram reprovadas nos métodos absoluto e relativo do Código Civil, mesmo apresentando melhores resultados em relação aos resultados originais (cotas simuladas); as curvas geradas para a Base SRTM 1 praticamente acompanharam o contorno da curva de referência, porém a resimulação apresentou algumas ilhas; a curva gerada para a Base SRTM 2 acompanhou o contorno da curva de referência sem apresentar ilhas; a curva gerada para a Base SRTM 3 praticamente não acompanhou o contorno da curva de referência e se deslocou de forma sistemática ao sul da referência; áreas comuns para as bases em relação às de referência testadas foram de 65,05 %, 79,54 % e 34,33 %; os indicadores de M&P para as Bases SRTM 1 e 2 testadas foram considerados satisfatórios e foram aprovados (25,87 % e 27,65 %) ; o indicador de M&P para a Base SRTM 3, portanto, foi considerado subestimado e foi reprovado (143,61 %).

Na simulação nenhuma base SRTM havia sido aprovada para simular a cota de alagamento nas etapas de projetos de hidrelétricas. Na resimulação a base SRTM 1 foi aprovada para simular a cota de alagamento até a etapa de inventário hidrelétrico, a base SRTM 2 foi aprovada para simular a cota de alagamento até a etapa de viabilidade e a base SRTM 3 foi reprovada para simular a cota de alagamento para todas as etapas de projetos de hidrelétricas.

Em relação à reavaliação convencional da qualidade da Base ASTER 1

apresentada no Quadro 16, após retirada dos erros sistemáticos, verificou-se um enquadramento semelhante ao original quando comparados com o apresentado no Quadro 13: enquadramento no PEC Padrão Classe A, com exatidão de -15,93 m, apresentação da equidistância de curvas de nível em 32 m, compatível para a escala 1:80000, e precisão de 8,82 m; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 na escala citada, com exatidão de 16 m; tendência sistemática se aproxima de zero (-0,45 m).

Em relação à reavaliação convencional da qualidade das Bases ASTER 2 e 3, apresentada no Quadro 17e Quadro 18, após retirada das tendências sistemáticas, verifica-se uma melhora nos resultados quando comparados com o apresentado no Quadro 14e Quadro 15: enquadramento no PEC Padrão Classe A, com exatidões de 5,57 -10,37 m, apresentação da equidistância de curvas de nível em 12 e 22 m, compatível para as escalas 1:30000 e 1:55000, e precisões de 3,55 e 7,18 m, respectivamente; enquadramento no STANAG Vertical Classe 1 nas escalas citadas, com exatidão de 6,0 e 11 m; tendências sistemáticas se aproximaram de zero para ambas as bases reenquadradas (-0,16 e 0,12 m), respectivamente.

Em relação à avaliação morfológica das Bases ASTER 1, 2 e 3 nas suas respectivas cotas resimuladas foram verificados o seguinte: todas as bases foram reprovadas nos métodos absoluto e relativo do Código Civil; as curvas geradas para a Base ASTER 1, em parte, acompanharam o contorno da curva de referência, porém apresentou algumas ilhas; a curva gerada para a Base ASTER 2 praticamente acompanhou o contorno da curva de referência, mas apresentou ilhas; a curva gerada para a Base ASTER 3 praticamente não acompanhou o contorno da curva de referência e apresentou grandes discrepâncias; áreas comuns para as bases em relação às de referência testadas foram de 53,26 %, 68,78 % e 44,52 %; os indicadores de M&P para as todas as bases ASTER 1 e 2 foram considerados inviáveis e foram reprovados (23,51 % e 32,26 %), o indicador para a Base 3, portanto foi considerado viável e foi aprovado (303,36 %).

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 13e no Quadro 16, quando da simulação da cota de 130 m e resimulação da cota de 135 m da Base SRTM 1, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o

valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. O enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações e foram reprovados, porém se apresentaram um pouco melhores para a cota resimulada; a formação de área comum para cota simulada foi de apenas 55,15 %, com suas maiores diferenças para dentro da cota de referência, para a cota resimulada a formação de áreas comuns subiu para 65,05 %, com suas maiores diferenças para fora da cota de referência; em relação aos indicadores de M&P, para a cota simulada o valor de 46,98 % foi considerado superestimado e conseqüentemente foi reprovado, no entanto para a cota resimulada o valor de 25,87 % apresentado foi considerado muito próximo da referência e foi aprovado.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 13 e Quadro 16, quando da simulação da cota de 130 m e resimulação da cota de 135 m da Base ASTER 1, verifica-se que praticamente não houve mudanças de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, pois os valores de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma, continuaram os mesmos (enquadramento na escala 1:80000, com exatidão de 16 m e precisão de 8,82 m). O enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações, com resultados levemente ora melhores para a cota simulada, ora para a cota resimulada; a formação de área comum para cota simulada foi de apenas 49,87 %, com suas maiores diferenças para dentro da cota de referência, para a cota resimulada a formação de áreas comuns subiu para 53,26 %, com suas maiores diferenças para fora da cota de referência; em relação aos indicadores de M&P, para a cota simulada o valor de 40,23 % foi considerado superestimado e conseqüentemente foi reprovado, no entanto para a cota resimulada o valor de 32,26 % apresentado, apesar de menor, também foi considerado superestimado e foi reprovado.

Na simulação nenhuma base ASTER havia sido aprovada para simular a cota de alagamento nas etapas de projetos de hidrelétricas. Na resimulação a base ASTER 1 foi aprovada para simular a cota de alagamento até a etapa Planejamento do Estudo na Etapa de Inventário Hidrelétrico, a base ASTER 2 foi aprovada para simular a cota de alagamento até a etapa de Inventário Hidrelétrico e a base ASTER 3 foi reprovada para simular a cota de alagamento para todas as etapas de projetos de hidrelétricas.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 14 e Quadro 17, quando da simulação da cota de 345 m e resimulação da cota de 340 m da Base Cartográfica 2, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. Os resultados, porém, em relação ao enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações semelhantes e foram ambos reprovados, embora a cota resimulada em 340 m tenha apresentado valores levemente melhores do que os da cota simulada em 345 m; ambas as cotas apresentaram, também, uma área superestimada e um indicador de M&P subestimado e foram reprovadas.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 14 e Quadro 17, quando da simulação da cota de 345 m e resimulação da cota de 350 m da Base SRTM 2, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. O enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações, porém com melhores resultados para a cota resimulada; a formação de área comum para cota simulada foi de apenas 55,26 %, com suas maiores diferenças para dentro da cota de referência, para a cota resimulada a formação de áreas comuns subiu para 79,54 %, com suas maiores diferenças também para dentro da cota de referência; em relação aos indicadores de M&P, para a cota simulada o valor de 46,16 % foi considerado superestimado e conseqüentemente foi reprovado, no entanto para a cota resimulada o valor de 27,65 % apresentado foi muito próximo da referência e foi aprovado.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 14 e Quadro 17, quando da simulação da cota de 345 m e resimulação da cota de 350 m da Base ASTER 2, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. O enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações, porém com melhores resultados para a cota resimulada; a formação de área comum para cota

simulada foi de apenas 28,93 %, com suas maiores diferenças para dentro da cota de referência, para a cota resimulada a formação de áreas comuns subiu para 68,78 %, com suas maiores diferenças também para dentro da cota de referência; em relação aos indicadores de M&P, para a cota simulada o valor de 88,84 % foi considerado superestimado e conseqüentemente foi reprovado, no entanto para a cota resimulada o valor de 32,26 % apresentado, apesar de menor, foi considerado também superestimado e foi reprovado.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 15 e Quadro 18, quando da simulação da cota de 872 m ou restituição da cota de 872 m da Base Fotogramétrica 3, verifica-se que houve um ganho significativo em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, o que modificou, inclusive a escala e o valor de exatidão da citada base, porém em relação ao enquadramento no Código Civil, ambas apresentaram quase as mesmas limitações e foram reprovadas (com exceção da diferença apresentada pelo enquadramento no código civil absoluto da Base Fotogramétrica 3 na cota simulada de 872 m, que se apresentou dentro do limite aceitável); todas as cotas apresentaram, também, áreas comuns dentro do satisfatório (acima de 60 %), porém apresentaram diferentes valores diversos para os indicadores de M&P: a cota simulada de 872 m apresentou o valor mais próximo do valor de referência (270,76 %) e foi aprovada, a cota restituída de 870 m apresentou um valor superestimado (384,12 %) e foi reprovada e a cota resimulada de 875 m apresentou um valor subestimado mas dentro do aceitável (202,23 %) e foi aprovada.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 15 e Quadro 18, quando da simulação da cota de 870 m e resimulação da cota de 880 m da Base Cartográfica 3, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. O enquadramento no Código Civil só foi possível devido à resimulação da cota de 880 m, o que pode ser considerado um ganho significativo, mesmo tendo sido reprovado em relação ao absoluto e ao relativo, pois esta avaliação não havia sido realizada anteriormente devido a divergência na simulação da cota de 870 m advinda da Base Cartográfica 3; a área simulada foi superestimada e o indicador de M&P foi subestimado e conseqüentemente reprovado.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 15 e Quadro 18, quando da simulação da cota de 870 m e resimulação da cota de 880 m da Base SRTM 3 da área de estudo 3, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. O enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações e foram reprovados, porém se apresentaram um pouco melhores para a cota resimulada; a formação de área comum para cota simulada foi de apenas 15,92 %, com suas maiores diferenças para dentro da cota de referência, para a cota resimulada a formação de áreas comuns subiu para 34,33 %, com suas maiores diferenças para fora da cota de referência; em relação aos indicadores de M&P, para a cota simulada o valor de 924,50 % foi considerado completamente superestimado e conseqüentemente foi reprovado, no entanto para a cota resimulada o valor de 143,61 % apresentado foi considerado subestimado e também foi reprovado.

Comparando os resultados, em relação às avaliações realizadas e apresentadas no Quadro 15 e Quadro 18, quando da simulação da cota de 870 m e resimulação da cota de 876 m da Base ASTER 3 da área de estudo 3, verifica-se que houve um ganho significativo de qualidade em relação ao enquadramento do PEC e do STANAG, que modificaram, inclusive, o valor de escala e exatidão da citada base, quando da retirada da tendência sistemática da mesma. O enquadramento no Código Civil, quando comparados, apresentaram limitações e foram reprovados; a formação de área comum para cota simulada foi de apenas 34,71 %, com suas maiores diferenças para dentro da cota de referência, para a cota resimulada a formação de áreas comuns subiu para 44,52 %, com suas diferenças distribuídas praticamente de forma homogênea para fora e para fora da cota de referência; em relação aos indicadores de M&P, para a cota simulada o valor de 636,72 % foi considerado completamente superestimado e conseqüentemente foi reprovado, no entanto para a cota resimulada o valor de 303,36 % apresentado foi considerado satisfatório e aprovado.

6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Conclui-se com este trabalho que o objetivo principal foi cumprido, tendo em vista que foi proposto um método não pontual, tanto para realizar a avaliação de qualidade altimétrica de bases altimétricas, quanto para extrair curvas de nível que simulam a cota de alagamento, mostrando suas reais diferenças de áreas. O método foi aplicado nas três áreas de estudo propostas e as três apresentavam relevos diferenciados.

Conclui-se também que foram definidos quais produtos altimétricos podem ser utilizados para simular a linha de alague de usinas hidrelétricas em determinados tipos de relevo, bem como até quais etapas de projeto podem ser utilizados.

Em termos específicos, por área de estudo conclui-se o seguinte:

- Para a área de estudo 1 – UHEPSJ no Estado do Rio Grande do Sul:
 - Para a base fotogramétrica 1, que possui qualidade compatível com a escala 1:5000 no PEC Padrão Classe A, a cota simulada de 128,5 m foi aprovada a ser utilizada até a etapa de Viabilidade e a cota restituída de 130 m foi aprovada a ser utilizada até a etapa de Projeto Básico para simular a linha de alagamento da UHE Passo São João. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado e para uma base com escala e qualidade compatíveis a simulação em qualquer cota pode ser realizada.
 - Para a base cartográfica 1, que possui qualidade compatível com a escala 1:50000 no PEC Padrão Classe B, a cota simulada de 128,5 m foi aprovada a ser utilizada até a etapa de Viabilidade para simular a linha de alagamento da UHE Passo São João, bem como a cota simulada em 130 m. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado e para uma base com escala e qualidade compatíveis, a simulação em qualquer cota pode ser realizada.
 - Para a base SRTM 1, que possui qualidade compatível

com a escala 1:80000 no PEC Padrão Classe A, a cota simulada de 130 m, com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, não foi aprovada para simular a linha de alagamento da UHE Passo São João. A cota resimulada de 135 m, entretanto, com a retirada da tendência sistemática, foi aprovada para simular a cota de alague de 128,5 m até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado e para a mesma base, a resimulação em qualquer cota pode ser realizada.

- Para a base ASTER 1, que possui qualidade compatível com a escala 1:100000 no PEC Padrão Classe A, a cota simulada de 130 m, com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, não foi aprovada para simular a linha de alagamento da UHE Passo São João. A cota resimulada de 135 m, entretanto, com a retirada da tendência sistemática, foi aprovada para simular a cota de alague de 128,5 m até a etapa de Planejamento do Estudo da etapa de Inventário Hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado e para a mesma base, a resimulação em qualquer cota pode ser realizada.
- Para a área de estudo 2 – UHESD no Estado do Mato Grosso do Sul:
 - Para a base fotogramétrica 2, que possui qualidade compatível com a escala 1:5000 no PEC Padrão Classe A, tanto a cota simulada de 345 m quanto a cota restituída de 345 m foram aprovadas a serem utilizadas até as etapas de Projeto Básico para simular a linha de alagamento da UHE São Domingos. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo levemente ondulado e para uma base com escala e qualidade compatíveis, a simulação em qualquer cota pode ser realizada.
 - Para a base cartográfica 2, que possui qualidade compatível com a escala 1:100000 no PEC Padrão Classe B, tanto a cota simulada de 345 m (simulando exatamente a linha de alagamento) com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, quanto a cota resimulada de 340 m (simulando a linha de alagamento com a retirada da tendência sistemática) não foram aprovadas para simular a cota de alague da

UHE São Domingos em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo levemente ondulado, cartas na escala 1:100000 não são aconselháveis a serem utilizadas para simular cotas de alagamento em nenhuma etapa de projeto hidrelétricos.

- Para a base SRTM 2, que possui qualidade compatível com a escala 1:80000 no PEC Padrão Classe A, a cota simulada de 345 m, com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, não foi aprovada para simular a linha de alagamento da UHE São Domingos. A cota resimulada de 350 m, entretanto, com a retirada da tendência sistemática, foi aprovada para simular a cota de alague de 345 m até a etapa de Viabilidade. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo levemente ondulado e para a mesma base, a resimulação em qualquer cota pode ser realizada.
- Para a base ASTER 2, que possui qualidade compatível com a escala 1:100000 no PEC Padrão Classe A, a cota simulada de 345 m, com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, não foi aprovada para simular a linha de alagamento da UHE São Domingos. A cota resimulada de 352 m, entretanto, com a retirada da tendência sistemática, foi aprovada para simular a cota de alague de 345 m até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo levemente ondulado e para a mesma base, a resimulação em qualquer cota pode ser realizada.
- Para a área de estudo 3 – PCHCOX no Estado de Santa Catarina:
 - Para a base fotogramétrica 3, que possui qualidade compatível com a escala 1:40000 no PEC Padrão Classe A, a cota simulada de 872 m foi aprovada a ser utilizada até a etapa de Viabilidade para simular a linha de alagamento da PCH Coxilha Rica. Tanto a cota simulada de 870 m, quanto a cota resimulada de 875 m são indicadas para simular a cota de alague em 872 m da PCH Coxilha Rica em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado com tendência a fortemente ondulado e para uma base com escala e qualidade compatíveis, a

simulação em qualquer cota pode ser realizada com critérios.

- Para a base cartográfica 3, que possui qualidade compatível com a escala 1:100000 no PEC Padrão Classe A, tanto a cota simulada de 870 m (que não apresentou um contorno) com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, quanto a cota resimulada de 880 m (simulando a linha de alagamento com a retirada da tendência sistemática) não foram aprovadas para simular a cota de alague da PCH Coxilha Rica em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado com tendência a fortemente ondulado, cartas na escala 1:100000 não são aconselháveis a serem utilizadas para simular cotas de alagamento em nenhuma etapa de projeto hidrelétricos.
- Para a base SRTM 3, que possui qualidade compatível com a escala 1:80000 no PEC Padrão Classe B, tanto a cota simulada de 870 m, com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, quanto a cota resimulada de 880 m, não foram aprovadas para simular a cota de alague da PCH Coxilha Rica em nenhuma etapa de projeto hidrelétricos. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado com tendência a fortemente ondulado, as bases SRTM não são aconselháveis a serem utilizadas para simular cotas de alagamento em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico.
- Para a base ASTER 3, que possui qualidade compatível com a escala 1:100000 no PEC Padrão Classe A, tanto a cota simulada de 870 m, com o seu respectivo erro sistemático inerente associado, quanto a cota resimulada de 876 m, não foram aprovadas para simular a cota de alague da PCH Coxilha Rica em nenhuma etapa de projeto hidrelétricos. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado com tendência a fortemente ondulado, as bases ASTER não são aconselháveis a serem utilizadas para simular cotas de alagamento em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico.

6.2 Recomendações

Em bases altimétricas onde as cotas são extraídas a partir de modelos provenientes de fotografias aéreas, com curvas de nível de até 5 m de equidistância, em relevos levemente ondulados a ondulados é garantida uma qualidade entre 82 e 91 % de áreas comuns na simulação da cota de alague. As cotas simuladas destas bases podem ser utilizadas até a etapa de Viabilidade para os relevos ondulados e até a etapa de Projeto Básico nos relevos levemente ondulados.

Em bases altimétricas onde cotas são extraídas a partir de modelos provenientes de cartografia sistemática 1:50000, com curvas de nível de até 20 m de equidistância, em relevos ondulados é garantida uma qualidade em torno de 64 % de áreas comuns na simulação da cota de alague. É recomendada, entretanto, a utilização deste tipo de base até a etapa de Inventário Hidrelétrico, mas somente na ausência de produtos com melhor qualidade, tendo em vista que a mesma apresentou diferenças ora para fora e ora para dentro da cota de alague. É necessário que se verifique este tipo de tendência para este tipo de base em outras áreas de estudo.

Não são recomendadas a simulação de cotas de alagamento a partir de MDEs provenientes de cartografia sistemática 1:100000, com curvas de nível de até 40 m de equidistância em nenhum tipo de relevo, com ou sem a retirada de tendências sistemáticas em nenhuma etapa de projeto de hidrelétricas.

Em bases altimétricas onde as cotas são extraídas a partir de modelos SRTM, após a remoção do erro sistemático inerente verificado no produto (em torno de -7,3), em relevos levemente ondulados a ondulados é garantida uma qualidade entre 65 e 79 % de áreas comuns na simulação da cota de alagamento. Em relevos ondulados tendendo a fortemente ondulados não são recomendados o uso de modelos SRTM para extração e simulação de cotas de alagamento, mesmo após a retirada da tendência sistemática.

Em bases altimétricas onde as cotas são extraídas a partir de modelos ASTER, após a remoção do erro sistemático inerente verificado no produto (em torno de -6,2), em relevos levemente ondulados a ondulados é garantida uma qualidade entre 53 e 68 % de áreas comuns

na simulação da cota de alagamento. Em relevos ondulados tendendo a fortemente ondulados não são recomendados o uso de modelos ASTER para extração e simulação de cotas de alagamento, mesmo após a retirada da tendência sistemática.

Recomenda-se também que sejam realizados trabalhos utilizando-se o mesmo método descrito para avaliar áreas com relevos fortemente ondulados e escarpados. Bem como a utilização de outros produtos para as mesmas áreas testadas, por exemplo, provenientes de varreduras a laser, modelos estereoscópicos advindos de imagens de sensoriamento remoto ou missões do tipo radar/bradar.

Foram percebidos resultados subestimados em relação às cotas de alagamento em alguns produtos testados como SRTM e ASTER, maior preocupação na determinação de curvas que simulam a superfície atingida em uma usina hidrelétrica.

Todos os resultados provenientes, portanto, advindos das bases fotogramétricas ou cartográficas (principalmente 1:100000) convergiram, ora para um equilíbrio entre as curvas simuladas e de referência, ora para curvas simuladas para além (fora) da curva de referência.

Os produtos altimétricos testados, indiscriminadamente, apresentaram suas reais limitações superficiais e não somente pontuais, mas de forma geral, excetuando as duas primeiras bases fotogramétricas testadas, mesmo tendo sido enquadrados na legislação, atendendo todos os requisitos em termos de qualidade altimétrica, se mostraram com qualidade morfológica aquém do esperado.

Para outras aplicações, como deslizamentos ou inundações, recomendam-se estudos mais aprofundados.

Finalizar com avaliação do método proposto: vantagens e limitações, bem como recomendações para continuação da pesquisa

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M. et al. **Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, 2011. p.1349 - 1356.

AFONSO, A. J. G.; DIAS, R. F. C.; TEODORO, R. F. **IGeoE: Positional quality control in the 1/25000 cartography**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, 7th., 2006, Málaga. Proceedings... Málaga: M. Caetano and M. Painho, 2006. p. 835 - 839.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília: ANEEL, 2008. 236p.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Diretrizes para elaboração de serviços de cartografia e topografia, relativos a estudos e projetos de aproveitamentos hidrelétricos**. Revisão 1.0. Brasília: ANEEL, 2009. 26p.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 116, de 29 de novembro de 2004**. Brasília: ANEEL, 2004.

ALMEIDA, J. H. **Caracterização e avaliação de imprevistos geológicos em obras de pequenas centrais hidrelétricas (PCH's)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2006.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING - ASPRS. **Guidelines vertical accuracy reporting for LIDAR data**. Version 1.0. ASPRS Lidar Committee (PAD), 2004. 20p.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING - ASPRS. **LIDAR Data exchange format standard**. Version 1.0. 2003. 9p.

ANÁLISE ENERGIA - ANUÁRIO 2012. **As usinas gigantes saíram do papel.** São Paulo: Análise Editorial, 2012. p. 70 - 71.

ASTER GDEM VALIDATION TEAM. **ASTER Global Digital Elevation Model version 2 – Summary of validation results.** METI & NASA, 2011. 26p.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BAGGIO, E. R. **Aspectos sobre a reprodução socioeconômica das unidades familiares rurais atingidas pela Usina Hidrelétrica Quebra Queixo.** 2003. Dissertação (Mestrado em Agro ecossistema) - Programa de Pós-Graduação em Agro ecossistema, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BAIO, M. **Leitura e utilização de plantas e cartas topográficas.** Texto de apoio às aulas da unidade curricular de Cartografia. Setúbal: Escola Superior de Tecnologia – Barreiro – Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal. 2006/2007.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. **Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 1243 - 1250.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: UFSC, 1994.

BOCCO, G.; VELAZQUEZ, A. SIEBE, C. **Using geomorphologic mapping to strengthen natural resource management in developing countries The case of rural indigenous communities in Michoacan, Mexico.** CATENA. Cidade do México: Volume 60, Issue 3, 2005. p. 239 - 253.

BRANDALIZE, M. C. B. **A qualidade cartográfica dos resultados do Laser scanner Aerotransportado.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil,

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1931. **Decreta o Código de Águas**. Rio de Janeiro, DF, 1934.

BRASIL. Decreto Nº 5.334, de 06 de Janeiro de 2005. **Dá nova redação ao Art. 21 e revoga o Art. 22 do Decreto Nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. **Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE**. Brasília, DF, 2008.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. **Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, DF, 1984.

BRASIL. Decreto nº 4.932, de 23 de Dezembro de 2003. **Dispõe sobre a delegação de competências à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL previstas na Medida Provisória nº 144, de 10 de dezembro de 2003, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Decreto nº 4.970, de 30 de Janeiro de 2004. **Dá nova redação ao art. 1º do Decreto nº 4.932, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a delegação de competências à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL previstas na Medida Provisória nº 144, de 11 de dezembro de 2003, e define o índice de atualização monetária das quotas de que trata o § 1º do art. 13 da Lei nº10.438, de 26 de abril de 2002**. Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Decreto-Lei nº 243, de 28 de Fevereiro de 1967. **Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências**. Brasília, DF, 1967.

BRASIL. Lei nº 3.390, de 25 de abril de 1961. **Autoriza a União a constituir a Empresa Centrais Elétricas Brasileiras S. A. - ELETROBRÁS, e dá outras providências**. Brasília, DF, 1961.

BRASIL. Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960. **Cria os Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia, e dá outras**

providências. Brasília, DF, 1960.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de Janeiro de 2002. **Institui o Código Civil.** Brasília, DF, 2002.

BRASIL. Lei nº 8.987, de 13 de Fevereiro de 1995. **Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.** Brasília, DF, 1995.

BRASIL. Lei Nº 9.074, de 7 de Julho de 1995. **Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.** Brasília, DF, 1995.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de Dezembro de 1996. **Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disciplina o Regime das Concessões de Serviços Públicos de Energia Elétrica e dá outras providências.** Brasília, DF, 1996.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** In: CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S.; OGURA, A.T. (Org.). Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BRASIL. Portaria nº 014, de 28 de abril de 2014 do Departamento de Ciência e Tecnologia. **Aprova a Norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais.** 1ª Edição. Brasília, DF, 2014.

BRUMMELEN, G. VAN. **Lunar and planetary interpolation tables in Ptolemy's Almagest.** Journal for the History of Astronomy. Alberta: vol. 25, no. 4, 1994. p. 297 – 311.

CALMON, A. T. et al. **Tecnologia de mapeamento digital a laser e**

suas aplicações em hidrologia urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ABRH, 2003.

CANALI, G. V. **A definição e a importância do projeto Uruguai.** In: SANTOS, S. C.; REIS, M. J. (Org.). Memória do Setor Elétrico na Região Sul. Florianópolis: UFSC, 2002. p. 111- 130.

CASTRO, L. W. A. **Risco geológico e geotécnico associado a projetos de implantação de PCHs – O caso da PCH Cachoeirão.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Pós Graduação em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008.

CGIAR CSI – INTERNATIONAL RESEARCH CENTERS CONSORCIUM FOR SPATIAL INFORMATION. **SRTM Data Processing Methology.** Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/SRTMdataProcessingMethodology.asp>>. Acesso em: 01 jan. 2014.

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica.** 2002. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CHIEN, P. **Endeavour maps the world in three dimensions.** Geoworld, n. 37, 2000. p. 32 – 38.

CHRISMAN, N. R. **Exploring Geographic Information Systems.** New York: J. Wiley, 1997.

COELHO, A. L. N. **Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens.** Caminhos de geografia. v. 9, n. 26. 2008. p. 16 – 32.

CUNHA, S. B. **Geomorfologia Fluvial.** In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.) Geomorfologia uma base de atualização e conceitos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 211 - 252.

DEMEK, J. **Generalization of Geomorphological Maps.** In PROGRESS MADE IN GEOMORPHOLOGICAL MAPPING OF U.G. I. Praga: 1972.

DEVICARI, L. F. **O Modelado de Dissecação do Relevo como Fator Topográfico na Equação Universal de Perda de Solo Aplicado ao Município de São Pedro do Sul – RS.** 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DUARTE, P. A. **Fundamentos de Cartografia.** 3. Ed. Florianópolis: UFSC, 2008.

ELETOBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas.** 1999.

ELETOBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Diretrizes para Projetos de PCH.** 2000.

ELETOBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Instruções para Estudos de Viabilidade.** 1997.

ELETOBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas.** 2007.

ELETOBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro - SIPOT.** 2007.

ELETOBRAS ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
Disponível em
<<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=743>>. Acesso em:
01 ago, 2013.

ELETOBRAS ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **UHE Passo São João - Informações Sobre o Programa Básico Ambiental.** Relatório Técnico. 2011.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia.** 1ª edição. Porto Alegre: Globo, 1965.

ESRI. ARCGIS VERSION 10.2. **Environmental Systems Research Institute.** Redlands: ESRI, 2013.

FARIA FILHO, R. F. **Avaliação do Potencial Hidráulico em Bacias Hidrográficas por meio de Sistemas de Informações Geográficas.**

2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - FEMA. **Appendix N: Data Capture Standards in Map Modernization: Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners.** Washington: FEMA, 2004. 115 p.

FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE - FGDC. **Geospatial Position Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy.** Washington: FGDC, 1998.

FELGUEIRAS, C. A. **Análises Sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas e Informações Geográficas.** São José dos Campos: DPI - INPE, 2009.

FELGUEIRAS, C. A. E CAMARA, G. **Modelagem Numérica de Terreno.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2013.

FRANCISCO, H. R. **Qualidade de dados espaço-temporal: Estudo de caso de acurácia posicional e atualização.** 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial.** International Geoid Service. Milan: IGeS Bulletin nº 9, 1999. p. 47 – 62.

FUCKNER, M. A.; FLORENZANO, T. G.; MORAES, E. C. **Avaliação altimétrica de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais...Natal: INPE, 2009. p. 683 - 690.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas.** In: Congresso Brasileiro de cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, 1., 1994, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, 1994. p. 41 – 48.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: UFPR, 2004.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. Curitiba: UFPR, 1994.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp. 2008.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4^a Ed. Rio de Janeiro: IBGE. 1972.

HUTCHINSON, M. F. AND DOWLING, T. I. **A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia**. Hydrological Processes 5. 1991. p. 45 - 58.

HUTCHINSON, M. F. **Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis**. In ENVIRONMENTAL MODELING WITH GIS. GOODCHILD, M. F. et al. (Orgs.). New York: Oxford University Press, 1993. p. 392 – 399.

HUTCHINSON, M. F. et al. **Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data**. In WORLD IMACS / MODSIM CONGRESS, 18th, 2009, Cairns. Proceedings...Cairns: MODSIM,2009. p. 2493 - 2499.

HUTCHINSON, M. F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. Journal of Hydrology, v. 106. 1989. p. 211 - 232.

HUTCHINSON, M.F. **Calculation of hydrologically sound digital elevation models**. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 3th,1988, Columbus. Proceedings... Columbus: 1988. p. 117- 133.

IESCHECK, A. L. **Representação e visualização volumétrica de dados espaciais para avaliação de solos**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –

IBGE. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoes/elementos_representacao.html>. Acesso em: 01 dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Resolução nº 01/2005. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro.** Rio de Janeiro: IBGE, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Resolução nº 22/1983. Aprova as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro.** Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Resolução nº 23/1989. Fica alterado, na forma do Anexo, o Apêndice II da R.PR-22, de 21.07.83, itens 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, relativo aos Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos.** Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

ISHIKAWA, M. I. **Potencialidades de uso de imagens Ikonos/Geo para aplicações em áreas urbanas.** 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2001.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. **O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas.** In ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15., 2006, Caxambu. Anais... Caxambu: ABEP, 2006.

JENSEN. J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres.** Tradução da Segunda Edição. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

JET PROPULSION LABORATORY – JPL. Disponível em:
<<http://www-radar.jpl.nasa.gov/srtm>>. Acesso em: 01 jan. 2014.

KANT, IMMANUEL. **Crítica da Razão Pura.** 1787. Tradução de Santos, M. P.; Morujão, A. F. 7. ed. Lisboa: Fundação CalousteGulbenkian, 2010.

KANT, IMMANUEL. **Histoire Générale de la Nature et Théorie du**

Ciel.1755. Paris: LibrairiePhilosophique J. Vrin, 1984.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas.** Texto Didático 02. Rio Claro: DGA/IGCE/UNESP, 2000. 20 p.

LEME, A. A. **A Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro Privatização e Crise em Perspectiva.** In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C.; LEME. A. A. (Orgs.). Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil. São Carlos: RiMa, 2001.

LOURENÇO, W.; LANDIM, P. M. B. **Comparação entre métodos de interpolação para Sistemas de Informações Geográficas.** Revista Universidade Guarulhos: Geociências. ANO IV N°6. Guarulhos: 1999. p. 33 - 45.

MACHADO, K. J. et al. **Determinação Automática da Capacidade de Armazenamento de um Reservatório.** Revista Brasileira de Cartografia. N° 62. Edição especial 01, 2010.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso.** Revista Brasileira de Geografia Física. Recife: UFPE, 2011. p. 973 – 804.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MAUNE, D. F., MAITRA, J. B., AND MCKAY, E. J. **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual.** American Society for Photogrammetry and Remote Sensin. Maryland: Betesta, 2001. p. 63 – 71.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. **Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quasesinóticos.**Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. Itajaí: UNIVALI, 2009. p. 53 – 64.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. **Avaliação da qualidade altimétrica dos modelos digitais de elevação obtidos a**

partir da missão SRTM e de curvas de nível do mapeamento sistemático nacional na escala 1:100000 para o Estado de Goiás e Distrito Federal. In SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO E SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 9. e 2., Brasília. Anais...Brasília: Embrapa, 2008.

MEIJERING, E. **A chronology of interpolation: From ancient astronomy to modern signal and image processing.** Proceedings of the IEEE, 2002. p. 319 – 342.

MERCHANT, D. C. **Spatial accuracy standards for large scale line maps.** In AMERICAN CONGRESS ON SURVEYING AND MAPPING, v.1, 1982.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** 2ª Edição. Brasília: Editora Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 433p.

MONICO, J.F.G.: **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: UNESP - FEU, 2008.

MOREIRA, J.R.; POOLE, A.D. **Hydropower And It's Constraints, Renewable Energy.** Washington: Island Press 1993.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** São José dos Campos: INPE, 2003.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água.** 2006. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MÜLLER, A.C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: Makron Books, 1996.

NASA SRTM. **Shuttle Radar Topography Mission.** Pasadena: Jet Propulsion Laboratory – JPL. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2013.

NATIONAL DIGITAL ELEVATION PROGRAM – NDEP. Disponível em <http://www.ndep.gov/>. Washington: NDEP, 2006.

NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY - NIMA. **Information about WGS84 and EGM96.** Disponível em: <<http://cddis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>>. Acesso em: 01 jan.2014.

NATO STANDARDIZATION AGENCY - NSA. **Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data, STANAG (Standardization Agreement) n°2215.** 6° Edição. Bruxelas: NATO, 2001.

NATURAL RESOURCES CANADA. Disponível em: <http://maps.nrcan.gc.ca/topo_metadata/aid_e.php>. Acesso em: 01 ago. 2009.

NERO, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

NEUGEBAUER, O. **A History of Ancient Mathematical Astronomy.** Berlin: Springer – Verlag, 1975.

NEUGEBAUER, O. **AstronomicalCuneiformTexts. Babylonian Ephemerides of the Seleucid Period for the Motion of the Sun, the Moon and the Planets.** London: LundHumphries, 1955.

NOGUEIRA, J. D. L.; AMARAL, R. F. A. **Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo toRaster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p. 4117 – 4123.

NORMA BRASILEIRA - **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico.** Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1994. 35 p.

OLIVEIRA, C. **Dicionário Cartográfico.** Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

OLIVEIRA, C.G.; PARADELLA, W.R. **An Assessment of the Altimetric Information Derived from Spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and Optical (ASTER) Data for**

Cartographic Application in the Amazon Region. Sensors, v.8, 2008. p. 3819 - 3829.

PEREIRA, R. **A estatística e suas aplicações.** Porto Alegre: Grafosul, 1978.

PINHEIRO, E. S. **Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado.** Revista Brasileira de Cartografia N° 58/01, 2006. 9p.

PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. **Análise da Exatidão de Diferentes Métodos de Interpolação para Geração de Modelos Digitais de Elevação e Obtenção de Características Morfométricas em Bacias Hidrográficas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 2, 2005. p. 39 - 47.

PITTA, A. S. et al. **A influência de fatores imprevisíveis às ciências da Engenharia e geologia nas obras de infraestrutura viária.** In ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA – ENACOR, 10., Joinville. Anais... Joinville: DEINFRA/SC, 2005.

PRADO JUNIOR, F. A. **Riscos Regulatórios no Brasil – Obstáculo ao Desenvolvimento de PCH's.** Revista Espaço Energia. Número 09. 2008. 7p.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. **The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar.** Journal Of Photogrammetry & Remote Sensing. ISPRS, V. 57, 2003. p. 241 – 262.

REDWEIK, P. **Fotogrametria Aérea.** Apostila. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007.

RIBEIRO, C.A.A.S.; SOARES, V.P.; OLIVEIRA, A.M.S.; GLERIANI, J.M. **O Desafio da delimitação de áreas de preservação permanente.** Revista Árvore, v.29, n.2. Viçosa: 2005. p. 203 - 212.

ROCHA, V. **Utilização do Geoprocessamento para Simular Reconstituição do Relevo Após Atividades de Mineração.** 2011.

Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Curso de Especialização em Geoprocessamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

RODRIGUES, T. L.; DEBIASI, P.; SOUZA, R. F. **Avaliação da adequação dos produtos aster GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., Recife. Anais... Recife: UFPE, 2010. p. 001 – 005.

ROSS, J. L. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo.** Revista do Departamento de Geografia, v. 6. 1992. p. 17 – 29.

SAITO, N. S. **Modelos Digitais de Elevação na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Horizonte, Alegre – Espírito Santo.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

SANTOS, M. S. R. dos. **Manual de Fundamentos Cartográficos e Diretrizes Gerais para Elaboração de Mapas Geológicos, Geomorfológicos e Geotécnicos.** São Paulo: IPT, 1989.

SANTOS, P.R.A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L.C. **Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p. 4473 – 4480.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5ª Edição. Revista e Ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SANTOS, R. D. ; LEMOS, R. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Campinas: SBCS/SNLCS, 1984.

SANTOS, S. C.; HENRIQUES, K. N. R. **Hidrelétricas e o Processo de Privatização no Cenário Brasileiro.**In BAZALOTE, A. O.; CATULLO, M. R.; RAOVICH, J.C. Antropologia y Grandes Proyectos en el Mercour. La Plata: Minerva, 2001. 212 p.

SERRA, J., **Image Analysis and Mathematical Morphology**. Academic Press, 1982.

SILVA, A. D. **O Reassentamento Rural de Itaparica: conflitos e transformações no espaço agrário do Submédio São Francisco – Bahia/Pernambuco**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1997.

SOUSA JÚNIOR, W. C. **Geoprocessamento aplicado à determinação de parâmetros de alagamento do reservatório da usina hidrelétrica de Serra da Mesa, Minaçu, Goiás**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos. Anais... Santos: INPE, 1998. p. 695 – 700.

SOUZA, J. M.; LOCH, R. E. N. **Análise e Melhoria da Qualidade Altimétrica dos Dados da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3**. Revista Brasileira de Cartografia nº 60/02, 2008. p. 155 - 166. SPIEGEL, M. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

TIAGO FILHO, G. L.; NUNES, C. F.; ALVES, L. H. F. **Uso de Ferramenta SIG em Estudos de Inventário de Rios para Aproveitamento Hidroenergéticos de Pequeno Porte**. PCH Notícias SHP News, v. 9, n. 38, 2008. p. 24 - 27.

TOOMER, G. J. **“Hipparchus,” in Dictionary of Scientific Biography**. In: GILLISPIE, C. C.; HOLMES, F. L. (Orgs.) New York: Scribner, vol. XV, 1978. p. 207 – 224.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

VARGAS, R. M. A. **Avaliação dos dados Laser Scanner para determinar modelos de terreno em áreas cobertas por floresta ombrófila densa alterada na Amazônia**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VIEIRA, A. J. B.; SLUTER, C. R.; FIRKOWSKI, H.; DELAZARI, L. S. **Cartografia**. Apostila. Curitiba: UFPR, 2004.

WAHBA, G. **Spline models for Observational data**. In: REGIONAL CONFERENCE SERIES IN APPLIED MATHEMATICS. Philadelphia:

APÊNDICE – CD