

Revista Brasileira de Cartografia (2016) N^o 68/1: 15-42
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO ALTIMÉTRICA SRTM E ASTER GDEM EM ÁREAS DE RELEVOS DIFERENCIADOS

Evaluation Altimetry SRTM and ASTER GDEM In Different Reliefs

Vivian da Silva Celestino¹ & Jürgen Wilhelm Philips²

^{1,2}Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Departamento de Engenharia Civil

Rua João Pio Duarte da Silva, 205 - CEP 88037-000 - Florianópolis - SC – Brasil.

¹viviancart@yahoo.com.br, ²jphilips@gmx.net

Recebido em 28 de Maio, 2014/ Aceito em 21 de Novembro, 2015

Received on May 28, 2014/ Accepted on November 21, 2015

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, nas etapas de projeto de usinas, 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 visa definir as tolerâncias altimétricas dos modelos digitais SRTM e ASTER GDEM e se os mesmos são suficientes, *a priori*, para simular a cota de alagamento de usinas hidrelétricas em relevos diferenciados. Para atender aos objetivos foi desenvolvido um método para avaliar a qualidade dos modelos priorizando a morfologia, de forma que as informações altimétricas provenientes dos modelos e dos levantamentos de campo, quando confrontadas, apresentem suas reais diferenças superficiais. Para tanto foram utilizadas três áreas de estudo com relevos diferenciados. Para validar os modelos foram realizadas avaliações de acordo com o PEC e o STANAG 2215 e também a avaliação em relação ao Código Civil nas formas relativa e absoluta. No final, é apresentada a proposta de avaliação morfológica que levou em consideração os relevos das regiões e os consequentes reflexos ocasionados pela demarcação gráfica de superfícies simuladas extraídas dos MDE quando comparadas com as superfícies reais demarcadas em campo.

Palavras chaves: Exatidão Altimétrica, Cartografia, Relevo, MDE.

ABSTRACT

Hydroelectric plants have impacts that are usually estimated by an indicator which is hydroelectric power produced per hectare of inundated area and, despite the use cartographic databases with entrepreneurs declared to meet the standards, the design steps of plants, quality is not verified safely *a priori* if the altimetry tolerance of such bases is sufficient to ensure no increase in impacts, becoming, in the consolidation, a big problem. This work aims at defining the altimetric tolerances of SRTM and ASTER GDEM digital elevation models and whether they are sufficient, *a priori*, to simulate the odds of flooding of hydroelectric plants in different reliefs. To meet the objectives we developed a method for assessing the quality of models prioritizing morphology, so that the altimetric information from models and field surveys, when confronted, present their real superficial differences. For both the three study areas with different reliefs were used. To validate the models reviews according to the PEC and STANAG 2215 and also reviewed in relation to

the Civil Code in relative and absolute forms were performed. The proposed morphological evaluation that took into account the reliefs of the regions and the resulting reflections caused by graphical demarcation of simulated surfaces extracted from DEM compared with the actual areas demarcated in the field is presented in the end.

Keywords: Accuracy Altimetry, Cartography, Relief, DEM.

1. INTRODUÇÃO

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, que atrai as águas para as regiões de baixas altitudes até o encontro com o oceano ou uma barreira. Quando o fluxo das águas encontra uma barreira e passa por uma usina é gerada uma energia, denominada de hidrelétrica (CELESTINO & PHILIPS, 2015).

As hidrelétricas, de forma geral, utilizam reservatórios para equalizar as vazões da água que movem as turbinas. Essas barragens são construídas preferencialmente em gargantas estreitas, com grande profundidade e relativamente pequenas áreas inundadas. 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 & LUCON, 2008) e causam impactos.

O impacto de um empreendimento hidrelétrico pode ser usualmente estimado por um indicador que é a potência hidrelétrica produzida em kilo Watt (kW) por hectare (há) de área inundada. Quanto maior for esse número, menores são os possíveis impactos sobre o meio ambiente (MOREIRA & POLLE, 1993).

O alagamento é um indicador importante para o impacto ambiental de hidrelétricas, mas não o único. 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).

Apesar da utilização de bases cartográficas com qualidade declarada para atender às normas da ANEEL e Eletrobras, na etapa de estudos, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos socioambientais no momento de consolidar os projetos (CELESTINO & PHILIPS, 2015).

No trabalho de Celestino & Philips (2015) foram apresentados os resultados relativos à aplicação do método proposto por Celestino (2014) em Modelos Digitais de Elevação (MDE) advindos de curvas de nível restituídas a partir de aerofotogramas e também de cartas do mapeamento sistemático brasileiro para duas áreas de estudo, a Usina Hidrelétrica Passo São João (UHEPSJ) e a Usina Hidrelétrica São Domingos (UHESD) para simular a cota de alagamento.

Especificamente neste trabalho foi aplicado o método em MDE advindos dos produtos SRTM e ASTER GDEM.

No geral a pesquisa de Celestino (2014) visou definir se os modelos e suas respectivas tolerâncias altimétricas eram suficientes ao dimensionamento das áreas de abrangência de hidrelétricas vinculadas ao relevo da futura região e não somente aos produtos e suas escalas, conforme determina a ANEEL, e suas respectivas avaliações altimétricas isoladas, conforme determina o Decreto 89.817/84.

Para atender aos objetivos da pesquisa foi desenvolvido um método para avaliar a qualidade dos modelos priorizando a geomorfologia, de forma que as informações altimétricas provenientes dos mesmos e dos levantamentos de campo, quando confrontadas, pudessem apresentar suas reais diferenças superficiais.

Para tanto neste trabalho estão sendo apresentados os resultados da aplicação em três áreas de estudo com relevos diferenciados, a (UHEPSJ), a (UHESD) e a Pequena Central Hidrelétrica Coxilha Rica (PCHCOX), de propriedade da Eletrosul.

Em síntese, a pesquisa visou definir que a principal informação que deve ser extraída de uma base cartográfica ao se esboçar os primeiros projetos de uma hidrelétrica é a altimétrica em forma de uma linha que simula o alague. Essa linha necessariamente surge de interpolações ou extrapolações a partir de pontos cotados, curvas de nível, MDE ou similares já existentes, e necessita ser utilizada dentro de padrões de qualidade atrelados ao relevo da área.

2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

Os conceitos apresentados a seguir apresentam as etapas dos projetos hidrelétricos, os elementos geométricos do relevo, a legislação cartográfica nacional e os padrões de exatidão internacionais utilizados na pesquisa. Apresenta também uma introdução ao interpolador *Topo to Raster*, faz um breve relato da teoria elementar da probabilidade e testes estatísticos e, no final, uma descreve os MDE do SRTM e ASTER, utilizados no trabalho.

2.1 Etapas de Estudos e Projetos para Implantação de um Aproveitamento Hidrelétrico

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 – 3ª edição de 2007), resumidamente, as etapas de estudos e projetos para implantação de um aproveitamento hidrelétrico são divididas em várias fases conforme descrição a seguir (ver detalhes em Celestino (2014)):

- **Estimativa do Potencial Hidrelétrico:** análise preliminar das características da bacia hidrográfica, pautada nos dados disponíveis e realizada em escritório.
- **Inventário Hidrelétrico:** concepção e análise de várias alternativas de divisão de queda para a bacia hidrográfica. Contemplam as fases de Planejamento do Estudo; Estudos Preliminares; Estudos Finais e; Avaliação Ambiental Integrada da Alternativa Selecionada.
- **Viabilidade:** análise da viabilidade técnica, energética, econômica e socioambiental. Contemplam investigações de campo e o dimensionamento do reservatório e área de influência e das obras de infraestrutura.
- **Projeto Básico:** definição das características técnicas do projeto, das especificações técnicas das obras civis, dos equipamentos e dos programas socioambientais.
- **Projeto Executivo:** contempla a elaboração dos desenhos dos detalhamentos das obras civis e dos equipamentos, necessários à execução da obra e à montagem dos mesmos (implantação do reservatório).

2.2 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 inclinação traduz o ângulo médio da encosta com eixo horizontal medido, geralmente, a partir de sua base. A declividade representa o ângulo de inclinação em uma relação percentual entre o desnível vertical e o comprimento na horizontal da encosta, de acordo com as formulações a seguir:

$$\text{Equação 1: } I = \text{ARCTAN} (H/L)$$

$$\text{Equação 2: } D = H/L \times 100$$

onde:

I é a inclinação

D é a declividade

H é o desnível vertical

L é o comprimento na horizontal

A Tabela 1 apresenta a relação entre os valores de inclinação e declividade.

Tabela 1: Relação entre inclinação e declividade

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

Fonte: BRASIL (2007)

Lemos e Santos (1984) também definiram classificações de declividade do relevo, porém em função da geomorfologia do terreno em:

- Plano: declividades menores que 3%.
- Suave ondulado: declividades entre 3 e 8%.
- Ondulado: declividades entre 8 e 20%.
- Forte ondulado: declividades entre 20 e 45%.
- Montanhoso: declividades entre 45 a 75%.
- Escarpado: declividades maiores que 75%.

2.3 Qualidade Cartográfica

As pesquisas envolvendo o termo qualidade possuem inúmeras definições, destacamos abaixo, as mais relevantes para este trabalho:

- Juran e Gryna (1991) apresentam a palavra qualidade com dois significados: a qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes e dessa forma proporcionam a satisfação em relação ao produto e; a qualidade é a ausência de falhas.
- Paladini (1990) apresenta cinco abordagens para definir qualidade, que podem ser identificadas como: transcendental; centrada no produto; centrada no usuário; centrada na fabricação e; centrada no valor.

A qualidade também pode ser expressa através de termos geométricos, como a exatidão que apresenta o grau com que a informação espacial está registrada em sua verdadeira posição, com relação a um referencial terrestre e com referência às outras informações adjacentes ou em relação à precisão que pode ser definida como o grau de concordância de uma série de medidas feitas sobre condições similares (associa-se ao desvio padrão das medições).

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.

As observações realizadas pelo homem provenientes de levantamentos terrestres são caracterizadas através da presença de erros inerentes ao processo, divididos em categorias de acordo com suas formas, podendo ser grosseiros – provenientes de falha humana; sistemáticos – provenientes de defeitos ou imperfeições nos equipamentos e; aleatórios – causados pela influência das condições ambientais, sem que haja, às vezes, uma causa conhecida na hora da tomada de informações (GEMAE, 1994).

Os erros grosseiros são erros provenientes, geralmente, de falha humana e podem ser identificados através de testes estatísticos que permitem ter sua observação rejeitada ou não. Os erros sistemáticos tendem a se acumular, podendo ser evitados através de técnicas

especiais ou serem eliminados *a posteriori* mediante modelagem matemática. Os erros aleatórios tendem a se neutralizar quando o número de observações cresce, por isso antes de se iniciar um ajustamento, devem-se depurar as observações de todas as tendências sistemáticas, para que se possam ajustar somente os erros aleatórios.

Para se estimar o erro ou exatidão *a priori* de uma observação ou de um produto cartográfico se utiliza o princípio da propagação de erros. Esse princípio surge da proposição de que se uma observação é obtida com influência de valores eivados de erros e os produtos resultantes também sofrerão influência destes erros.

A estimativa de exatidão *a priori* é aquela que se origina de dados ainda não levantados. É calculada através da propagação de erros que deverão ser levados em consideração na hora do levantamento e processamento sendo que, o valor final da observação, após o ajuste, não deverá ultrapassar o valor definido na propagação *a priori*.

A avaliação da exatidão *a posteriori* é aquela que se origina através de dados já levantados e deverão ser calculados e processados, retornando o valor final do erro da observação.

A avaliação de um produto deve ser realizada toda vez que se utilizar um documento que não tem especificado qual é a sua qualidade geométrica, que é o caso de imagens orbitais (CELESTINO *et al*, 2005). A avaliação da qualidade do processo deve ser realizada durante as etapas de trabalho, através da definição de critérios que garantam a exatidão dos dados.

A avaliação do produto final deverá ser realizada através do teste de carta, por diferentes métodos ou conforme o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC).

2.3.1 Legislação Cartográfica

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.

O referido Decreto apresenta uma avaliação da qualidade do mapa no tocante à exatidão das informações cartográficas, criando o PEC e uma classificação, conforme apresentação da Tabela 2.

Tabela 2 - PEC 1984 Altimetria

Carta	PEC 1984	Erro padrão (EP)
Classe A	1/2 equidistância	1/3 da equidistância
Classe B	3/5 equidistância	2/5 da equidistância
Classe C	3/4 equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: BRASIL (1984)

A Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) e a Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) adotaram um novo padrão de qualidade, denominado Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCDG) (BRASIL, 2014).

O conjunto de valores preliminares para estes padrões foi intitulado Padrão de Acurácia e Precisão para Produtos Cartográficos Digitais (PAP – PCD), com definições e valores análogos ao PEC.

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 EP. Foram definidas também tolerâncias para produtos digitais como: Modelos Digitais de Terreno (MDT), MDE, Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Pontos Cotados.

Internacionalmente, em relação à legislação cartográfica, existem vários documentos vigentes e em elaboração. A seguir está descrito, portanto, um dos documentos mais utilizados.

Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data (STANAG) 2215: documento proveniente do acordo de padronização da *North Atlantic Treaty Organisation* (NATO) 2001 (NSA, 2001), que descreve a metodologia para a aquisição de informações planialtimétricas a partir de uma amostra com 167 pontos. As classificações dos produtos em relação às exatidões altimétricas necessárias estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Exatidão Vertical STANAG 2215

Classificação		0	1	2	3	4
Escala	1/25.000	2,5m	5m	10m	Pior que classe 2	Não determinada
Escala	1/50.000	5m	10m	20m		
Escala	1/100.000	10m	20m	40m		
Escala	1/200.000	20m	40m	80m		
Escala	1/250.000	25m	50m	100m		

Fonte: Afonso *et al* (2006)

O STANAG trata a exatidão vertical absoluta como um erro linear ao longo do eixo Z.

Em relação às avaliações não pontuais, somente a Lei Nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, do código civil brasileiro, 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.

2.3.2 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.

Para fixar uma decisão, é conveniente formular conjecturas acerca das populações de interesse. Essas suposições são denominadas hipóteses estatísticas que podem ser ou não verdadeiras. Os processos que habilitam a decisão de aceitar ou de rejeitar as hipóteses, ou determinar se a amostra observada difere de modo significativo dos resultados esperados, são denominados testes de hipótese, de significância ou regras de decisão (SPIEGEL, 1978).

Na avaliação da exatidão de bases, adota-se o definido por Spiegel (1978): Testes especiais de significância para grandes amostras. Neste caso específico deve ser utilizado o teste de hipótese ou de significância em relação à média, da distribuição de *T-Student*, utilizando-se o desvio padrão amostral:

$$\text{Equação 3: } t_x = (X - \mu_0) / S/\sqrt{n}$$

onde:

t_x = variável amostral distribuição de *T-student*

X = média amostral

μ_0 = média populacional esperada

S = desvio padrão amostral

n = tamanho da amostra

Para a realização do teste de tendência, assumem-se as seguintes hipóteses:

$$H_0: t_x = 0, \text{ contra}$$

$$H_1: t_x \neq 0$$

Deve-se calcular a estatística amostral “ t ” e verificar se o valor de “ t ” amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O valor de “ t ” amostral é obtido a partir da Equação 3 e o intervalo de confiança relativo ao teste *t-Student* é dado por:

$$\text{Equação 4: } t_x < t_{(n-1, \alpha/2)}$$

Se o módulo do valor calculado para a estatística “ t_x ” for menor que o valor de “ t ” Tabela do, com $(n - 1)$ graus de liberdade e nível de significância α , se aceita a hipótese nula de que a carta pode ser considerada como livre de

tendências significativas.

Quando a estatística “ t_x ” amostral não satisfazer a desigualdade (Equação 4), rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a carta não pode ser considerada como livre de tendências significativas para um determinado nível de significância (NOGUEIRA JÚNIOR, 2003).

A existência de tendência em alguma direção significa a ocorrência de problemas (cujas causas podem ser as mais variadas). Mas uma vez conhecida, o seu efeito pode ser minimizado, pela subtração de seu valor a cada coordenada “lida” na carta (GALO & CAMARGO, 1994).

De acordo com Nogueira Junior (2003), o teste estatístico de *t-student* é o que vem sendo utilizado na prática, pois a princípio assume-se que não se conhece o desvio-padrão populacional. Porém, pode haver casos em que, aplicando-se esse teste a um conjunto de dados contendo tendência, o mesmo pode ser considerado livre de tendências a um determinado intervalo de confiança.

Sugere-se, então, utilizar o desvio-padrão “populacional” da classe da carta analisada, ao invés do amostral. Desta forma o teste passa a ser baseado na distribuição normal, ou seja:

$$\text{Equação 5: } z_x = (X - \mu_0) / \sigma_x/\sqrt{n}$$

O intervalo de confiança é dado por:

$$\text{Equação 6: } z_x < z_{(\alpha/2)}$$

2.4 Interpolação Espacial e o Método *Topo to Raster*

A definição mais simples de interpolação envolve o processo de determinar valores desconhecidos de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados, assumindo que o fenômeno que está sendo predito é aproximado de perto pela função matemática usada. Os valores desconhecidos são então calculados de acordo com esta função. Os melhores resultados são obtidos quando a função matemática se comporta de maneira similar ao fenômeno (MIRANDA, 2010).

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. Esse procedimento é automatizado nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), mas o fator humano pode construir essas linhas de formação numa maneira melhor do que na maioria dos algoritmos automatizados (MIRANDA, 2010 APUD CHRISMAN, 1997).

Existem vários interpoladores para diversas finalidades. Na pesquisa de Celestino (2014), após várias pesquisas acerca de interpoladores, chegou-se a conclusão que, para atender aos objetivos propostos, o método *Topo to Raster* era suficiente.

Hutchinson *et al* (2009) observa que o método ANUDEM (no qual o *Topo to Raster* é baseado) é indicado para gerar modelos de elevação acurados, já que o efeito erosivo da água altera substancialmente o contorno do relevo. O método foi especificamente projetado para criar uma superfície que representa mais de perto uma drenagem natural e preserva melhor as linhas de cume. A versão atual do ANUDEM usado em ArcGIS é a 5.3.

2.5 Radio Detection and Ranging (RADAR) Space Shuttle Topography Mission (SRTM)

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 (SAR) podem, muitas vezes, fornecer informação topográfica tridimensional que são tão precisas quanto os modelos de elevação digital obtidos pelas técnicas fotogramétricas tradicionais. 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 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 em mais de 80

por cento da área emergida da Terra, entre 60 graus Norte e 56 graus Sul (NASA SRTM, 2013).

MDE derivados do SRTM de grande parte do planeta, estão agora, disponíveis com uma resolução espacial de 3 arc – seg (90 m). No entanto, uma considerável quantidade de dados já foi processada para uma resolução de 30 m. Os dados podem ser adquiridos por meio do site <http://www-radar.jpl.nasa.gov/srtm> (JPL, 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 MDE obtidos através de SRTM, alguns deles mostram resultados acima do esperado, como em Barros e Cruz (2007), por exemplo.

Outros, como em Pinheiro (2006), o MDE se adequou para utilização somente na escala 1: 250.000 ou menor e, em Faria Filho (2007), o MDE do SRTM não se mostrou adequado para identificar locais com potencial para geração de energia hidrelétrica para a região estudada.

2.6 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

O ASTER é um esforço de cooperação entre a NASA e o Ministério do Comércio Internacional e Indústria do Japão (METI), *Earth Resources Data Analysis Center* (ERSDAC) e o USGS para construção de uma MDE global de livre acesso. É o 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).

A partir de 2009, MDE construídos a partir de 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 3N (nadir) e 3B (*backward*) correspondentes a faixa do infravermelho próximo. Este produto apresenta uma resolução espacial de 30 m e recobre todo globo terrestre. É o mais completo mapa da superfície da Terra, cobrindo 99% de sua superfície. O GDEM

cobriu a superfície terrestre entre as latitudes de 83 graus Norte e 83 graus Sul, com imagens de 1 grau por 1 grau (RODRIGUES *et al*, 2010).

Na página da USGS são apresentadas as acurácias do ASTER GDEM, sendo a acurácia vertical do MDE ASTER GDEM de 20 m para 95% dos pontos coletados na amostra. Ainda no mesmo documento, a acurácia horizontal declarada deste produto é de 30 m (1 pixel) também para 95% da amostra (ASTER GDEM, 2011).

As avaliações em relação ao PEC realizadas por Rodrigues *et al* (2010) mostram que a média das diferenças altimétricas entre as imagens testadas e as coordenadas de referência foi menor que o valor apresentado pelo USGS.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a caracterização das três áreas de estudo, a descrição dos materiais (produtos cartográficos, *softwares* e *hardwares*) e o método utilizado na pesquisa.

3.1 Áreas de Estudo

Foram definidas como áreas de estudo duas UHE e uma PCH de propriedade da Eletrosul. Todas as informações referentes às bases altimétricas foram gentilmente cedidas por esta empresa.

A UHEPSJ localizada no Rio Ijuí, entre os municípios de Roque Gonzales, Dezesseis de Novembro, São Luiz Gonzaga, São Pedro do Butiá e Rolador (Noroeste do Rio Grande do Sul), é uma usina a fio d'água com potência instalada de 77 MW (ELETROBRAS ELETROSUL, 2011). A usina possui área total alagada de 25,24 km², perímetro de 181 km e atingiu 518 propriedades entre rurais e urbanas na sua implantação. Entrou em operação em 2012. O Nível de Alagamento (NA) da usina é de 128,25 m. Ver fotografia panorâmica da UHEPSJ (Figura 1).

A UHESD localizada no Rio Verde, entre os municípios de Ribas do Rio Pardo e Água Clara (Mato Grosso do Sul), também é uma usina a fio d'água e possui potência instalada de 48 MW (ELETROBRAS ELETROSUL, 2013). A usina possui área total alagada de 18,64 km², perímetro de 76,50 km e atingiu 25 propriedades rurais na sua implantação. Entrou em operação em 2013. O NA da usina é de 345 m. Ver fotografia simulada da UHESD (Figura 2).

A PCHCOX localizada no Rio Pelotinhas, entre os municípios de Lages e Capão Alto,

Sudoeste 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 e NA de 872 m. A PCH não foi implantada devido a problemas no licenciamento ambiental e arqueológico. Ver fotografia da PCHCOX (Figura 3).



Fig. 1 – UHEPSJ: Fotografia Panorâmica. Fonte: Eletrobras Eletrosul (2011).



Fig. 2 – UHESD: Fotografia Simulada. Fonte: Eletrobras Eletrosul (2013).



Fig. 3 – PCHCOX: Fotografia. Fonte: Eletrobras Eletrosul (2013).

3.2 Materiais

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

- MDE SRTM;
- MDE ASTER GDEM;
- Levantamentos de campo da Eletrosul: linhas de nivelamento geométrico com exatidão de 5 centímetros (cm) na altimetria e 10 cm na planimetria;
- *Softwares*: AutoCAD Map 2008; ArcGIS 10.1; DXF2XYZ 2.0 A.21 e; Excel 2007;
- *Hardwares*: Computador com processador Xeon CPU 3,20 GHz, 3,19 GHz, memória instalada RAM 8,0 GB e; 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

Neste tópico estão sendo apresentadas todas as etapas da pesquisa. Primeiramente foi realizada uma avaliação da qualidade dos dados por ponto de controle, utilizando como referência o PEC e o STANAG, após foi verificada a existência de tendências através da aplicação de testes de hipóteses. Em seguida a avaliação se deu em relação à morfologia dos terrenos das áreas de estudo e, por último, foram realizadas aplicações práticas ao indicador de M&P e às etapas de projetos de hidrelétricas.

3.3.1 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.

3.3.1.1 Expectativa de exatidão *a priori*

Foi verificada a exatidão declarada dos produtos, de forma a garantir na avaliação, pontos de controle com exatidão três vezes melhor do que a declarada pelas bases testadas. Foram consideradas como exatidões declaradas as definições do item 2.3.1 relativos ao PEC Padrão Classe A planialtimétrico e STANAG 2215 Classe A planimétrico e Classe 0 altimétrico aplicadas às escalas dos produtos.

3.3.1.2 Levantamento das bases de referência

Foi realizada locação em campo e a respectiva materialização (demarcação física por piquetes), do NA para cada UHE, através de nivelamento geométrico de precisão. Para levantamento planimétrico dos pontos piqueteados foi utilizado levantamento orbital GNSS no método relativo e modo estático.

3.3.1.3 Discretização das bases de referência

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

3.3.1.4 Pontos de controle

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.

3.3.1.5 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.

3.3.1.6 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 2.4, 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.

3.3.1.7 Padrões de qualidade

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 2.3.1. Para tanto, as bases testadas foram classificadas segundo os seguintes critérios:

- Os pontos de controle testados utilizados devem representar 100% do universo dos pontos;
- As coordenadas dos pontos de controle testados não devem ultrapassar o erro máximo tolerável, em relação ao PEC e ao EP 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;
- 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.

3.3.1.8 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 e, após, foram realizados os enquadramentos em relação ao PEC e ao STANAG 2215.

3.3.1.9 Testes de Hipóteses

Para os valores das diferenças foram calculadas médias, desvios-padrões amostrais e foram aplicados testes de hipótese para a média, primeiro, através da aplicação da Equação 3 e da Distribuição de *T-Student* e, após, através da

aplicação da Equação 5 e da Distribuição Normal (com atribuição do EP declarado dos produtos como desvio-padrão populacional), onde foram utilizadas as desigualdades da Equação 4 para “tx” e a Equação 6 para “z” e as seguintes hipóteses:

- Hipótese 0 (H_0): se $\Delta X = 0$, aceita que a média amostral é livre de tendências;
- Hipótese 1 (H_1): se $\Delta X \neq 0$, rejeita a hipótese nula e aceita que a média possui tendências.
- Nas bases onde a tendência sistemática foi verificada realizou-se a extração da mesma através de aritmética simples (soma ou subtração).
- Novamente os padrões de qualidade já descritos no item “g” foram aplicados nas bases e novos enquadramentos foram realizados.

3.3.2 Avaliação Morfológica

Nesta etapa foi verificada a qualidade altimétrica dos produtos levando em consideração as dimensões formadas pela superfície abrangida pelas curvas simuladas em relação à curva de referência para cada produto e área de estudo testada.

3.3.2.1 Classificação das áreas em relação à inclinação/declividade

As 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 2.2 através da utilização das formulações da Equação 1 e da Equação 2.

3.3.2.2 Extração das curvas de simulação

Foram extraídas de cada MDE as curvas de nível que simulavam os NA de cada UHE/PCH. A extração das curvas foi realizada de forma automática através da função *Contour*, da ferramenta *Spatial Analyst* do *software* ArcGIS. Para as bases donde foram retiradas as tendências sistemáticas, foram extraídas também as curvas e a estas se denominou a etapa de “Extração das curvas de resimulação”.

3.3.2.3 Generalização cartográfica

Foram realizadas generalizações cartográficas para eliminar ilhas e também as curvas que ultrapassaram a área delimitada pelo NA. Os

limites definidos foram o barramento de cada UHE/PCH, bem como o final do alagamento, à montante de cada rio.

3.3.2.4 Padrões superficiais de qualidade

Para verificar se os produtos testados apresentavam qualidade, ou seja, distribuição homogênea de área formada pelas curvas simuladas/resimuladas em relação às curvas de referência, o método de avaliação seguiu os padrões definidos no item 2.3.1 “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 extraídas diretamente dos produtos testados (MDE) nos seus respectivos NA;
- 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 levou em consideração somente as diferenças de 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/resimuladas 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 levou em consideração, além das 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/resimuladas e as de referência.

3.3.2.5 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/resimuladas e de referência foi utilizada a ferramenta “geoprocessamento” do *software* ArcGIS, especificamente as funções *intersect* e *merge*. Para tanto os seguintes relacionamentos foram utilizados:

$$\text{Equação 7: } NA \cap SI = AC$$

$$\text{Equação 8: } Na \cup SI = AT$$

Sendo:

U = conjunto união de todos os polígonos relacionados espacialmente;

\cap = conjunto interseção dos polígonos comuns relacionados espacialmente;

NA = 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.

3.3.2.6 Avaliação Morfológica Quantitativa

Relativa à avaliação da conformação geométrica dos polígonos formados pelas curvas simuladas/resimulada (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 da Equação 7 e da Equação 8, bem como os abaixo relacionados, foram utilizados:

$$\text{Equação 9: } NA - AC = AD$$

$$\text{Equação 10: } AT - NA = AF$$

Sendo:

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.

3.3.3 Aplicações

Os resultados provenientes das curvas simuladas/resimuladas dos produtos testados permitiram a aplicação prática em duas situações usualmente utilizadas em engenharia, conforme definições dos itens 3.3.3.1 e 3.3.3.2, a seguir.

3.3.3.1 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 levou 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.

3.3.3.2 Etapas de Projetos de Hidrelétricas

Os produtos testados foram enquadrados nas seguintes fases de projetos*:

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.

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, apresentaram 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/resimulação de NA por diferentes bases, as áreas formadas, ora para fora, ora para dentro no ambiente gráfico em relação ao NA de referência (a cota efetivamente demarcada em campo e sua consequente 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/resimulação nas fases de estudo, maiores do que o efetivado nas fases de projetos consolidados podem comprometer as outras fases, 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/resimulação 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.

4. RESULTADOS

Neste capítulo estão sendo apresentados os resultados obtidos nas etapas de avaliação por ponto de controle, da avaliação morfológica, bem como as análises conjunturais de qualidade dos produtos, seus enquadramentos e aplicações.

4.1 Avaliação da Qualidade por Ponto de Controle

Como o MDE do SRTM possui uma exatidão altimétrica declarada (*a priori*) de 16 m (de acordo com item 2.5), valor que pode ser considerado como meia equidistância de curva de nível, para o cálculo da expectativa de exatidão e EP será levada em consideração sua escala compatível, ou seja, 1:80000. As expectativas de exatidão e EP *a priori* para as bases SRTM

testadas estão sendo apresentadas na Tabela 4.

Como o MDE do ASTER possui uma exatidão altimétrica declarada (*a priori*) de 20 m (de acordo com item 2.6), valor que pode ser considerado como meia equidistância de curva de nível, para o cálculo da expectativa de exatidão e EP será levada em consideração sua escala compatível, ou seja, 1:100000. As expectativas de exatidão e EP *a priori* para as bases ASTER testadas estão sendo apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4: Expectativa de exatidão e EP (PEC) para o MDE SRTM

Escala 1:80000	Classe A	Classe B	Classe C
Exatidão (m)	16	19,2	24
EP (m)	10,66	12,8	16

Tabela 5: Expectativa de exatidão e EP (PEC) para o MDE ASTER

Escala 1:100000	Classe A	Classe B	Classe C
Exatidão (m)	20	24	30
EP (m)	13,33	16	20

Cada área de estudo possui uma cota de inundação específica denominada de NA. Para a UHEPSJ foi utilizado o NA de 128,5 m, para a UHESD o NA de 345 m e para a PCHCOX foi utilizado o NA de 872 m.

As informações levantadas por topografia em campo geraram bases altimétricas que, por apresentarem alta exatidão, 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, que tiveram suas coordenadas inseridas em ambiente gráfico na extensão DXF.

Os 181 km da UHEPSJ se transformaram em uma planilha de dimensão 7251 X 3, ou seja, 7251 linhas (pontos) por 3 colunas (coordenadas: leste, norte e altitude). Os 75 km da UHESD se transformaram em uma planilha de tamanho 3529

X 3. Os 12,5 km da PCHCOX se transformaram em uma planilha de tamanho 602 X 3.

Foi realizada a distribuição dos 40 pontos de controle sorteados e os mesmos foram inseridos nas bases, conforme apresentação, por área de estudo nas figuras 4, 5 e 6.

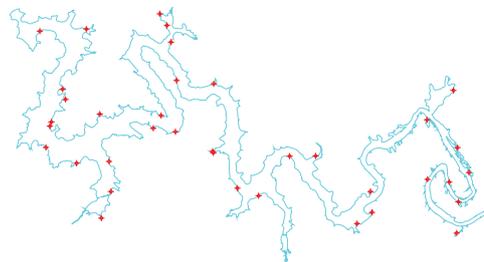


Fig. 4 – UHEPSJ: Distribuição dos Pontos de Controle.

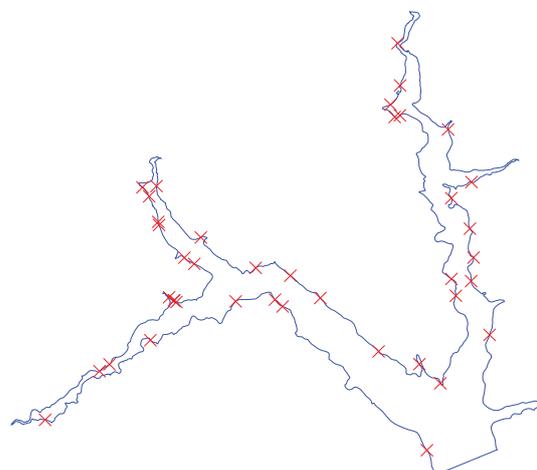


Fig. 5 - UHESD: Distribuição dos Pontos de Controle.

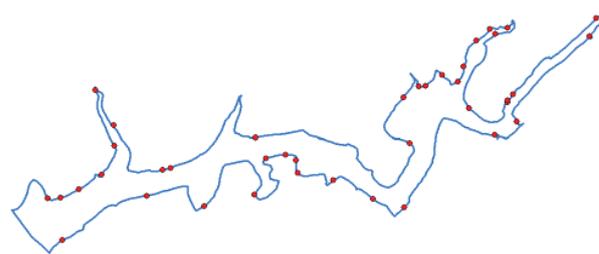


Fig. 6 - PCHCOX: Distribuição dos Pontos de Controle.

Foi analisada a localização dos 40 pontos para cada base de referência em relação às curvas de nível de cada base testada e após foi realizada a interpolação.

Os resultados das interpolações podem ser observados nas tabelas 6, 7 e 8. Nas Tabelas citadas na coluna “ $\Delta NA(m)$ ” estão sendo apresentadas as diferenças de NA.

Tabela 6: UHEPSJ: Diferenças de cotas entre base de referência 1 e bases testadas 1

Base SRTM 1		Base ASTER 1	
Δ NA(m)		Δ NA(m)	
-12,00	-2,00	-2,00	5,59
-7,61	-2,00	-7,97	-21,04
-7,94	-2,00	-2,00	-12,00
-12,00	-6,13	-2,00	-22,00
-8,30	-2,00	8,00	-4,06
-12,00	-3,41	-2,00	-12,00
-11,86	-2,00	-1,10	-11,23
-4,20	-2,00	-2,00	-5,36
-10,70	-7,12	-2,00	-32,00
-2,07	-12,03	-2,00	-3,20
-6,90	-9,74	-10,35	-3,24
-13,78	-8,33	-9,85	-16,96
-2,00	-5,95	-2,00	-15,53
-2,00	-3,09	11,43	-3,11
-5,44	-2,00	-10,47	-2,82
-5,12	-12,00	3,57	-2,00
-13,42	-2,00	-3,05	5,30
-7,57	-12,00	0,34	-13,13
-12,93	-21,28	-10,84	10,93
-12,28	-12,00	-2,00	-12,00

Tabela 8: PCHCOX: Diferenças de cotas entre base de referência 3 e bases testadas 3

Base SRTM 3		Base ASTER 3	
Δ NA(m)		Δ NA(m)	
-8,00	-0,72	-2,55	-2,04
-8,00	-8,15	-8,00	-7,39
-8,00	-8,00	-18,97	-3,56
-8,00	-14,51	2,00	-8,00
0,25	-19,16	-15,85	-8,26
2,00	-20,24	-0,63	-8,15
-2,85	-13,75	9,32	2,00
-6,69	-8,00	10,89	-8,00
-4,56	-8,00	-0,62	-9,02
-2,64	-8,00	-3,76	-8,00
2,00	-8,00	1,54	-8,00
2,00	-8,00	3,87	2,00
12,00	-8,00	2,61	-8,00
-14,13	-8,00	-18,00	-8,00
-14,53	-8,00	-16,95	-13,73
-17,23	-8,00	-8,00	-8,00
-18,03	-8,20	-8,00	-9,48
-4,86	-8,00	7,15	-8,00
-7,13	-8,00	5,37	-8,00
-4,35	-22,49	0,82	-8,00

Tabela 7: UHESD: Diferenças de cotas entre base de referência 2 e bases testadas 2

Base SRTM 2		Base ASTER 2	
Δ NA(m)		Δ NA(m)	
-5,31	-3,27	-10,98	-5,00
-1,06	-5,00	-10,48	-15,00
-4,28	-9,23	-10,77	-15,00
-5,00	-6,29	-13,57	-11,66
-5,00	-5,95	-12,15	-8,45
-5,18	-6,11	-8,20	-9,74
-5,00	-6,69	-15,00	-5,00
-15,69	-6,92	-5,00	-3,42
-8,29	-5,00	-5,00	-5,00
-11,05	-5,24	-5,00	-10,73
-8,42	-5,35	-8,06	-10,98
-5,00	-9,75	-5,00	-6,55
-7,20	-15,00	-11,61	-5,00
-5,41	-15,00	-5,00	-11,74
-5,00	-9,78	-5,00	-5,00
-5,00	-6,59	-5,00	-5,00
-4,95	-6,66	-8,63	-5,00
-1,99	-5,35	-6,46	-5,00
-1,61	-5,34	-14,00	-5,00
-5,42	-5,38	-8,35	-5,00

A média das diferenças dos quarenta pontos das Bases SRTM e ASTER para cada área de estudo podem ser verificadas na Tabela 9.

Tabela 9: Média e desvio padrão das diferenças entre bases de referência e bases testadas

Base	Média (m)	Desvio Padrão (m)
SRTM 1	-7,48	4,77
SRTM 2	-6,49	3,24
SRTM 3	-7,85	6,68
ASTER 1	-5,45	8,82
ASTER 2	-8,16	3,55
ASTER 3	-4,88	7,18

Foram aplicados testes de hipóteses para verificação de tendência sistemática para o conjunto de dados com 39 graus de liberdade e intervalos de confiança de 90%, 95% e 98%, tanto para a estatística “t” quanto para a estatística “z” utilizando neste caso os valores de PEC Padrão Classe A para o EP declarado dos produtos como desvio padrão populacional.

Os valores calculados para as duas estatísticas estão sendo apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados dos cálculos – Análise da tendência

Bases/Distribuições	T-Student	Normal
Base SRTM 1	-11,29	-4,99
Base SRTM 2	-18,58	-5,57
Base SRTM 3	-7,72	-4,77
Base ASTER 1	-10,43	-6,81
Base ASTER 2	-21,08	-5,55
Base ASTER 3	-13,32	-7,08

De acordo com o exposto na Tabela 10 foi rejeitada a hipótese nula de que as bases podem ser consideradas como livres de tendências sistemáticas. Os valores Tabela dos para os intervalos de confiança de 90%, 95% e 97,5%, tanto da distribuição Normal de 1.29, 1.65 e 1.96, quanto da distribuição de T-Student de 1.303, 1.684 e 2.021, são menores do que os valores (em módulo) calculados e não satisfazem as desigualdades da Equação 4 e da Equação 6.

Por meio de aritmética simples os erros sistemáticos foram somados, por base testada. Os novos valores recalculados para as diferenças entre cotas são apresentados nas tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 11: UHEPSJ: Diferenças de cotas entre base de referência 1 e bases testadas 1 – Sem tendência

Base SRTM 1		Base ASTER 1	
Δ Cota (m)		Δ Cota (m)	
4,50	-5,50	-3,00	-10,59
0,11	-5,50	2,97	16,04
0,44	-5,50	-3,00	7,00
4,50	-1,37	-3,00	17,00
0,80	-5,50	-13,00	-0,94
4,50	-4,09	-3,00	7,00
4,36	-5,50	-3,90	6,23
-3,30	-5,50	-3,00	0,36
3,20	-0,38	-3,00	27,00
-5,43	4,53	-3,00	-1,80
-0,60	2,24	5,35	-1,76
6,28	0,83	4,85	11,96
-5,50	-1,55	-3,00	10,53
-5,50	-4,41	-16,43	-1,89
-2,06	-5,50	5,47	-2,18
-2,38	4,50	-8,57	-3,00
5,92	-5,50	-1,95	-10,30
0,07	4,50	-5,34	8,13
5,43	13,78	5,84	-15,93
4,78	4,50	-3,00	7,00

Tabela 12: UHESD: Diferenças de cotas entre base de referência 2 e bases testadas 2 – Sem tendência

Base SRTM 2		Base ASTER 2	
Δ Cota (m)		Δ Cota (m)	
-1,19	-3,23	2,98	-3,00
-5,44	-1,50	2,48	7,00
-2,22	2,73	2,77	7,00
-1,50	-0,21	5,57	3,66
-1,50	-0,55	4,15	0,45
-1,32	-0,39	0,20	1,74
-1,50	0,19	7,00	-3,00
9,19	0,42	-3,00	-4,58
1,79	-1,50	-3,00	-3,00
4,55	-1,26	-3,00	2,73
1,92	-1,15	0,06	2,98
-1,50	3,25	-3,00	-1,45
0,70	8,50	3,61	-3,00
-1,09	8,50	-3,00	3,74
-1,50	3,28	-3,00	-3,00
-1,50	0,09	-3,00	-3,00
-1,55	0,16	0,63	-3,00
-4,51	-1,15	-1,54	-3,00
-4,89	-1,16	6,00	-3,00
-1,08	-1,12	0,35	-3,00

Tabela 13: PCHCOX: Diferenças de cotas entre base de referência 3 e bases testadas 3 – Sem tendência

Base SRTM 3		Base ASTER 3	
Δ Cota (m)		Δ Cota (m)	
0,50	-6,78	-2,45	-2,96
0,50	0,65	3,00	2,39
0,50	0,50	13,97	-1,44
0,50	7,01	-7,00	3,00
-7,75	11,66	10,85	3,26
-9,50	12,74	-4,37	3,15
-4,65	6,25	-14,32	-7,00
-0,81	0,50	-15,89	3,00
-2,94	0,50	-4,38	4,02
-4,86	0,50	-1,24	3,00
-9,50	0,50	-6,54	3,00
-9,50	0,50	-8,87	-7,00
-19,50	0,50	-7,61	3,00
6,63	0,50	13,00	3,00
7,03	0,50	11,95	8,73
9,73	0,50	3,00	3,00
10,53	0,70	3,00	4,48
-2,64	0,50	-12,15	3,00
-0,37	0,50	-10,37	3,00
-3,15	14,99	-5,82	3,00

A nova média das diferenças dos quarenta pontos das Bases SRTM e ASTER com retirada da tendência sistemática para cada área de estudo podem ser verificadas na Tabela 14.

Tabela 14: Média e desvio padrão das diferenças entre base referência e bases testadas – Sem tendência

Base	Média (m)	Desvio Padrão (m)
SRTM 1	0,02	4,77
SRTM 2	0,01	3,24
SRTM 3	-0,35	6,68
ASTER 1	-0,45	8,82
ASTER 2	-0,16	3,55
ASTER 3	0,12	7,18

4.1.1 Avaliação de Acordo com o PEC

Ao observar os resultados expostos nas tabelas 6, 7 e 8, baseado especificamente nas 5 maiores diferenças de cota, destacadas em negrito, onde são desconsiderados os valores com resultados acima do especificado em até 10% (4 pontos num universo de 40), o quinto maior valor em ordem decrescente é considerado limite, ou seja, o valor da exatidão. Com base nestes critérios e nas Tabelas citadas, chega-se aos valores de PEC apresentados na Tabela 14, para as bases SRTM e na Tabela 15 para as bases ASTER.

Tabela 15: Exatidão e EP (PEC) para o SRTM – escala 1:80000

Base	Padrão	Exatidão	EP
UHEPSJ	Classe A	12,5	4,77
UHESD	Classe A	10	3,24
PCHCOX	Classe B	20	6,68

Tabela 16: Exatidão e EP (PEC) para o ASTER - escala 1:100000

Base	Padrão	Exatidão	EP
UHEPSJ	Classe A	16	8,82
UHESD	Classe A	14	3,55
PCHCOX	Classe A	14	7,18

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 15, chega-se a conclusão de que, a maioria das Bases SRTM ficou enquadrada no PEC - Padrão Classe A para a altimetria em relação à exatidão e ao EP. Somente a Base SRTM 3 (PCHCOX) ficou enquadrada no PEC Padrão Classe B.

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 16, chega-se a conclusão de que todas as Bases ASTER ficaram enquadradas no PEC - Padrão Classe A para a altimetria em relação à exatidão e ao EP.

Levando em consideração a tendência sistemática verificada na Tabela 9 e os valores apresentados nas tabelas 10, 11 e 12, após a retirada da tendência, chegam-se aos valores de PEC apresentados na Tabela 17 para as bases SRTM e na Tabela 18 para as bases ASTER.

Tabela 17: Exatidão e EP (PEC) para o SRTM

Base	Padrão	Exatidão	EP	Escala
UHEPSJ	Classe A	-5,5	4,77	1:37500
UHESD	Classe A	-4,89	3,24	1:25000
PCHCOX	Classe A	-10,53	6,68	1:45000

Tabela 18: Exatidão e EP (PEC) para o ASTER

Base	Padrão	Exatidão	EP	Escala
UHEPSJ	Classe A	-15,93	8,82	1:80000
UHESD	Classe A	5,57	3,55	1:30000
PCHCOX	Classe A	-10,37	7,18	1:55000

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 17, chega-se a conclusão de que, todas as Bases SRTM tiveram um incremento em sua escala e puderam ser enquadradas no PEC - Padrão Classe A para a altimetria com valores melhores de exatidão quando comparados com os valores apresentados na Tabela 14.

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 18, chega-se a conclusão de que, a maioria das Bases ASTER teve um incremento em sua escala e puderam ser enquadradas no PEC - Padrão Classe A para a altimetria com valores melhores de exatidão quando comparados com os valores apresentados na Tabela 15. A única exceção foi a base ASTER 1 que continuou enquadrada com a mesma exatidão anterior.

4.1.2 Avaliação de Acordo com o STANAG 2215

Nesta etapa, a avaliação também se deu através da extração de pontos planialtimétricos no terreno e a respectiva inclusão das coordenadas horizontais destes pontos nos produtos gerados. Para enquadrar o produto no STANAG, portanto, em uma determinada classe na altimetria, foi verificado se 90% (noventa por cento) dos pontos encontravam-se dentro dos intervalos de curva

de nível apresentados na Tabela 3.

De forma análoga ao item 4.1.1, para o cálculo da expectativa de exatidão e EP em relação ao STANAG do SRTM será levada em consideração a escala 1:80000 e de 1:100000 para o ASTER.

As expectativas de exatidão *a priori* para as bases do MDE do SRTM e do ASTER testadas estão sendo apresentadas na Tabela 19 e na Tabela 20.

Tabela 19: Expectativa de exatidão e EP (STANAG) para o MDE SRTM

Escala 1:80000	Classe 0	Classe 1	Classe 2
Exatidão (m)	8	16	32

Tabela 20: Expectativa de exatidão e EP (STANAG) para o MDE ASTER

Escala 1:100000	Classe 0	Classe 1	Classe 2
Exatidão (m)	10	20	40

Ao observar os resultados expostos na Tabela 6, Na Tabela 7 e na Tabela 8, baseado especificamente nas 5 maiores diferenças de cota, destacadas em negrito, onde são desconsiderados os valores com resultados acima do especificado em até 10% (4 pontos num universo de 40), o quinto maior valor em ordem decrescente é considerado limite, ou seja, o valor da exatidão. Com base nestes critérios e nas Tabelas citadas, chega-se aos valores de STANAG apresentados na Tabela 21, para as bases SRTM e na Tabela 22 para as bases ASTER.

Tabela 21: Exatidão e EP (STANAG) para o MDE SRTM – Escala 1:80000

Base	Padrão	Exatidão	EP
UHEPSJ	Classe 1	16	4,77
UHESD	Classe 1	16	3,24
PCHCOX	Classe 2	32	6,68

Tabela 22: Exatidão e EP (STANAG) para o MDE ASTER - Escala 1:100000

Base	Padrão	Exatidão	EP
UHEPSJ	Classe 1	20	8,82
UHESD	Classe 1	20	3,55
PCHCOX	Classe 1	20	7,18

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 21, chega-se a conclusão de que, a maioria das Bases SRTM ficou enquadrada no STANAG - Padrão Classe 1 para a altimetria em relação à exatidão. Somente a Base SRTM 3 (PCHCOX) ficou enquadrada no STANAG Padrão Classe 2.

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 22, chega-se a conclusão de que todas as Bases ASTER ficaram enquadradas no STANAG - Padrão Classe 1 para a altimetria em relação à exatidão. Levando em consideração a tendência sistemática verificada na Tabela 10 e os valores apresentados nas Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13, após a retirada da tendência, chegam-se aos valores de STANAG apresentados na Tabela 23 para as bases SRTM e na Tabela 24 para as bases ASTER.

Tabela 23: Exatidão e EP (STANAG) para o MDE SRTM

Base	Padrão	Exatidão	EP	Escala
UHEPSJ	Classe 1	7,5	4,77	1:37500
UHESD	Classe 1	5,0	3,24	1:25000
PCHCOX	Classe 1	11,0	6,68	1:55000

Tabela 24: Exatidão e EP (STANAG) para o MDE ASTER

Base	Padrão	Exatidão	EP	Escala
UHEPSJ	Classe 1	16,00	8,82	1:80000
UHESD	Classe 1	6,0	3,55	1:30000
PCHCOX	Classe 1	11,0	7,18	1:55000

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 23, chega-se a conclusão de que, todas as Bases SRTM tiveram um incremento em sua escala e puderam ser enquadradas no STANAG - Padrão Classe 1 para a altimetria com valores melhores de exatidão quando comparados com os valores apresentados na Tabela 15.

Ao verificar os valores apresentados na Tabela 24, chega-se a conclusão de que, a maioria das Bases ASTER teve um incremento em sua escala e puderam ser enquadradas no STANAG - Padrão Classe 1 para a altimetria com valores melhores de exatidão quando comparados com os valores apresentados na Tabela 16. A única exceção foi a base ASTER 1 que continuou enquadrada com a mesma exatidão anterior.

4.2 Avaliação Morfológica

A inclinação/declividade do relevo de cada área de estudo foi caracterizada a partir das curvas de nível de cada base testada. Para tanto foi aplicada a Equação 1 e a Equação 2 que resultaram nos valores de declividade e inclinação da Tabela 25.

Tabela 25: Inclinação/declividade por área de estudo

Base	Inclinação (%)	Declividade (graus decimais)
UHEPSJ	8,50	4,86
UHESD	4,00	2,29
PCHCOX	16,54	9,39

De acordo com as classificações de Lemos e Santos (1982) e os valores apresentados na Tabela 25, tanto o relevo da UHEPSJ, como o relevo da PCHCOX foram classificados como ondulados, com declividades entre 8 e 20%. O relevo da UHESD, entretanto, foi classificado como suave ondulado, com declividades entre 3 e 8%.

Para avaliação em relação ao Código Civil foram utilizadas como referência as dimensões reais demarcadas em campo provenientes das Bases de Referência 1, 2 e 3 com base nos NA de projeto das UHE/PCH. As dimensões das Bases de Referência podem ser verificadas na Tabela 26.

Tabela 26: Dimensões das bases de referência

Base	Área NA (m ²)	Perímetro NA (m)	Cota NA (m)
UHEPSJ	25236104,49	181140,46	128,5
UHESD	18638586,64	75744,36	345
PCHCOX	660990,71	12646,78	872

As dimensões simuladas são relativas às curvas produzidas a partir das bases testadas nas cotas do NA. Na Tabela 27 as dimensões formadas pelas curvas simuladas para cada área e base simuladas são apresentadas.

Para cada área de estudo foram também extraídas dos MDE SRTM e ASTER as curvas de nível que resimularam as linhas de alagamento, a partir da retirada da tendência sistemática. Foram extraídas as curvas 135 m das bases SRTM e ASTER para a UHEPSJ, a curva 350 m

Tabela 27: Dimensões das bases simuladas

Base	Área SI (m ²)	Perímetro SI (m)	Cota SI (m)
SRTM 1	16388006,99	104138,18	130
SRTM 2	10404358,03	53172,28	345
SRTM 3	194693,98	3980,40	870
ASTER 1	19314548,58	215831,07	130
ASTER 2	5402843,98	70061,06	345
ASTER 3	282684,24	6908,18	870

para a base SRTM e a curva 352 m para a base ASTER para a UHESD e a curva 880 m para a base SRTM e a curva 876 m para a base ASTER para a PCHCOX.

Na Tabela 28 estão sendo apresentadas as dimensões formadas pelas curvas resimuladas para cada área e MDE.

Tabela 28: Dimensões das bases resimuladas

Base	Área SI (m ²)	Perímetro SI (m)	Cota SI (m)
SRTM 1	29760808,43	141705,74	135
SRTM 2	17358782,48	66650,37	350
SRTM 3	1253383,91	10059,29	880
ASTER 1	32749947,36	255873,37	135
ASTER 2	14879824,78	109713,30	352
ASTER 3	593344,91	11024,00	876

Para o cálculo das dimensões em termos absolutos foi realizado processo de aritmética simples através da subtração dos valores, primeiramente para as bases simuladas, de NA e SI apresentados na Tabela 26 e na Tabela 27. O cálculo resultou nas dimensões apresentadas na Tabela 29. Após, o mesmo procedimento foi realizado entre os valores resimulados apresentados da Tabela 26 e a Tabela 28. O cálculo resultou nas dimensões apresentadas na Tabela 30.

Para o cálculo das dimensões em termos relativos foi utilizada, primeiramente, a Equação 3 e a Equação 4, que resultaram nas dimensões AC e AT. Após foi realizado processo de aritmética simples através da subtração dos valores de AT e AC calculados. O cálculo final resultou nas dimensões apresentadas, primeiramente, na Tabela 31, para os valores simulados, com seus respectivos percentuais apresentados na Tabela 33.

Tabela 29: Área absoluta entre bases de referência e simuladas

Bases	Área NA - SI (m ²)	Área NA – SI (m ²) %
SRTM 1	8848097,50	35,06
SRTM 2	8234228,61	44,18
SRTM 3	466296,73	70,55
ASTER 1	5921555,91	23,46
ASTER 2	13235742,66	71,01
ASTER 3	378306,47	57,23

Tabela 30: Área absoluta entre bases de referência e resimuladas

Bases	Área NA - SI (m ²)	Área NA – SI (m ²) %
SRTM 1	-4524703,94	-17,93
SRTM 2	1279804,16	6,87
SRTM 3	-592393,20	-89,62
ASTER 1	-7513842,87	-29,77
ASTER 2	3758761,86	20,17
ASTER 3	67645,80	10,23

Após, foram realizados os mesmos cálculos para os valores resimulados, que estão sendo apresentados na Tabela 32, com seus respectivos percentuais apresentados na Tabela 34. Os valores apresentados nas Tabelas citadas representam as áreas não comuns entre as Bases NA e as Bases SI.

Tabela 31: Área relativa e área comum entre bases de referência e simuladas

Bases	AT - AC (m ²)	AC (m ²)
SRTM 1	12031968,95	14796071,27
SRTM 2	8368499,30	10337222,69
SRTM 3	620645,88	117519,41
ASTER 1	14900962,38	14824845,35
ASTER 2	13251920,25	5394755,19
ASTER 3	457351,85	243161,55

Tabela 32: Área relativa e área comum entre bases de referência e resimuladas

Bases	AT - AC (m ²)	AC (m ²)
SRTM 1	11647334,94	21674788,99
SRTM 2	4102713,19	15947327,96
SRTM 3	935954,40	489210,11
ASTER 1	17681809,76	20152121,05
ASTER 2	6200024,21	13659193,61
ASTER 3	481529,18	386403,22

Tabela 33: Área relativa (%) e área comum entre bases de referência e simuladas

Bases	AT - AC (m ²) %	AC (m ²) %
SRTM 1	44,85	55,15
SRTM 2	44,74	55,26
SRTM 3	84,08	15,92
ASTER 1	50,13	49,87
ASTER 2	71,07	28,93
ASTER 3	65,29	34,71

Tabela 34: Área relativa (%) e área comum entre bases de referência e resimuladas

Bases	AT - AC (m ²) %	AC (m ²) %
SRTM 1	34,95	65,05
SRTM 2	20,46	79,54
SRTM 3	65,67	34,33
ASTER 1	46,74	53,26
ASTER 2	31,22	68,78
ASTER 3	55,48	44,52

De acordo com as dimensões apresentadas na coluna Área NA – SI (m²) % da Tabela 29 e na coluna AT - AC (m²) % da Tabela 33, em relação às áreas, em todas as bases testadas, houve diferença significativa muito acima do tolerável (5 %), não estando, portanto, as Curvas Simuladas pelo SRTM e ASTER, em termos absolutos e relativos, em conformidade com o artigo 500 do Código Civil.

De acordo com as dimensões apresentadas na coluna Área NA – SI (m²) % da Tabela 30 e na coluna AT - AC (m²) % da Tabela 34, em relação às áreas, em todas as bases resimuladas testadas, houve diferença significativa muito acima do tolerável (5 %) também, não estando, portanto, as Curvas Resimuladas pelo SRTM e ASTER, em termos absolutos e relativos, em conformidade com o artigo 500 do Código Civil.

Quando os valores apresentados da Tabela 33, das curvas simuladas, são comparados com os valores da Tabela 34, das curvas resimuladas, verifica-se que houve diferenças significativas. Na maioria das bases resimuladas as diferenças entre NA e SI diminuíram, com exceção das bases SRTM 3 e ASTER 1 que aumentaram seus valores em termos absolutos.

Ao observar os resultados da Tabela 33, especificamente os valores da coluna AC (m²) %, verifica-se que a área formada em comum em todas as bases testadas é relativamente

pequena. Somente as Bases SRTM 1 e SRTM 2 apresentaram áreas comuns um pouco acima de 50% de seu total.

Ao observar os resultados da Tabela 34, especificamente os valores da coluna AC (m²) %, verifica-se que a área formada em todas as bases resimuladas testadas aumentou quando comparadas com os valores apresentados na mesma coluna da Tabela 33, apresentando áreas comuns acima de 50% na maioria delas.

As Bases SRTM 3 e ASTER 3, que apesar de terem aumentado seu percentual de área comum, quando comparados com a Tabela 33, entretanto, apresentaram ainda áreas comuns abaixo de 50% de seu total.

Na etapa de avaliação morfológica quantitativa foram calculadas as dimensões formadas entre as curvas de referência e simuladas/resimuladas, excetuadas as áreas formadas em comum. Os resultados podem ser observados na Tabela 35, onde na coluna AF % é apresentado o valor em percentual referente à área formada entre a curva simulada/resimulada e a curva de referência, levando em consideração o valor total $AT = AC + AF + AD$. Na coluna AF/AT% é apresentado o valor em percentual referente à área formada entre a curva simulada/resimulada e a curva de referência, levando em consideração somente as áreas não comuns às curvas simuladas/resimuladas e de referência ($AT - AC$). Na coluna AD % é apresentado o valor em percentual referente à área formada entre a curva de referência e a curva simulada/resimulada, levando em consideração o valor total $AT = AC + AF + AD$. Na coluna AD/AT% é apresentado o valor em percentual referente à área formada entre a curva de referência e a curva simulada/resimulada, levando em consideração somente as áreas não comuns às curvas simuladas/resimuladas e de referência ($AT - AC$). As bases resimuladas estão indicadas com um (R) na coluna “Bases”.

Ao observar os resultados da Tabela 35, verifica-se, principalmente nas colunas AF/AT% e AD/AT%, que a maioria das áreas não comuns das bases simuladas formadas se situaram para dentro da curva de referência, com casos de quase 100% de áreas formadas para dentro, como foram o das Bases SRTM 2 e ASTER 2. Este

Tabela 35: Área não comum (%) entre bases de referência e simulada/resimulada

Bases	AF %	AF/AT%	AD %	AD/AT%
SRTM 1	5,93	13,23	38,91	86,77
SRTM 1 (R)	24,27	69,42	10,69	30,58
SRTM 2	0,36	0,80	44,38	99,20
SRTM 2 (R)	7,04	34,40	13,42	65,60
SRTM 3	10,45	12,43	73,62	87,57
SRTM 3 (R)	53,62	81,65	12,05	18,35
ASTER 1	15,10	30,13	35,02	69,87
ASTER 1 (R)	33,30	71,25	13,44	28,75
ASTER 2	0,04	0,06	71,03	99,94
ASTER 2 (R)	6,15	19,69	25,07	80,31
ASTER 3	5,64	8,64	59,65	91,36
ASTER 3 (R)	23,84	42,98	31,64	57,02

resultado mostra uma tendência de diminuição/estreitamento da curva que simula o alagamento e a conseqüente formação de ilhas.

Ao observar os resultados em relação às bases resimuladas, portando, verifica-se uma maior homogeneidade na distribuição das áreas não comuns entre fora e dentro da curva de referência. Na base SRTM 1, SRTM 3 e ASTER 1, por exemplo a maioria das áreas não comuns formadas se situaram para fora da curva de referência. O contrário, áreas formadas para dentro ocorreram nas bases SRTM 2, ASTER 2 e ASTER 3.

Ver os detalhes de cada área de estudo e base simulada/resimuladas nas figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, onde os desenhos em branco representam as áreas formadas em comum (AC) entre as curvas de referência e simuladas/resimuladas e os desenhos escuros representam as áreas não comuns formadas entre as curvas de referência e simuladas/resimuladas (AF e AD).

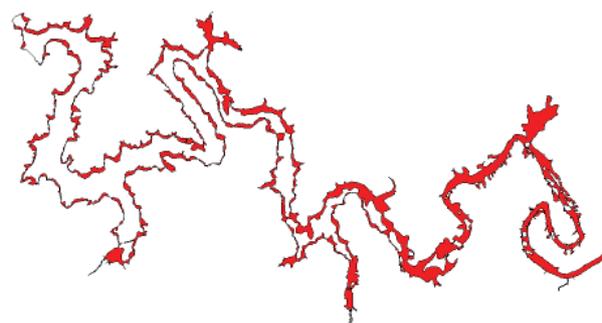


Fig. 7 - UHEPSJ: Simulação SRTM 1.

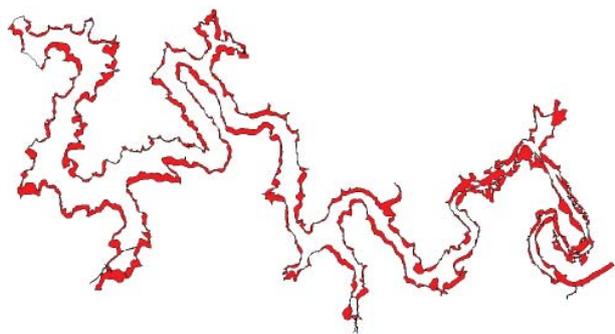


Fig. 8 - UHEPSJ: Resimulação SRTM 1.

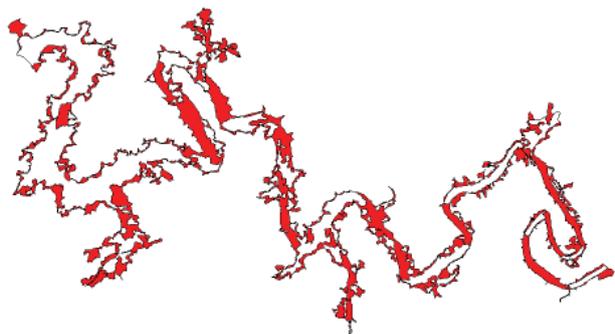


Fig. 9 - UHEPSJ: Simulação ASTER 1.

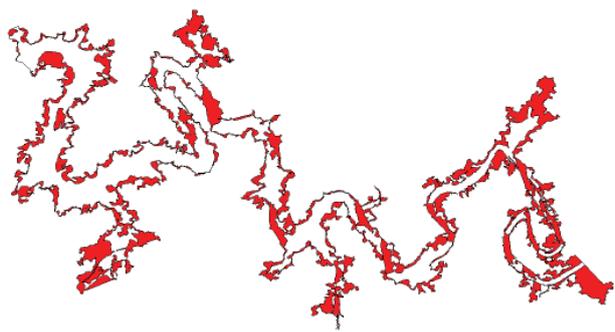


Fig. 10 - UHEPSJ: Resimulação ASTER 1.

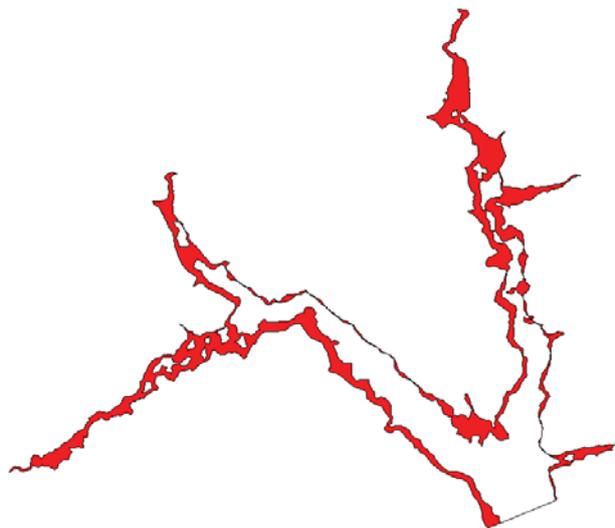


Fig. 11 - UHESD: Simulação SRTM 2.

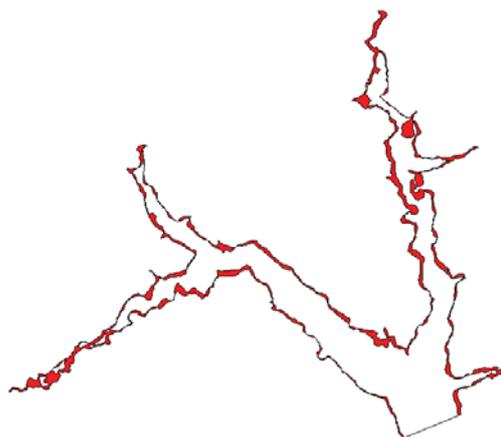


Fig. 12 - UHESD: Resimulação SRTM 2.

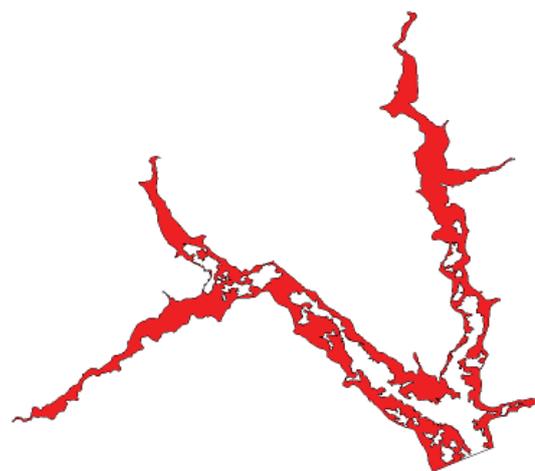


Fig. 13 - UHESD: Simulação ASTER 2.

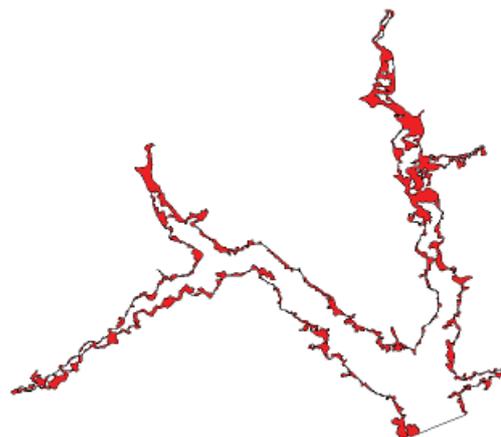


Fig. 14 - UHESD: Resimulação ASTER 2.

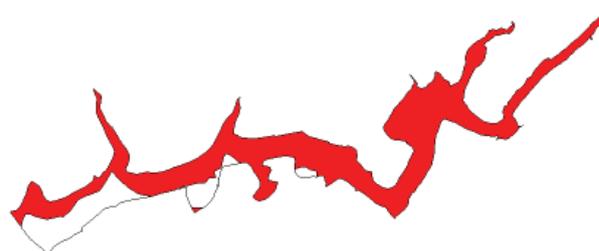


Fig. 15 - PCHCOX: Simulação SRTM 3.

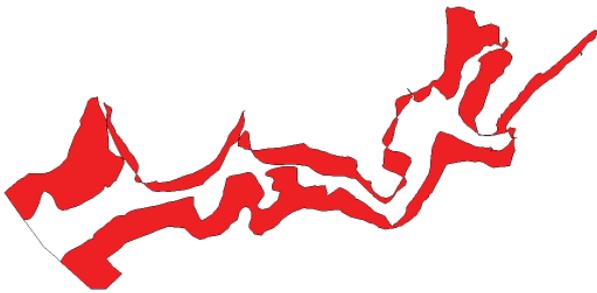


Fig. 16 - PCHCOX: Resimulação SRTM 3.

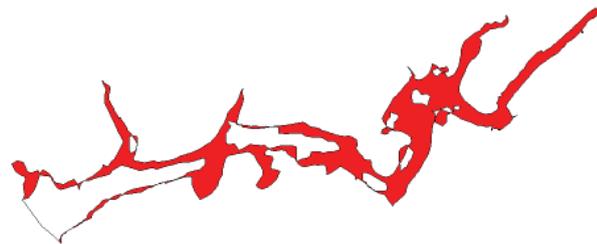


Fig. 17 - PCHCOX: Simulação ASTER 3.

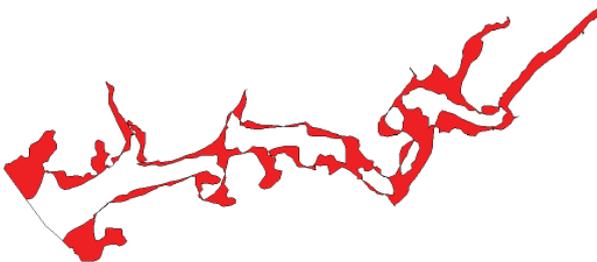


Fig. 18 - PCHCOX: Resimulação ASTER 3.

Na etapa de avaliação morfológica qualitativa, em relação à área de estudo 1, que apresenta um relevo mais ondulado, os resultados apresentados pelas curvas simuladas extraídas, a partir dos MDE, tanto da Base SRTM 1, quanto da Base ASTER 1, se justificam porque, o relevo mais inclinado diminui o espaçamento lateral (distância) entre as curvas de nível. As curvas simuladas acompanharam, somente em parte, o desenho da curva de referência, principalmente na região do barramento e se mostrou, na maioria de seu entorno, morfológicamente diferente da mesma, apresentando variações para menos com o agravamento de que, distante do barramento, foram geradas pequenas ilhas. Estes resultados não são coerentes com o enquadramento no PEC Padrão Classe A destas bases descritos no item 4.1.1, pois o teste permitiu somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, sendo o valor atribuído ao ponto o mesmo da última curva gerada antes da feição “corpo d’água” ser mapeada pelo sensor.

Em relação à área de estudo 2, que apresenta um relevo suavemente ondulado, os resultados apresentados pela curva simulada extraída, a partir do MDE da Base SRTM 2, se justificam porque o MDE pareceu se adequar melhor à relevos planos, refletindo no contorno da curva simulada, que se apresentou morfológicamente de acordo com a curva de referência, principalmente nos locais mais próximos ao barramento. Distante do barramento a curva simulada apresentou variações para menos. A extração da curva simulada referente à cota 345 m proveniente desta base, exatamente na cota de alagamento, pode ter contribuído positivamente para a formação do contorno da mesma. Este resultado parece ser coerente com o enquadramento no PEC Padrão Classe A da Base SRTM 2 descrito no item 4.1.1, pois o teste, apesar de permitir somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, foi compatível com o contorno da curva gerada a partir do SRTM.

Em relação ainda à área de estudo 2, mas referente ao MDE da Base ASTER 2, os resultados se justificam porque o MDE parece não ter se adequado perfeitamente ao contorno da curva de referência, se apresentando morfológicamente menor e geralmente dentro da mesma na maioria de seu contorno. A curva de nível simulada não acompanha o desenho da curva de referência em sua maioria, nem mesmo na região do barramento, apresentando variações para menos em quase todo seu contorno, com o agravamento de gerar inúmeras ilhas. Este resultado parece não ser coerente com o enquadramento no PEC Padrão Classe A da Base ASTER 2 descrito no item 4.1.1, pois o teste, apesar de permitir somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, não reflete a realidade do contorno da curva gerada a partir do ASTER.

Em relação à área de estudo 3, que apresenta um relevo ondulado com tendência para fortemente ondulado, os resultados apresentados pelas curvas simuladas extraídas, a partir dos MDE, tanto da Base SRTM 3, quanto da Base ASTER 3, se justificam porque, o relevo mais inclinado diminuiu o espaçamento lateral (distância) entre as curvas de nível. As curvas simuladas não acompanharam o desenho da curva de referência e se mostrou, na maioria de seu entorno, morfológicamente diferente da mesma, apresentando variações para menos com o agravamento

de gerar ilhas. Estes resultados não são coerentes com o enquadramento no PEC Padrão Classe B da Base SRTM 3 e no PEC Padrão Classe A da Base ASTER 3, descritos no item 4.1.1, pois o teste permitiu somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, sendo o valor atribuído ao ponto o mesmo da última curva gerada antes da feição “corpo d’água” ser mapeada pelo sensor.

Para todas as áreas de estudo e todas as bases testadas, os não enquadramentos nas formas absoluta e relativa em relação ao Código Civil, avaliações já descritas no item 4.2, parecem ser coerentes com os resultados obtidos na avaliação morfológica qualitativa.

4.3 Aplicações

Primeiramente, os resultados foram aplicados aos indicadores de Moreira e Polle (M&P). Os valores de referência estão sendo apresentados na Tabela 36.

Tabela 36: Indicador M&P (Ind.) para as bases de referência

Usina	Potência (kW)	Área NA (ha)	Ind.
UHEPSJ	77000	2523,61	30,51
UHESD	48000	1863,86	25,75
PCHCOX	18000	66,10	272,31

Para cada base testada foi calculado um indicador baseado na extração da curva que simula/resimula o alagamento. Os indicadores calculados estão sendo apresentados na Tabela 37, com seu respectivo percentual de 20%.

Tabela 37: Indicador M&P (Ind.) para as bases testadas

Usina	Pot - (kW)	Área SI (ha)	Ind.	Ind. %
SRTM 1	77000	1638,80	46,98	54,00
SRTM 1 (R)	77000	2976,08	25,87	-15,20
SRTM 2	48000	1040,43	46,13	79,16
SRTM 2 (R)	48000	1735,88	27,65	7,38
SRTM 3	18000	19,47	924,50	239,50
SRTM 3 (R)	18000	125,34	143,61	-47,26
ASTER 1	77000	1931,45	40,23	39,87
ASTER 1 (R)	77000	3274,99	23,51	-22,94
ASTER 2	48000	540,284	88,84	245,02
ASTER 2 (R)	48000	1487,98	32,26	25,27
ASTER 3	18000	28,27	636,72	133,82
ASTER 3 (R)	18000	59,33	303,36	11,40

De acordo com os valores apresentados na Tabela 37, houve diferença significativa nos indicadores calculados para todas as bases simuladas, em relação aos valores de referência apresentados na Tabela 36, não estando as curvas simuladas a partir do SRTM e ASTER dentro do limite estabelecido.

Porém, de acordo com os valores apresentados no mesmo quadro nas bases resimuladas (R), não houve diferença significativa nos indicadores calculados para a metade das bases, em relação ao valor de referência apresentado na Tabela 36, estando as curvas resimuladas a partir das bases SRTM 1, SRTM 2 e ASTER 3 dentro do limite estabelecido.

As bases SRTM 3, ASTER 1 e ASTER 2, apesar de terem apresentado valores menores em relação aos valores calculados a partir das bases simuladas, continuaram fora do limite estabelecido de 20%.

A segunda aplicação realizada foi relativa às etapas de projetos de hidrelétricas, conforme descrição a seguir:

- Como a curva da Base SRTM 1 na cota simulada de 130 m praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 55,15 % da totalidade, com uma distribuição de áreas não comuns de forma não homogênea (13,23 % AF e 86,77 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e Tabela 35, conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.
- Como a curva da Base SRTM 1 na cota resimulada de 135 m, entretanto, acompanha a curva de referência em sua maioria e apresenta a formação de algumas ilhas, com áreas comuns em 65,05 % da totalidade, e uma distribuição pouco mais homogênea de áreas não comuns (69,42 % AF e 30,58 % AD) com a maioria das áreas não comuns para fora, de acordo com a Tabela 33 e Tabela 35, conclui-se que a curva resimulada pode ser utilizada desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Inventário Hidrelétrico.

- Como a curva da Base ASTER 1 na cota simulada de 130 m praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 49,87 % da totalidade, com uma distribuição de áreas não comuns de forma não homogênea (30,13 % AF e 69,87 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e Tabela 35, conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.
- Como a curva da Base ASTER 1 na cota resimulada de 135 m, entretanto, acompanha a curva de referência em sua maioria, porém apresenta a formação de algumas ilhas, com áreas comuns em 53,26 % da totalidade, e uma distribuição não homogênea de áreas não comuns (71,25 % AF e 28,75 % AD) com a maioria das áreas não comuns para fora, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva resimulada pode ser utilizada desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a primeira etapa “Planejamento de Estudo” da etapa de Inventário Hidrelétrico.
- Como a curva da Base SRTM 2 na cota simulada de 345 m praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 55,26 % da totalidade, com uma distribuição de áreas não comuns de forma não homogênea (0,80 % AF e 99,20 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.
- Como a curva da Base SRTM 2 na cota resimulada de 350 m, entretanto, acompanha a curva de referência em sua maioria, apresentando-se ora para dentro e ora para fora da mesma, com áreas comuns em 79,54 % da totalidade, sem apresentar a formação de ilhas, e uma distribuição pouco mais homogênea de áreas não comuns (34,40 % AF e 65,60 % AD) mesmo com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva resimulada pode ser utilizada desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Viabilidade.
- Como a curva da Base ASTER 2 na cota simulada de 350 m praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 28,93 % da totalidade, com uma distribuição de áreas não comuns de forma não homogênea (0,06 % AF e 99,94 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 34, conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.
- Como a curva da Base ASTER 2 na cota resimulada de 352 m, entretanto, acompanha a curva de referência em parte, e apresenta a formação de ilhas, com áreas comuns em 68,78 % da totalidade, e uma distribuição não homogênea de áreas não comuns (19,69 % AF e 80,31 % AD) mesmo com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 32 e a Tabela 35, conclui-se que a curva resimulada pode ser utilizada desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Inventário Hidrelétrico.
- Como a curva da Base SRTM 3 na cota simulada de 870 m praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 15,92 % da totalidade, com uma distribuição de áreas não comuns de forma não homogênea (12,43 % AF e 87,57 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.
- Como a curva da Base SRTM 3 na cota resimulada de 880 m, entretanto, não acompanha a curva de referência e se desloca de forma sistemática para o sul e para fora da referência, com áreas comuns em somente 34,33 % da totalidade, e uma distribuição não

homogênea de áreas não comuns (81,65 % AF e 18,35 % AD) mesmo com a maioria das áreas não comuns para fora, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva resimulada não pode ser utilizada em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.

- Como a curva da Base ASTER 3 na cota simulada de 876 m praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 34,71 % da totalidade, com uma distribuição de áreas não comuns de forma não homogênea (8,64 % AF e 91,36 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva simulada não pode ser utilizada para simular a área de alague em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.
- Como a curva da Base ASTER 3 na cota resimulada de 876 m, entretanto, praticamente não acompanha a curva de referência, além de apresentar grandes discrepâncias para menos e a formação de ilhas, com áreas comuns em somente 44,52 % da totalidade, mesmo com uma distribuição um pouco mais homogênea de áreas não comuns (42,98 % AF e 57,02 % AD) com a maioria das áreas não comuns para dentro, de acordo com a Tabela 33 e a Tabela 35, conclui-se que a curva resimulada não pode ser utilizada em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo estão sendo apresentadas as conclusões e as recomendações acerca dos resultados e das análises realizadas na pesquisa relativas aos produtos advindos dos MDE do SRTM e do ASTER GDEM.

5.1 Conclusões

Conclui-se 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 o NA, mostrando suas reais diferenças de áreas. O método foi aplicado em três áreas de estudo propostas e as três

apresentavam relevos diferenciados.

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 alagamento de 128,5 m até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado e para o mesmo tipo de base a resimulação de cota de alagamento 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 primeira etapa de Inventário Hidrelétrico, ou seja, de Planejamento de Estudo. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo ondulado e para o mesmo tipo de base a resimulação de cota de alagamento pode ser realizada.

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 alagamento de 345 m até a etapa de Viabilidade. Conclui-se que, nas mesmas condições de relevo levemente ondulado e para o mesmo tipo de base a resimulação de cota de alagamento 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 alagamento de 345 m até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Conclui-se que, nas

mesmas condições de relevo levemente ondulado e para o mesmo tipo de base a resimulação de cota de alagamento pode ser realizada.

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 alagamento da PCH Coxilha Rica em nenhuma etapa de projeto de usinas hidrelétricas. 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 de usinas hidrelétricas.

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 de usinas hidrelétricas. 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 de usinas hidrelétricas.

5.2 Recomendações

Em bases 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 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 método descrito neste trabalho 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.

Para outras aplicações, como deslizamentos ou inundações, recomendam-se estudos mais aprofundados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, A. J. G.; DIAS, R. F. C.; TEODORO, R. F. *IGeoE: Positional quality control in the 1/25000 cartography*. In: CAETANO, M. & PAINHO, M. **7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences**. p. 835 a 839. 2006.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília. 2008. 236 p.

ASTER GDEM Validation Team. **ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results**. Disponível em: http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf. 2011.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. **Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 1243 – 1250. Florianópolis. 2007.

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. Lei nº 10.406, de 10 de Janeiro de 2002. **Institui o Código Civil**. Brasília, DF, 2002.

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. 176 p.
- 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.
- CELESTINO, V. S. **Considerações sobre a qualidade altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. 347 f.
- CELESTINO, V. S.; PHILIPS, J. W. Avaliação altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas. **Revista Brasileira de Cartografia** Nº 67 (3). p. 507 – 525. Rio de Janeiro. Maio/Junho de 2015.
- CELESTINO, V.S.; ROCHA, R.S.; SILVA, R.R.; MATSUOKA, C.T. Investigação geométrica para aplicação de imagens orbitais na retificação e geração de produtos cartográficos. In: **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**. Volume único. Não paginado. Macaé. 2005.
- CHIEN, P. **Endeavour maps the world in three dimensions**. In *Geoworld*, n. 37. p. 32 – 38. 2000.
- CHRISMAN, N. R. **Exploring Geographic Information Systems**. New York: J. Wiley, 1997. 298 p.
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO – DSG. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. ET – ADGV (versão 2.0). 2011.
- ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS. **Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas**. 1999. 95 p.
- ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS. **Diretrizes para Projetos de PCH**. 2000. 6 p.
- ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS. **Instruções para Estudos de Viabilidade**. 1997. 73 p.
- ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. 2007. 686 p.
- ELETROBRAS ELETROSUL – Centrais Elétricas do Brasil S.A. Disponível em <<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=743>>. Acesso em agosto de 2013.
- ELETROBRAS ELETROSUL – Centrais Elétricas do Brasil S.A. **UHE Passo São João - Informações Sobre o Programa Básico Ambiental**. Relatório Técnico. 2011. 47 p.
- FARIA FILHO, R. F. **Avaliação do Potencial Hidráulico em Bacias Hidrográficas por meio de Sistemas de Informações Geográficas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2007. 58 f.
- GALO, M.; CAMARGO, P. DE O.; **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II. p. 41 – 48. Florianópolis. 1994.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. Curitiba: Editora UFPR. 1994. 320 p.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo. Ed. Edusp. 2008. 400 p.
- HUTCHINSON, M. F.; STEIN, JOHNA.; STEIN, JANET L.; XU, T. **Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data**. In: 18th World IMACS / MODSIM Congress. p. 2493- 2499. Austrália. 2009.
- JENSEN. J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da Segunda Edição. São José dos Campos. Ed. Parêntese. 2011. 598 p.
- JPL - JET PROPULSION LABORATORY. Disponível em: <<http://www-radar.jpl.nasa.gov/srtm>>. Acesso em janeiro de 2014.
- JURAN, J.M.; GRZYNA, F. M. **Controle de qualidade - conceitos, políticas e filosofia da qualidade**. Editora McGraw-Hill. São Paulo. 1991.
- LEMONS, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas, SBSC/SNLCS. 1984. 46 p.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2ª Edição. Brasília: Editora Embrapa Informação Tecnológica. 2010.

433 p.

MOREIRA, J.R.; POOLE, A.D. Hydropower And It's Constraints. In: **Renewable Energy**. p. 73 – 119. Washington: Island Press. 1993.

NASA SRTM. **Shuttle Radar Topography Mission**. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.htm>>. Acesso em dezembro de 2013.

NATO STANDARDIZATION AGENCY - NSA. **Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data, STANAG** (Standardization Agreement) nº2215. 6ª Edição. Bruxelas: NATO, 2001.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. 2003. 147 f.

PALADINI, EDSON P. **Controle de Qualidade, uma abordagem abrangente**. Editora Atlas.

São Paulo. 1990. 239 p.

PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, cartas topográficas e gps: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia** Nº 58/01. p. 01 – 09. Rio de Janeiro. Abril de 2006.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. In: **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. V. 57. p. 241 – 262. 2003.

RODRIGUES, T. L.; DEBIASI, P.; SOUZA, R. F. **Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. p. 001 – 005. Recife. Julho de 2010.

SPIEGEL, MURRAY. **Estatística**. Editora McGraw-Hill. São Paulo. 1978. 734 p.