

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/3 507-525
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO ALTIMÉTRICA PARA PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

Altimetry Evaluation for Hydro-Electric Power Station Projects

Vivian da Silva Celestino & Jürgen Wilhelm Philips

**¹Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Civil**

Rua João Pio Duarte da Silva, 205 - CEP 88037-000 - Florianópolis - SC – Brasil.
viviancart@yahoo.com.br
jphilips@gmx.net

*Recebido em 13 de Maio, 2014/ Aceito em 19 de Junho, 2014
Received on May 13, 2014/ Accepted on Juny 19, 2014*

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 altimétricas com qualidade declarada para atender às normas até as etapas de projeto, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos. Este trabalho versa sobre qualidade altimétrica necessária a suprir as demandas de projetos hidrelétricos e à legislação cartográfica. Para atender aos objetivos foi desenvolvido um método para avaliar a qualidade de bases altimétricas priorizando a morfologia, de forma que as informações altimétricas provenientes das bases e dos levantamentos de campo, quando confrontadas, apresentem suas reais diferenças. Para tanto foram utilizadas duas áreas de estudo. Para validar as bases foram realizadas avaliações pontuais de qualidade e no final, foi apresentada a proposta de avaliação morfológica que levou em consideração os relevos das regiões e os consequentes reflexos ocasionados pela demarcação gráfica das superfícies simuladas. Para cada base testada foi indicada qual etapa de projeto de hidrelétrica a mesma pode ser utilizada.

Palavras chaves: Exatidão Altimétrica, Cartografia, Relevo, Morfologia, Modelos Digitais de Elevação (MDE).

ABSTRACT

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

Keywords: Altimetry Accuracy, Cartography, Relief, Morphology, Digital Elevation Models (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.

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).

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 - ha 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. Dentre os impactos, destacam-se: remoção de populações (inclusive as indígenas tradicionais), alteração no regime dos rios a jusante, assoreamento a montante, barreiras à migração de peixes, proliferação de algas, aguapés e mosquitos, extinção de espécies endêmicas, perda de patrimônio histórico, arqueológico e turístico (GOLDEMBERG & LUCON, 2008).

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

Apesar da utilização de bases cartográficas com qualidade declarada para atender às normas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Eletrobras Centrais Elétricas

S.A. (Eletrobras), na etapa de projeto básico hidrelétrico, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos socioambientais no momento de consolidar os projetos.

O dinamismo das águas, associado a vários fatores definem a geomorfologia do relevo das bacias hidrográficas de uma dada região e devido à complexidade destas formações as questões altimétricas crescem em importância, tendo em vista que uma má definição altimétrica pode comprometer o cálculo da área de abrangência e do volume de água necessário ao empreendimento hidrelétrico.

A utilização de bases cartográficas confiáveis, com suas limitações sendo levadas em consideração pelos empreendedores, é imprescindível à gestão territorial de possíveis áreas atingidas, pois seu uso pode minimizar os impactos inerentes à implantação de usinas desde a etapa de projeto básico.

Nas diretrizes da ANEEL e Eletrobras verifica-se a necessidade de padronização, de uma tolerância altimétrica para aplicação em projetos básicos hidrelétricos, vinculada ao relevo da região de projeto, pois este quando desenvolvido com base em dados altimétricos incorretos pode acarretar em dimensionamentos equivocados em relação, principalmente, ao nível de alagamento (NA) e às áreas de preservação permanente (APP), se tornando um grande problema à gestão territorial.

Definir os produtos altimétricos e suas respectivas tolerâncias necessárias ao dimensionamento das áreas de abrangência de hidrelétricas é a proposta desta pesquisa.

Para atender aos objetivos foi desenvolvido um método para avaliar a qualidade de produtos altimétricos, de forma que as informações provenientes desses produtos e dos levantamentos de campo, quando confrontadas, apresentem suas reais diferenças superficiais.

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 à interpolação de

superfícies com foco no método *Topo to Raster*.

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 – 3º 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:

2.1.1 Estimativa do Potencial Hidrelétrico:

Etapa de análise preliminar das características da bacia hidrográfica (aspectos topográficos, hidrológicos, geológicos, e ambientais, no sentido de verificar sua vocação para geração de energia elétrica), pautada nos dados disponíveis e realizada em escritório.

2.1.2 Inventário Hidrelétrico

Etapa caracterizada pela concepção e análise de várias alternativas de divisão de queda para a bacia hidrográfica, formadas por um conjunto de projetos, que são comparados entre si. É pautada em estudos básicos cartográficos, hidrometeorológicos, energéticos, geológicos e geotécnicos, socioambientais e de usos múltiplos de água. Os Estudos de inventário são realizados em quatro fases:

- Planejamento do Estudo;
- Estudos Preliminares;
- Estudos Finais;
- Avaliação Ambiental Integrada da Alternativa Selecionada.

2.1.3 Viabilidade

Etapa na qual são efetuados estudos mais detalhados, para a análise da viabilidade técnica, energética, econômica e socioambiental. Os estudos contemplam investigações de campo no local e compreendem o dimensionamento do aproveitamento, do reservatório e da sua área de influência e das obras de infraestrutura locais e regionais necessárias para sua implantação.

2.1.4 Projeto Básico

É concebido nos estudos de viabilidade e detalhado, de modo a definir, com maior precisão, as características técnicas do projeto, as especificações técnicas das obras civis e equipamentos eletromecânicos, bem como os programas socioambientais.

2.1.5 Projeto Executivo

Etapa de projeto que contempla a elaboração dos desenhos dos detalhamentos das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos, necessários à execução da obra e à montagem dos equipamentos. Nesta etapa são tomadas todas as medidas pertinentes à implantação do reservatório.

2.2 Inclinação e Declividade

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:

$$I = \text{ARCTAN} \left(\frac{H}{L} \right) \quad (01)$$

$$D = \frac{H}{L} \times 100 \quad (02)$$

Sendo:

- I = inclinação
- D = declividade
- H = desnível vertical
- L = comprimento na horizontal

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

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

- Plano: declividades menores que 3%;

Tabela 1: Relação entre inclinação e declividade

Inclinação	Declividade
45°	100 %
~ 27°	50 %
~ 17°	30 %
~11°	20 %
~7°	12 %
~3°	6 %

- 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 Legislação Cartográfica

No Brasil, a Legislação que trata da qualidade dos produtos cartográficos é o Decreto nº 89.817 de 1984 (BRASIL, 1984), que estabelece Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

O referido Decreto apresenta uma avaliação da qualidade de cartas/mapas no tocante à exatidão das informações cartográficas, criando o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) e seus valores, bem como o Erro Padrão (EP), como ilustra a Tabela 2.

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 Erro Padrão. Foram definidas também tolerâncias para produtos digitais como: Modelos Digitais de Terreno – MDTs, Modelos Digitais de Elevação – MDEs, Modelos Digitais de Superfície – MDS

Tabela 2: PEC 1984 altimetria

Carta	PEC 1984	EP 1984
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

e Pontos Cotados.

Internacionalmente, em relação à legislação cartográfica, existem vários documentos vigentes e em elaboração. Um dos documentos mais utilizados é o “*Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data - STANAG – 2215*”: 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.

Em relação à avaliações não pontuais, a Lei Nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (BRASIL, 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 exced-

Tabela 3: Exatidão vertical STANAG 2215

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

er de um vigésimo da área total enunciada, ressaltado 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.

2.4 Interpolação e o Método *Topo to Raster*

A 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 utilizada. 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 (CHRISMAN (1997) apud MIRANDA (2010)).

O método *Topo to Raster* estima uma grade regular de uma superfície plana discretizada através de um grande número de dados de elevação irregularmente espaçados, dados de linhas de contorno e dados de linha de fluxo. Essas características permitem que mesmo utilizando uma grade regular retangular, este interpolador possui a opção de utilizar a drenagem e outros corpos d'água, suavizando e aumentando sensivelmente a precisão dos modelos gerados (ROCHA, 2011).

The interpolation procedure has been designed to take advantage of the types of input data commonly available and the known characteristics of elevation surfaces. It is optimized to have the computational

efficiency of local interpolation methods, such as inverse distance weighted (IDW) interpolation, without losing the surface continuity of global interpolation methods, such as Kriging and Spline. Ele é otimizado para ter a eficiência computacional de métodos de interpolação locais, como o *Inverse Distance Weighting* (IDW) ponderada, sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação globais, como Krigagem e *Spline*. It is essentially a discretized thin plate spline technique (Wahba, 1990), for which the roughness penalty has been modified to allow the fitted DEM to follow abrupt changes in terrain, such as streams and ridges. É essencialmente uma fina placa discretizada da técnica *Spline* (WAHBA, 1990), para o qual a pena de rugosidade foi modificada para permitir que o MDE se equipare e acompanhe as mudanças abruptas no terreno, tais como rios e cordilheiras.

When the contour data is used to interpolate elevation information, all contour data are read and generalized. O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações e uma técnica de interpolação por diferenças finitas (HUTCHINSON, 1989). Ele requer o limite da área, dados de hidrografia simplificada e orientada na direção do escoamento, altimetria com curvas de nível ou pontos cotados (MACHADO *et al*, 2010).

Existem vários interpoladores para diversas finalidades. Através de estudos que não serão apresentados neste trabalho chegou-se a conclusão que para atender aos objetivos propostos o método *Topo to Raster* foi considerado adequado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a caracterização das duas 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 Usinas Hidrelétricas (UHEs) de propriedade da Eletrosul. Todas as informações referentes às bases altimétricas foram gentilmente cedidas por esta empresa.

A primeira, Usina Hidrelétrica Passo São João (UHEPSJ) está localizada no Rio Ijuí, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Roque Gonzales, Dezesseis de Novembro, São Luiz Gonzaga, São Pedro do Butiá e Rolador. É uma usina a fio d'água com potência instalada de 77 MW, possui área total alagada de 25,24 km² e perímetro de 181 km (ELETROBRAS ELETROSUL, 2011). O NA da usina é de 128,25 m. Ver fotografia panorâmica da UHEPSJ (Figura 1).



Fig. 1 - UHEPSJ – Fotografia Panorâmica.

A segunda, Usina Hidrelétrica São Domingos (UHESD) está localizada no Rio Verde, entre os municípios de Ribas do Rio Pardo e Água Claro, no Estado do Mato Grosso do Sul. Tem potência instalada de 48 MW, possui área total alagada de 18,64 km² e perímetro de 76,50 km (ELETROBRAS ELETROSUL, 2013). O NA da usina é de 345 m. Ver fotografia simulada da UHESD (Figura 2).



Fig. 2 - UHESD – Fotografia Simulada.

Para um melhor entendimento do trabalho, as curvas de referência advindas dos nivelamentos geométricos serão denominadas, respectivamente, para a UHEPSJ e UHESD, quando provenientes de aerolevanteamento, de “Base Foto 1” e “Base Foto 2” e quando provenientes de cartografia sistemática, de “Base Carta 1” e “Base Carta 2”.

3.2 Materiais

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

- Curvas de nível vetorizadas provenientes das Cartas 2912 e 2913 do mapeamento sistemático da DSG e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:50000, no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) planimétrico *South American Datum* de 1969 (SAD 69) e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Curvas de nível vetorizadas provenientes das Cartas analógicas 2516 e 2554 do mapeamento sistemático da DSG e IBGE na escala 1:100000, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;
- Curvas de nível provenientes de Restituições Fotogramétricas das regiões de abrangência da UHEPSJ

e UHSD com equidistância de 5 metros, no SGB planimétrico SAD 69 e altimétrico Marégrafo de Imbituba;

- Nivelamento geométrico de precisão e levantamento planimétrico *Global Navigation Satellite System* (GNSS);
- *Software* Autodesk Map 3d 2010;
- *Software* Arcgis 10.2;
- *Software* DXF2XYZ 2.0 A.21;
- *Software* Excel 2007;
- Computador com processador Intel (R) Xeon (R) CPU X 5550 @ 2,67 GHz 2,66 GHz (dois processadores), memória instalada RAM 8,0 GB, sistema operacional 64 Bits;
- Notebook com processador Intel (R) Core (TM) i5-2410M CPU @ 2.30GHz, memória instalada RAM 6,0 GB, sistema operacional 64 Bits.

3.3 Método

Neste tópico estão sendo apresentadas todas as etapas realizadas para atingir aos objetivos da pesquisa. Primeiramente foi realizada uma avaliação da qualidade dos dados

de forma convencional, em seguida a avaliação se deu em relação à forma dos dados 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. Para tanto as seguintes subetapas foram definidas:

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 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 foram quantificados 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. 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.

3.3.2 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. Para tanto as seguintes subetapas foram definidas:

3.3.2.1 Classificação das áreas em relação à inclinação/declividade

As duas 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 01 e 02.

3.3.2.2 Geração de MDEs

A partir das curvas de nível das bases testadas foram gerados, de forma automática através da função interpoladora *Topo to Raster*, da ferramenta *Spatial Analyst* do software ArcGis, os modelos.

3.3.2.3 Extração das curvas de simulação

Foram extraídas de cada MDE gerado curvas de nível que simulavam os NAs de cada UHE. A extração das curvas foi realizada de forma automática através da função *Contour*, da

ferramenta *Spatial Analyst* do software ArcGis.

3.3.2.4 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, bem como o final do alagamento, à montante de cada rio.

3.3.2.5 Padrões superficiais de qualidade

Para verificar se os produtos testados apresentavam qualidade, ou seja, distribuição homogênea de área formada pelas curvas simuladas em relação às curvas de referência, o método de avaliação seguiu os padrões definidos no item 2.3, 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 (MDEs) nos seus respectivos NAs.
- 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 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 e curva de referência acima de um vigésimo da área total enunciada, ou seja, acima de 5%, foram reprovados.
- Foi definido como método absoluto de avaliação, aquele que leva em consideração somente as 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 tivessem sido levantados por algum método expedito, sem considerar os limites dos confrontantes ou qualquer tipo de amarração ou georreferenciamento.

- Foi definido como método relativo de avaliação, aquele que leva em consideração, além das dimensões (área e perímetro) das curvas advindas dos produtos testados na medição, também a localização/espacialização de forma relativa (georreferenciamento), ou seja, a quantidade de área que é formada no total, através da união de áreas, e em comum, através da interseção de áreas, entre as curvas simuladas e as de referência.

3.3.2.6 Testes superficiais e enquadramento

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

$$NA \cap SI = AC \quad (03)$$

$$NA \cup SI = AT \quad (04)$$

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;
- SI = área simulada formada pelo polígono da curva simulada;
- AT = área total formada pela união dos polígonos das curvas de referência e simulada.

Avaliação Morfológica Quantitativa

Avaliação da conformação geométrica

dos polígonos formados pelas curvas simuladas (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, 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 03 e 04 já descritos, bem como os abaixo relacionados, foram utilizados:

$$NA - AC = AD \quad (05)$$

$$AT - NA = AF \quad (06)$$

Sendo:

- AD = área de dentro formada pelos polígonos situados entre a curva de referência e simulada;
- AF = área de fora formada pelos polígonos situados entre a curva simulada e a de referência.

3.3.3 Aplicações

Os resultados provenientes das curvas simuladas dos produtos testados devem permitir a aplicação prática em duas situações usualmente utilizadas em engenharia, conforme definições 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 leva em consideração a potência a ser gerada pela futura UHE 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:

- 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 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 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 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 convencional da qualidade, da avaliação da forma, bem como as análises conjunturais de qualidade dos produtos, seus enquadramentos

e aplicações.

4.1 Avaliação da Qualidade por Ponto de Controle

As expectativas de exatidão *a priori* dos produtos testados, bem como a exatidão dos pontos de controle a ser utilizados estão sendo apresentados nas Tabelas 4 e 5.

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

As informações levantadas por topografia em campo geraram bases altimétricas com alta qualidade que, por apresentarem exatidão superior ao definido nas TABELAS 04 e 05 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 e Base de

Tabela 4: Expectativa de exatidão planimétrica

Produto (escala)	PEC Classe A		STANAG Classe A	
	Exatidão	Pontos	Exatidão	Pontos
Base Foto 1 e 2 1:5000	2,5	0,83	2,5	0,83
Base Carta 1 1:50000	25	8,33	25	8,33
Base Carta 2 1:100000	50	16,67	50	16,67

Tabela 5: Expectativa de exatidão altimétrica

Produto (equidistância e escala)	PEC Classe A		STANAG Classe 0	
	Exatidão	Pontos	Exatidão	Pontos
Base Foto 1 (5 m) 1:15000	2,5	0,83	1,5	0,5
Base Foto 2 (5 m) 1:30000	2,5	0,83	3,0	1,0
Base Carta 1 (20 m) 1:50000	10	3,33	5,0	1,67
Base Carta 2 (40 m) 1:100000	20	6,67	10,0	3,33

Referência 2 para a UHESD.

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

Os 181 km da UHEPSJ se transformaram em uma planilha no formato “xls” de dimensão 7251 X 3, (coordenadas: leste, norte e altitude). Os 76 km da UHESD se transformaram em uma planilha de dimensão 3529 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, das Figuras 3 e 4.

Foram analisadas 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, 8 e 9. Nas tabelas citadas na coluna “ $\Delta NA(m)$ ” estão sendo apresentadas as diferenças de NA.

Ao observar os resultados expostos na Tabela 6 para a Base Foto 1, verifica-se que:

- Em relação ao PEC somente quatro pontos (12, 17, 21 e 38) apresentaram



Fig. 3 – UHEPSJ: Distribuição dos Pontos de Controle.

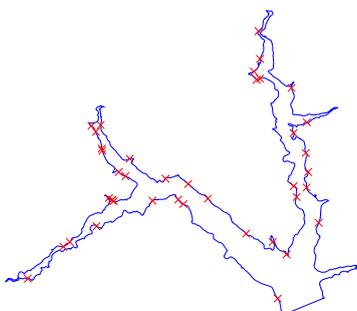


Fig. 4 - UHESD: Distribuição dos Pontos de Controle.

Tabela 6: UHEPSJ - cotas da Base Foto 1

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

Tabela 7: UHEPSJ - cotas da Base Carta 1

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

Tabela 8: UHESD - cotas da Base Foto 2

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

Tabela 9: UHESD - cotas da Base Carta 2

N	NA(m)	ΔNA (m)	N	NA(m)	ΔNA (m)
1	327,13	17,87	21	326,06	18,94
2	324,10	20,90	22	360,00	-15,00
3	333,22	11,78	23	360,00	-15,00
4	325,35	19,65	24	360,00	-15,00
5	360,00	-15,00	25	328,18	16,82
6	360,00	-15,00	26	331,06	13,94
7	360,00	-15,00	27	321,10	23,90
8	360,00	-15,00	28	325,40	19,60
9	360,00	-15,00	29	337,41	7,59
10	360,00	-15,00	30	339,43	5,57
11	360,00	-15,00	31	338,90	6,10
12	360,00	-15,00	32	342,03	2,97
13	322,72	22,28	33	360,00	-15,00
14	320,15	24,85	34	360,00	-15,00
15	328,29	16,71	35	360,00	-15,00
16	336,77	8,23	36	360,00	-15,00
17	334,55	10,45	37	320,00	25,00
18	331,42	13,58	38	324,55	20,45
19	330,48	14,52	39	323,31	21,69
20	329,55	15,45	40	332,75	12,25

resultados acima dos 2,5 m estimados, significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos quarenta pontos sorteados foi de 0,33 m e o desvio padrão foi de 1,48 m. Então, a **Base Foto 1 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:5000;**

- Em relação ao STANAG 2215, nove pontos ficaram com resultados acima dos 1,5 m estimados (pontos: 7, 8, 10, 12, 16, 17, 21, 32, e 38), significando 22,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe 0. Três pontos apresentaram resultados acima dos 3,0 m estimados (pontos: 17, 21 e 38), significando 7,5 % de pontos rejeitados e 92,5 % de pontos aprovados. Então, a **Base Foto 1 pode ser enquadrada no STANAG Classe 1 altimétrico em relação à exatidão para a escala 1:15000.**

Ao observar os resultados expostos na Tabela 7 para a Base Foto 2, verifica-se que:

- Em relação ao PEC somente quatro pontos (1, 3, 16 e 22) apresentaram resultados acima dos 2,5 m estimados, significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos quarenta pontos sorteados foi de -0,66 m e o desvio padrão foi de 1,52 m. Então, a **Base Foto 2 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:5000;**
- Em relação ao STANAG 2215, somente quatro pontos apresentaram resultado acima dos 3 m estimados (pontos: 1, 3, 16 e 22), significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. Então, a **Base Foto 2 pode ser enquadrada no STANAG Classe 0 altimétrico em relação à exatidão para a escala 1:30000.**

Ao observar os resultados expostos na Tabela 8 para a Base Carta 1, verifica-se que:

- Em relação ao PEC, dez pontos apresentaram resultado acima dos 10 m estimados (pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 27, 37, 38, 39 e 40), significando 25 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe A. Nenhum ponto apresentou valor superior a 12 m, significando 100 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos quarenta pontos foi de -0,70 m e o desvio padrão foi de 7,52 m. Então, a **Base Carta 1 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:50000;**
- Em relação ao STANAG 2215, vinte e cinco pontos apresentaram resultados acima dos 5 m estimados (pontos: 1 ao 10, 12, 13, 14, 17, 18, 27 ao 31 e 36 ao 40), significando 62,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe 0. Dez pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (pontos: 1 ao 5, 27, 37 ao 40), significando 12,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe 1. Nenhum ponto apresentou resultado acima dos 20 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Então, a **Base Carta 1 pode ser enquadrada no STANAG Classe 2 altimétrico em relação à exatidão para a escala 1:50000.**

Ao observar os resultados expostos na Tabela 9 para a Base Carta 2, verifica-se que:

- Em relação ao PEC, sete pontos apresentaram resultado acima dos 20 m estimados (pontos: 2, 13, 14, 27, 37, 38 e 39), significando 17,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada não Classe A. Somente dois pontos apresentaram valores superiores a 24 m, significando 95 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos quarenta pontos foi de 4,15 m e o desvio padrão foi de 15,82 m. Então, a **Base Carta 2 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:100000;**
- Em relação ao STANAG 2215, trinta e

cinco pontos apresentaram resultados acima dos 10 m estimados (com exceção dos pontos: 16, 29 ao 32), significando 87,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe 0. Sete pontos apresentaram resultados acima dos 20 m estimados (pontos: 2, 12 ao 15, 27, 37 ao 39), significando 17,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe 1. Nenhum ponto apresentou resultado acima dos 40 m estimados, significando 100 % de pontos aprovados. Então, a **Base Carta 2 pode ser enquadrada no STANAG Classe 2 altimétrico em relação à exatidão para a escala 1:100000.**

4.2 Avaliação Morfológica

A inclinação/declividade do relevo de cada área de estudo está sendo apresentada na Tabela 10.

De acordo com o resultado apresentado na Tabela 10, o relevo da UHEPSJ foi classificado como ondulado, com declividade entre 8 e 20%. O relevo da UHESD foi classificado como suave ondulado, com declividade entre 3 e 8%.

Para a Base Foto 1 foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 95 a 216 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 5 m. Para a Base Carta 1 foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 91 a 262 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 20 m.

Para a Base Foto 2 foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 320 a 366 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 5 m. Para a Base Carta 2 foi gerado um MDE com altitudes que variaram de 300 a 519 m, de acordo com as curvas de nível equidistantes em 40 m.

Para avaliação em relação ao Código Civil foram utilizadas como referência as dimensões reais demarcadas em campo provenientes das Bases de Referência 1 e 2 com base nos NAs de projeto das usinas. As dimensões das Bases de

Tabela 10: Inclinação/Declividade

Base	Inclinação (%)	Declividade
UHEPSJ	8,50	4,86
UHESD	4,00	2,29

Referência podem ser verificadas na Tabela 11.

As dimensões simuladas são relativas às curvas produzidas a partir das bases testadas nas cotas do NA. Na TABELA 12 as dimensões formadas pelas curvas simuladas para cada área e base simuladas são apresentadas.

A diferença das dimensões em termos absolutos está sendo apresentado na Tabela 13. Os resultados, em termos relativos, estão sendo apresentados, primeiramente, na Tabela 14 e em termos percentuais na Tabela 15.

De acordo com as dimensões apresentadas na coluna Área (m²) % da TABELA 13 e na coluna AT - AC (m²) % da Tabela 15, em relação às áreas, chega-se aos seguintes resultados:

Aprovação das Bases Fotos 1 e 2 e da Base Carta 1 no método absoluto do Código Civil,

Tabela 11: Dimensões das bases de referência

Base	Área (m ²)	Perímetro (m)	Cota (m)
UHEPSJ	25236104,49	181140,46	128,5
UHESD	18638586,64	75744,36	345

Tabela 12: Dimensões das bases simuladas

Base	Área (m ²)	Perímetro (m)	Cota (m)
Foto 1	25172322,93	147491,20	128,5
Foto 2	18203065,05	76985,59	345
Carta 1	26187799,68	114322,04	128,5
Carta 2	38577750,11	52122,96	345

Tabela 13: Diferença absoluta entre bases de referência e simuladas

Bases	Área (m ²)	Área (m ²) %
Foto 1	63781,56	0,25
Foto 2	435521,59	2,34
Carta 1	-951695,19	-3,77
Carta 2	-19939163,47	-106,98

Tabela 14: Área relativa e área comum entre bases de referência e simuladas

Bases	AT - AC (m ²)	AC (m ²)
Foto 1	3526095,79	23441165,82
Foto 2	23692205,85	16762065,45
Carta 1	11228526,74	20097688,71
Carta 2	8368499,30	10337222,69

Tabela 15: Área relativa (%) e área comum entre bases de referência e simuladas

Bases	AT - AC (m ²) %	AC (m ²) %
Foto 1	13,08	86,92
Foto 2	8,19	91,81
Carta 1	35,84	62,66
Carta 2	58,57	41,43

pois todas apresentaram valores abaixo dos 5 % especificado;

Reprovação da Base Carta 2 no método absoluto do Código Civil, pois a mesma apresentou um valor muito superior ao especificado de 5 % (foi maior que 100 %);

Reprovação de todas as bases testadas no método relativo do Código Civil, pois todas apresentaram valores superiores ao especificado de 5 %.

Ao observar os resultados da Tabela 15, especificamente os valores da coluna AC (m²) %, verificou-se que as áreas formadas em comum entre as bases fotogramétricas e de referência são relativamente maiores do que as áreas formadas em comum entre as bases cartográficas e de referência.

Na etapa de avaliação morfológica quantitativa foram calculadas as dimensões formadas entre as curvas de referência e simuladas, excetuadas as áreas formadas em comum. Os resultados podem ser observados na Tabela 16.

Ao observar os resultados da Tabela 16, verifica-se, principalmente nas colunas AF/AT% e AD/AT%, que a maioria das áreas não comuns formadas ora se situaram para dentro da curva de referência, ora se situaram para dentro da curva de referência de forma distribuída, com exceção da Base Carta 2 que apresentou maioria de sua área não comum formada para fora da curva de referência (AF).

Os detalhes de cada base simulada podem ser verificados nas Figuras 05, 06, 07 e 08, sendo que os desenhos em branco representam as áreas formadas em comum entre as curvas de referência e simuladas (AC) e os desenhos escuros representam as áreas não comuns formadas entre as curvas de referência e simuladas (AF e AD).

Na etapa de avaliação morfológica

qualitativa, para a UHEPSJ, que apresenta um relevo mais ondulado, os resultados apresentados pelas curvas simuladas extraídas, a partir das bases testadas, se justificam porque o relevo mais inclinado diminui o espaçamento lateral (distância) entre as curvas de nível. As curvas simuladas acompanharam o desenho da curva de referência, principalmente na região do barramento e se mostrou, na maioria de seu entorno, morfologicamente semelhante, apresentando variações para menos com o agravo de que, distante do barramento, foram geradas pequenas ilhas na simulação advinda da Base Foto 1 e uma ausência de curva no final do barramento na simulação advinda da base carta 1. Estes resultados são coerentes somente em parte com o enquadramento no PEC Padrão Classe A e B, respectivamente, para a Base Foto 1 e Carta 1, descritos no item 4.1, pois o teste permite somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, sendo o valor atribuído ao ponto, idêntico à cota da última curva gerada antes da feição “corpo d’água” impossibilitar a restituição de outras curvas. Ver Figuras 05 e 06.

Em relação à UHESD, que apresenta um relevo levemente ondulado, os resultados apresentados pela simulação a partir da Base Foto 2 se justificam porque, a curva restituída exatamente na cota de alagamento facilitou a extração da curva simulada do MDE gerado, o que refletiu em uma curva simulada que acompanhou fielmente o desenho da curva de referência em todo seu entorno, se apresentando morfologicamente de acordo com a curva de referência. Este resultado parece ser coerente com o enquadramento no PEC Padrão Classe A da Base Foto 2 descrito no item 4.1, pois o teste, apesar de permitir somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, foi compatível com o contorno da curva gerada a partir da citada base. Ver Figura 7.

No caso da Base Carta 2, devido a escala 1:100000 com curvas de nível com equidistância de 40 m, associada ao relevo levemente ondulado, os resultados também se justificam porque, a última curva restituída antes do corpo d’água surgir era muito distante horizontalmente do NA demarcado. A cota simulada parece não ter se adequado perfeitamente ao contorno da curva de referência, se apresentando morfologicamente muito maior e completamente fora da mesma na

maioria de seu contorno. Este resultado parece não ser coerente com o enquadramento no PEC Padrão Classe B da Base Carta 2 descrito no item 4.1, pois o teste, por permitir somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, não reflete a realidade do contorno da curva gerada a partir da citada base. Ver Figura 8.

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 17.

Para cada base testada foi calculado um indicador baseado na extração da curva que simula o NA. Os indicadores calculados estão sendo apresentados na Tabela 18, com seu respectivo percentual limitante de 20%.

De acordo com os valores apresentados na TABELA 18, não houve diferença significativa nos indicadores calculados para as três primeiras bases, em relação ao valor de referência apresentado na TABELA 17, estando as curvas simuladas a partir da Base Foto 1 e 2 e da Base Carta 1 dentro do limite estabelecido. Para a Base Carta 2, entretanto, houve diferença significativa no indicador calculado em relação ao valor de referência, não estando a curva simulada a partir desta base dentro do limite estabelecido.

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

- Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações, ora para fora ou ora para dentro da mesma, numa proporção de quase 50%, de acordo com os resultados apresentados na TABELA 16, conclui-se que o **NA simulado da Base Foto 1 da UHEPSJ** pode ser utilizado para simular o NA desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Viabilidade;
- Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações, ora para fora ou ora para dentro da mesma, de acordo com os resultados apresentados na TABELA 16, conclui-se que o **NA simulado da Base Carta 1 da UHEPSJ** pode ser utilizado para simular o NA desde

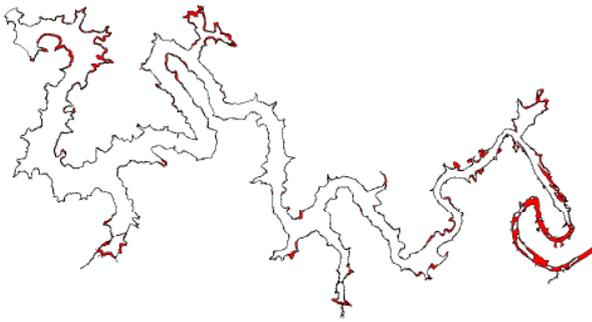


Fig. 5 - UHEPSJ: Simulação Base Foto 1.

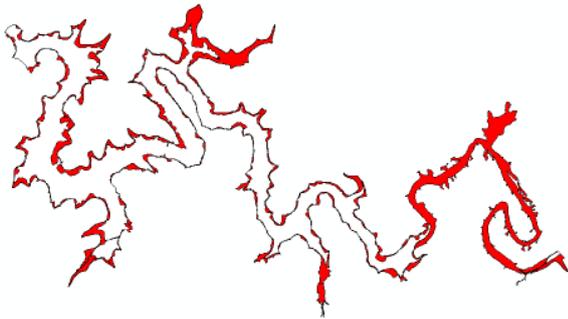


Fig. 6 - UHEPSJ: Simulação Base Carta 1.

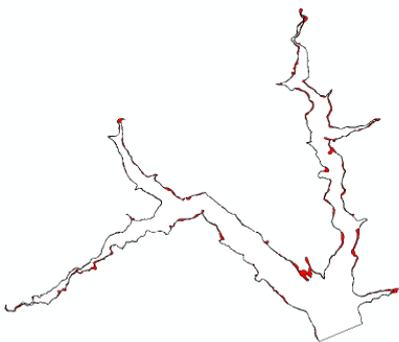


Fig. 7 - UHESD: Simulação Base Foto 2.

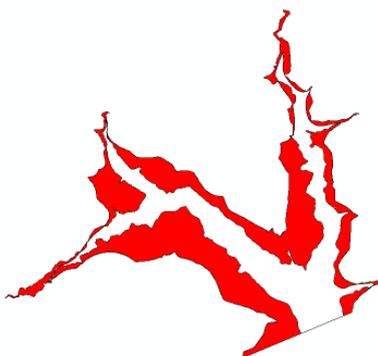


Fig. 8 - UHESD: Simulação Base Carta 2.

a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Inventário Hidrelétrico;

- Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, sem discrepâncias, numa proporção de

Tabela 17: Indicador M&P para as bases de referência

Base	Po-tência (kW)	Área NA (ha)	Indica-dor M&P
UHEPSJ	77000	2523,61	30,51
UHESD	48000	1863,86	25,75

Tabela 18: Indicador M&P para as bases simuladas

Usina	Po-tência (kW)	Área SI (ha)	Indi-cador M&P	Indica-dor %
Foto 1	77000	2517,23	30,59	0,26
Carta 1	77000	2618,78	29,40	-3,64
Foto 2	48000	1820,31	26,37	2,41
Carta 2	48000	3857,77	12,44	-51,69

36,16 % para fora e 63,84 % para dentro, de acordo com os resultados apresentados na TABELA 16, conclui-se que o **NA simulado da Base Foto 2 da UHESD** pode ser utilizado para simular o NA desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Projeto Básico;

- Por apresentar um contorno muito diferente ao da curva de referência, com variações em todo entorno, de acordo com os resultados apresentados na TABELA 16, numa proporção de 92,08 % para fora e de 7,92 % para dentro, conclui-se que o **NA simulado da Base Carta 2 da UHESD**, não pode ser utilizada para simular o NA em nenhuma etapa de projetos de usinas.

4.4 Análises

No geral, analisando os resultados verifica-se que:

- Praticamente todas as bases testadas foram enquadradas no PEC para a exatidão declarada;
- Todas as bases testadas foram enquadradas no STANAG vertical para a escala declarada;

- Todas as bases testadas puderam ser avaliadas morfologicamente.
- Os resultados obtidos pela avaliação da qualidade pontual das Bases Foto 1 e 2 se mostraram semelhantes, pois:
- Foram enquadradas no PEC Altimétrico Padrão Classe A com equidistância de curvas de nível de 5 m e precisão em torno de 1,5 m;
- Foram enquadradas no STANAG Vertical Classe 1 (escala 1:15:000) e Classe 0 (escala 1:30000), respectivamente, com o mesmo valor de exatidão, 3 m.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica das Bases Foto 1 e 2 na simulação de NA também se mostraram semelhantes, pois:

- Foram aprovadas no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e reprovadas no relativo, embora tenham apresentado, aproximadamente 87 % e 92 % de áreas comuns, respectivamente;
- Apresentaram também, valores muito próximos das referências para os indicadores de M&P, recebendo também aprovação para simular o NA até as etapas de viabilidade e projeto básico, respectivamente.

Os resultados obtidos pela avaliação da qualidade pontual das Bases Carta 1 e 2, se mostraram semelhantes para as duas áreas estudadas:

- A Base Carta 1 foi enquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe B para a equidistância de curvas de nível de 20 m e precisão de 7,52 m e foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 2, com exatidão de 20 m;
- A Base Carta 2 foi enquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe B para a equidistância de curvas de nível de 40 m e precisão de 15,82 m e foi enquadrada no STANAG Vertical Classe 2, com exatidão de 40 m.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Carta 1 se mostrou satisfatório:

- Foi aprovada no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e foi reprovada no

relativo, embora tenha apresentado aproximadamente 64 % de áreas comuns;

- Apresentou valor próximo ao da referência para o indicador de M&P e foi aprovada. Também recebeu a aprovação para simular NA até a etapa de inventário hidrelétrico.

Os resultados obtidos pela avaliação morfológica da Base Carta 2 não foram satisfatórios porque:

- O enquadramento de áreas nos métodos absoluto e relativo do Código Civil foi reprovado, com somente 41,43 % de áreas comuns;
- A base apresentou valor completamente subestimado para o indicador de M&P, conseqüentemente não recebeu aprovação para simular NA em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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 duas áreas de estudo propostas e as duas apresentavam relevos diferenciados.

Conclui-se também que foram definidos quais produtos altimétricos podem ser utilizados para simular o NA de usinas hidrelétricas, bem como até quais etapas de projeto podem ser utilizados.

Na área de estudo 1, em termos específicos:

- A Base Foto 1 possuiu qualidade suficiente para simular NA até a etapa de Viabilidade, donde se conclui que nas mesmas condições de relevo ondulado, podem ser extraídas curvas de nível de bases fotogramétricas com escala de voo 1:15000 para simular NA;
- A Base Carta 1 possuiu qualidade suficiente para simular NA até a etapa de Viabilidade, donde se conclui que nas mesmas condições de relevo ondulado, podem ser extraídas curvas de nível de bases cartográficas na

escala 1:50000 para simular NA.

- Na área de estudo 2, em termos específicos:
- A Base Foto 2 possuiu qualidade suficiente para simular NA até a etapa de Projeto Básico, donde se conclui que nas mesmas condições de relevo levemente ondulado, podem ser extraídas curvas de nível de bases fotogramétricas com escala de voo 1:30000 para simular NA;
- A Base Carta 2 não possuiu qualidade suficiente para simular NA em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico, donde se conclui que nas mesmas condições de relevo levemente ondulado, não podem ser extraídas curvas de nível de bases cartográficas na escala 1:100000 para simular NA.

Em bases altimétricas onde NAs são extraídos a partir de modelos provenientes de fotografias aéreas, com curvas de nível de até 5 m de equidistância, em relevos levemente ondulados a ondulados é garantida uma qualidade entre 82 e 91 % de áreas comuns na simulação de NA. As cotas simuladas destas bases podem ser utilizadas até a etapa de Viabilidade para os relevos ondulados e até a etapa de Projeto Básico nos relevos levemente ondulados.

Em bases altimétricas onde NAs são extraídos a partir de modelos provenientes de cartografia sistemática 1:50000, com curvas de nível de até 20 m de equidistância, em relevos ondulados é garantida uma qualidade em torno de 64 % de áreas comuns na simulação da cota de alague. É recomendada, entretanto, a utilização deste tipo de base até a etapa de Inventário Hidrelétrico, mas somente na ausência de produtos com melhor qualidade, tendo em vista que a mesma apresentou diferenças ora para fora e ora para dentro do NA.

Não são recomendadas a simulação NA a partir de MDEs provenientes de cartografia sistemática 1:100000, com curvas de nível de até 40 m de equidistância em nenhum tipo de relevo, em nenhuma etapa de projeto de hidrelétricas.

Recomenda-se também que sejam realizados trabalhos utilizando-se o mesmo método descrito para avaliar áreas com relevos fortemente ondulados e escarpados, bem como a utilização de outros produtos para as mesmas

áreas testadas, por exemplo, provenientes de varreduras a *laser*, modelos estereoscópicos advindos de imagens de sensoriamento remoto ou missões do tipo radar/bradar.

Todos os resultados provenientes, portanto, advindos das bases fotogramétricas ou cartográficas (principalmente 1:100000) convergiram, ora para um equilíbrio entre as curvas simuladas e de referência, ora para curvas simuladas para além (fora) da curva de referência.

Os produtos altimétricas testados apresentaram suas reais limitações superficiais e não somente pontuais, mas de forma geral, excetuando as duas primeiras bases fotogramétricas testadas, mesmo tendo sido enquadrados na legislação, atendendo todos os requisitos em termos de qualidade altimétrica, se mostraram com qualidade morfológica aquém do esperado.

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

Para maiores detalhes sobre todos os resultados descritos ver Celestino (2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRASIL. ANEEL – AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília. 2008. 236p.

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. 176p.

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. 347p.

CHRISMAN, N. R. **Exploring Geographic Information Systems**. New York: J. Wiley, 1997. 298p.

ELETROBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas**. 1999. 95p.

ELETROBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Diretrizes para Projetos de PCH**. 2000. 6p.

ELETROBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos**. Rio de Janeiro, 1997. 73p.

ELETROBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. 2007. 686p.

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. 47p.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo. Ed. Edusp. 2008. 400p.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106. 1989. p. 211 - 232.

MACHADO, K. J., CALIJURI, M. L. RIBEIRO, C. A. A. S., SANTOS, R. S., FRANCO, G. B. Determinação Automática da Capacidade de Armazenamento de um Reservatório. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 62. Edição especial 01, 2010. p. 239 – 245.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2ª Edição. Brasília: Editora Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 433p.

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

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

ROCHA, V. **Utilização do Geoprocessamento para Simular Reconstituição do Relevo Após Atividades de Mineração**. 2011. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Curso de Especialização em Geoprocessamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. 47p.

SANTOS, R. D. ; LEMOS, R. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: SBCS/SNLCS, 1984. 46p.

WAHBA, G. Spline models for Observational data. In: **Regional Conference Series In Applied Mathematics**. Sponsored by Conference Board of the Mathematical Science (CBMS), supported by National Science Foundation (NSF). University City Science Center. Philadelphia. 1990. 167p.