



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GGH/34

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - 1

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

**APLICABILIDADE DOS ESTUDOS GEOINFORMAÇÃO DETALHADOS, COMO FERRAMENTAS DE APOIO À
SUSTENTABILIDADE DOS INVESTIMENTOS NA ÁREA DA PRODUÇÃO HIDROELÉTRICA, EM PARTICULAR
EM SITUAÇÕES LIMITE**

Rodrigues, Paulo (*)	Daniel Alvarado	Melissa Clemente	Dimas Clemente
SENOGRAFIA	SENOGRAFIA	SENOGRAFIA	SENOGRAFIA

RESUMO

A possibilidade de atualmente, através das novas tecnologias, coletar dados de forma massiva, consistente e integrada, em localizações remotas de tradicional dificuldade operacional, sem acessibilidades, clima instável e forte cobertura vegetal; dando subsídio rigoroso a estudos de viabilidade, concepção, projeto, construção, operação, manutenção, monitoramento, e também na modernização, repotenciação e desempenho de hidrelétricas, abre mais e melhores perspectivas no planejamento da operação e do negócio.

PALAVRAS-CHAVE

Geoprocessamento, Integração, Detalhamento, Precisão Altimétrica, escaneamento laser.

1.0 - INTRODUÇÃO

Este informe técnico pretende dar uma contribuição à temática dos estudos de viabilidade, concepção, especificação, projeto, construção, monitoramento e repotenciação em empreendimentos de geração hidráulica, demonstrando através de dois exemplos práticos, a importância e consequentes vantagens do geoprocessamento integrado de última geração como base de trabalho para apoio à decisão sustentada.

A necessidade de ter dados topográficos / cartográficos atualizados, em detalhe, nível de precisão e consistência, é de bom senso e de óbvia necessidade para quaisquer projetos de engenharia, em particular engenharia construtiva. No entanto surpreendentemente, ocorrem frequentemente problemas relacionados com uma deficiente representação do terreno como ponto de partida a obras de complexidade considerável.

Apresentamos neste trabalho os projetos executados em dois aproveitamentos hidroelétricos: Barragem Santo Antônio, no rio Madeira, Rondônia, junto à cidade de Porto Velho executado para a Santo Antônio Energia, e futura Usina Hidrelétrica de Prainha aproveitamento Pau Brasil, no rio Aripuanã, no Estado do Amazonas, a cerca de 300 km da foz, executado para Endesa Brasil. A particularidade destes dois aproveitamentos, se refere ao fato e desde o início das consultas ficar claro que existiam intenções e exigências claras, de garantir um grau de precisão, detalhamento e certeza, quanto aos modelos a apresentar, em particular, quanto à segurança altimétrica como um todo e muito em particular à correta transposição entre margens, assim como ao modelo de terreno e sua representação. A tecnologia utilizada em ambos, aerofotogrametria associada a escaneamento laser, garantiu uma informação rica e detalhada, fundamentada de forma sólida em trabalho topográfico executado de forma integrada. Através dos exemplos apresentados, se realça a segurança das decisões tomadas pelas empresas relativamente aos empreendimentos; fruto de análises rigorosas baseadas em dados geográficos precisos e multifacetados, que permitiram diferentes níveis de simulações internas e assim se tornaram fundamentais como apoios à decisão.

(*) Endereço Autor Responsável, n° 1414 – Rua Camões - Hugo Lange – CEP 80.040-180 Curitiba, PR, – Brasil
Tel: (+55 41) 99274-0011 – Fax: (+55 41) 3359-3201 – Email: prodriques@senografia.com.br

2.0 - APROVEITAMENTO NO RIO ARAPUANÃ - EPE / PRAINHA (ARI-300) / (AHE) PAU BRASIL

O projeto do rio Arapuanã, EPE/Prainha (ARI-300), renomeado AHE Pau Brasil, se insere numa área de vegetação classificada e bem preservada; localizado a 300 km da foz do respectivo rio, na divisa entre os municípios de Apuí e Novo Aripuanã, no Estado do Amazonas; o local do eixo não interfere com Unidades de Conservação nem com Terras Indígenas, embora o reservatório atinja o limite do Parque Nacional dos Campos Amazônicos.

2.1 Objeto do projeto

O projeto de geoinformação executado, resultou da Licitação ENDESA nº LICXP1404602 Contrato - PBR - 002: "CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE COBERTURA AÉREA, COMPREENDENDO PERFILAMENTO A LASER E IMAGEAMENTO AÉREO DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO (AHE) PAU BRASIL"

2.2 Riscos e condicionantes

Na descrição da localização do projeto, ficam evidenciados alguns riscos e condicionantes do empreendimento, a ter em conta em todas as fases a cumprir na concessão. A sua particular localização geográfica, com poucas acessibilidades e espaço envolvente particularmente difícil, tornaram quaisquer operações de terreno um desafio. De acessibilidade difícil, pelas características sazonais, o acesso ao local do futuro eixo é feito pela rodovia BR-230 (Transamazônica), partindo da balsa no Rio Aripuanã localizada na localidade de Mata-matá, e seguindo pela rodovia no sentido da cidade de Apuí, AM. Com 8,5 km se acessa a uma estrada secundária que leva à localidade denominada "Prainha". Com aproximadamente 32 km, atinge-se o local da área do projeto. Condicionantes de clima combinadas com um cronograma exigente resultaram num risco elevado quanto ao cumprimento dos prazos.

2.3 Etapas do Projeto

A execução do projeto foi estruturada de acordo com as seguintes etapas:

Recobrimento aerofotogramétrico com GSD de 15 cm, de uma área prevista de 54 Km² combinado com escanemamento laser com densidade superior a 3 pontos / m², de uma área prevista de 54 Km²;
 Apoio terrestre através de rastreamento de satélites, com transporte de coordenadas referenciado às estações geodésicas do IBGE, com implantação de um par de marcos intervisíveis nas proximidades do futuro eixo e levantamento de pontos de apoio suplementar destinado ao controle da aerotriangulação e de pontos auxiliares para a formulação de modelo geoidal local;
 Transporte de altitude por nivelamento geométrico a partir de referências de nível do IBGE até os marcos implantados nas proximidades do futuro eixo;
 Etapas de aerotriangulação e restituição digital na escala 1: 2.000 de uma área aproximada de 30 Km²;
 Processamento dos pontos do perfilamento a laser para a criação de MDT (Modelo Digital de Terreno), MDS (Modelo Digital de Superfície) e geração de curvas de nível com equidistância de 1 m;
 Ortoretificação, mosaicagem e tratamento das ortofotos com resolução compatível com a escala 1:2.000, de uma área aproximada de 30 Km².

2.3.1..Cobertura Aerofotogramétrica

A cobertura aerofotogramétrica e o escaneamento a laser foram realizados simultaneamente. A operação integrada dos dois sensores com a utilização de um sistema inercial de navegação (IMU) e de um receptor de satélites embarcados na aeronave, associados a um receptor numa base terrestre de coordenadas conhecidas, permitiu a determinação de uma trajetória comum aos dois sensores, garantido as precisões previstas.

- a. Planejamento do voo - realizado no limite da área do projeto e considerando as condições para obtenção de fotografias com GSD (Ground Sample Distance) de 15 cm e densidade de 3 pontos / m² no escaneamento a laser. Dentro dos tramites legais, foi obtido junto ao Ministério da Defesa a autorização de voo sob o número 220/2014 e a autorização de Voo e Pouso (AVOMD) de numero 294/14.
- b. Processamento das Imagens - Executado o vôo, foram processadas as imagens, com particular cuidado na verificação da qualidade radiométrica. As imagens foram colocadas em vídeo lado a lado para análise e correção da homogeneidade de cores, contraste e nitidez. Com os dados de posicionamento dos centros perspectivos das imagens obtidos durante a realização do voo, foi criado um arquivo gráfico do foto índice com as faixas de voo executadas. Sobre o arquivo gráfico foi realizada a verificação da deriva, dos percentuais de recobrimentos longitudinal e lateral, verificação da presença de nuvens e névoas.
- c. Processamento da trajetória dos Sensores - a trajetória comum dos sensores aerotransportados se obteve com o processamento dos dados de rastreio coletados pelo receptor de satélite embarcado e pelo receptor instalado em terra em uma estação base de referência, acrescidos dos dados de posicionamento inercial coletados pelo IMU (

Inertial Measurement Unit). No cálculo do posicionamento espacial, foi empregado o método cinemático pós-processado, considerando-se a base terrestre ocupada como estação de referência e o receptor embarcado na aeronave como estação “rover”. O processamento final do voo apoiado nos forneceu os parâmetros de orientação externa de cada fotografia e a nuvem de pontos laser devidamente georreferenciada.

2.3.2..Apoio Terrestre

Relativo ao transporte de coordenadas, foi localizado um marco (M-06), preexistente na localidade denominada de “Prainha”, a sua existência em boas condições foi aproveitada. O transporte de coordenadas foi realizado por técnica de rastreamento de satélites, se tomando como referenciais de partida estações geodésicas do IBGE e se formando uma triangulação com as linhas bases de rastreio ligando os marcos. Na determinação das coordenadas foi usado o método de posicionamento relativo estático com utilização de receptores de dupla frequência, e com um período mínimo de ocupação de 5,5 horas. Os dados coletados pelos receptores foram diariamente descarregados e pré-processados, permitindo verificar a qualidade dos vetores observados e a necessidade de eventuais reocupações. A Tabela 1 abaixo apresenta os resíduos de fechamento obtidos.

Tabela 1 - Resíduo de Fechamento na estação / DATUM SIRGAS 2000
Coordenadas UTM - Meridiano Central : 63° W (Fuso 20 S)

Fonte	E (m)	N (m)	h Elipsoidal (m)	Resíduo Planimétrico (m)
Ajustamento Preliminar	401400.699	9037165.743	119.701	0.033
Coordenadas IBGE	401400.675	9037165.721	119.590	
Resíduos	0.024	0.022	0.111	

2.3.3. Marcos Implantados

Perto do futuro eixo, foi implantado um par de marcos intervisíveis, M-01, localizado na margem direita do Rio Aripuanã, e distante aproximadamente 60 m do marco M-06; e M-02 implantado na margem esquerda, distante aproximadamente 580 m do marco M-01. A altitude ortométrica do marco M-01 foi obtida por nivelamento geométrico, referenciado às RN 1309 R e RN 1309 S do IBGE. A altitude ortométrica do marco M-02, localizado na margem esquerda do Rio Aripuanã, foi obtida a partir da ondulação geoidal interpolada no modelo geoidal local.

2.3.4. Apoio Suplementar

Visando a elaboração de um modelo geoidal local, foram rastreados piquetes auxiliares, cujas altitudes ortométricas foram determinadas por nivelamento geométrico. Estes piquetes foram implantados na margem da estrada secundária com espaçamento entre 1,5 e 2,0 km. Foram levantados 33 pontos, totalizando 23 pontos de apoio (HV) e 10 piquetes nivelados e destinados à elaboração do modelo geoidal local.

2.3.5. Nivelamento Geométrico

O transporte de altitude ortométrica até o sítio da AHE Pau Brasil foi realizado através de nivelamento geométrico, com a linha de nivelamento partindo da “RN 1309 R” do IBGE localizada na margem da rodovia BR-230 (Rodovia Transamazônica), distante aproximadamente 12 Km do trevo que dá acesso à localidade denominada “Prainha. Em seguida foi realizado o caminhamento de “volta”, ocupando-se os mesmos pontos de segurança e piquetes nivelados no caminhamento de “ida”, retornando-se até a “RN 1309 R” e fechando-se o nivelamento na “RN 1309 S”, localizada na margem da BR-230, distante aproximadamente 3.5 km da “RN 1309 R”.

2.3.6. Modelo Geoidal Local

Quando realizamos operações de rastreio de satélites, os dados altimétricos estão referenciados ao elipsoide, obtendo-se a denominada altura geométrica ou altura elipsoidal. No entanto, as altitudes ortométricas que são medidas e requeridas nos serviços topográficos estão referenciadas ao geóide. A diferença entre a altura elipsoidal (h) e a altitude ortométrica (H) é denominada de ondulação geoidal (N). Portanto, para obtermos a altitude ortométrica de um ponto determinado por rastreio de satélites, devemos conhecer a ondulação geoidal neste ponto.

No projeto, as altitudes ortométricas desconhecidas foram determinadas a partir das ondulações geoidais fornecidas pelo programa MAPGEO 2010 do IBGE, corrigidas de valor obtido em função do rastreio realizado. Para a determinação do modelo geoidal local, primeiramente foram calculadas as ondulações geoidais no datum SIRGAS-2000 utilizando o programa MAPGEO 2010 do IBGE. Em seguida foram calculadas as altitudes ortométricas nos pontos selecionados, utilizando as alturas geométricas obtidas no rastreio de satélites.

O resíduo médio encontrado de -0.40m foi utilizado na correção das ondulações geoidais fornecidas pelo MAPGEO2010 do IBGE. Recalculando as altitudes ortométricas para os pontos e utilizando as ondulações MAPGEO2010 acrescidas da correção de -0.40m. Se observou que os resíduos entre as altitudes calculadas a partir das ondulações geoidais interpoladas no modelo geoidal local, MAPGEO2010+correção, e as altitudes obtidas por nivelamento geométrico, apresentam um desvio padrão de 2,7 cm, com resíduo maior de 4,3 cm encontrado num dos pontos.

Na verificação do modelo geoidal local, se rastreou e nivelou 5 pontos adicionais, realizando a comparação entre as altitudes obtidas a partir do modelo geoidal local e suas altitudes obtidas por nivelamento geométrico, e se obteve, média de -2,1 cm, desvio padrão de 3,4 cm e o maior resíduo foi de -5,7 cm, valores que validaram o modelo local adotado e atenderam o padrão de precisão requerido para o projeto. Como resultado das medições e verificações, o modelo geoidal local adotado no projeto foi - **Modelo Geoidal Local = MAPGEO_2010 – 0,40 m.**

2.3.7. Aerotriangulação

A aerotriangulação objetiva o adensamento dos pontos de apoio e a determinação dos parâmetros de orientação exterior necessários para a visualização tridimensional dos modelos estereoscópicos na etapa da restituição aerofotogramétrica e para a orientação das fotografias na etapa de ortorretificação.

Independente da cobertura aérea ser apoiada pela tecnologia GPS+IMU, a aerotriangulação promove uma homogeneização dos parâmetros de orientação exterior das fotografias, garantindo uma transposição mais suave entre os modelos estereoscópicos. No projeto foi estabelecido um bloco único de aerotriangulação, totalizando 27 faixas de voo, com 1015 fotografias. Foram utilizados no ajustamento 36 pontos de apoio.

2.3.8. Modelo Digital de Terreno (MDT)

Na criação do produto MDT foram utilizados os softwares TerraMatch, Scan e Modeler desenvolvidos pela TerraSolid. Os pontos do escaneamento laser foram coletados em WGS84 e suas alturas referenciadas ao elipsoide. Na importação da nuvem de pontos no software TerraScan, as coordenadas geográficas WGS84 foram transformadas em coordenadas UTM no datum SIRGAS 2000, fuso 20 (meridiano central 63°W).

Na transformação das alturas elipsoidais em altitudes ortométricas, foi utilizado um arquivo padrão ASCII com um grid de pontos espaçados de 500 metros, com as coordenadas UTM (E, N) e a ondulação geoidal interpolada no modelo geoidal local (MAPGEO 2010 + correção de -0,40 m).

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi gerado a partir do escaneamento a laser obtido com densidade de 3,5 pontos/m². A nuvem de pontos foi classificada de forma a serem removidas as informações referentes a cobertura vegetal, feições artificiais, edificações e demais pontos que não fazem parte do terreno.

Foram gerados arquivos digitais conforme a articulação em ASCII, extensão “.txt”, com o grid de pontos com as coordenadas E, N, H; e no formato “*.tif”, com os arquivos de georreferenciamento no formato “*.tfw”.

2.3.9. Modelo Digital de Superfície (MDS)

Para a obtenção do MDS (Modelo Digital de Superfície) foi empregado o software TerraScan. Inicialmente foi definida uma lista de classificação dos pontos laser estabelecendo-se um layer de informação para cada tipo de feição de interesse, como por exemplo: pontos de terreno, vegetação de grande porte, vegetação de médio porte, vegetação de pequeno porte, torres, construções, estradas, etc. Para cada layer foram definidos atributos de cor e espessuras distintas. Após a classificação dos pontos, foram criados os arquivos no formato “*.tif” com os respectivos arquivos de georreferenciamento nos formatos “*.tfw”, e, no padrão ASCII, extensão “.txt”, contendo grid de pontos com as coordenadas E, N, H, individualizados conforme a articulação de folhas.

2.3.10. Geração das curvas de nível

A partir do MDT (Modelo Digital de Terreno), as curvas de nível com equidistância de 1 metro foram criadas de forma automática. As curvas criadas foram examinadas sobre os modelos fotogramétricos, para controle de qualidade, verificando a compatibilidade entre as curvas de nível e o modelo tridimensional. As feições representativas das curvas de nível contêm informações das respectivas altitudes, com as curvas mestras múltiplas de 5 metros apresentando cor e espessura diferenciadas.

No decorrer do projeto, foi sugerido pelo cliente a conveniência em representar a curva 24 m em toda a área voada e não exclusivamente na área contratada, para mapeamento. A informação foi disponibilizada, no sentido de facilitar

os trabalhos subsequentes, e justificando desde logo a importância do planejamento prévio e reforçando a relevância da cooperação e motivação do binômio contratada / cliente para garantir o sucesso do projeto como um todo e não exclusivamente no que foi contratado.

2.3.11. Restituição

A restituição foi feita sobre os modelos fotogramétricos formados pelas fotografias aéreas com GSD de 15 cm, utilizando um sistema digital fotogramétrico. Foram vetorizados os detalhes planialtimétricos compatíveis com a escala 1:2.000. As informações planialtimétricas foram adquiridas por níveis de informações (layers), que permite a recuperação isolada ou combinada dos mesmos a qualquer instante. Foram vetorizadas as feições topográficas representativas dos seguintes níveis de informação: hidrografia, divisas, localidades, obras e edificações, vias em geral e redes de infraestrutura.

2.3.12. Ortofotoplanos

As ortofotos foram geradas a partir da ortorretificação das fotografias obtidas com GSD de 15 cm, associadas aos elementos das orientações exteriores e do MDT. Foi feita a ortorretificação de uma área aproximada de 30 Km². Na geração das ortofotos foi utilizado software dedicado que inclui ferramentas que permitem a ortorretificação, a mosaicagem, o balanceamento de cores e a equalização automática das imagens. Depois de gerados as ortofotos são sujeitas a processos de verificação geométrica, por comparação com a informação vetor e os pontos topográficos com relevância planimétrica e também ao processo de balanceamento de tonalidade (dodge). No momento da exposição, as fotografias aéreas sofrem alterações frequentes devido a condições de iluminação ocasionadas pela posição da câmera em relação ao sol. O processo de "dodge" minimiza este problema gerando um valor de correção para toda a imagem, escurecendo as regiões mais brilhantes e iluminando as regiões mais escuras.

2.3.13. Produtos complementares

Como resultado de uma informação rica e muito integrada que consideramos fundamental para obtenção de sucesso num projeto de engenharia desta natureza, foram solicitados e fornecidos mais dois produtos não considerados inicialmente e um terceiro agregado.

Na sequência do projeto e na visão da contratada, os dois produtos novos mais o agregado, representavam uma mais valia para o projeto e assim foram sugeridos no sentido de facilitar e melhor apoiar as fases subsequentes do projeto como um todo.

Esses novos produtos foram: o arquivo composição Hipsometria / Intensidade que utiliza a informação hipsométrica obtida a partir da coloração dos pontos laser de acordo com a sua elevação relativa, combinada com o grau de cinzento associado a refletividade de cada ponto laser, que se diferencia em função do material que reflete o eco do ponto laser; e o arquivo composição Ortofoto / Restituição, que combina a informação fotográfica com a informação vetor, reforçando assim a fotointerpretação de todos os contornos representados pelos vetores.

O produto agregado tratou do arquivo geral único da restituição, garantido a continuidade física das curvas e sua consequente utilização em sistemas de informação geográfica e sistemas simuladores de apoio ao projeto.

Em particular a sugestão de entrega relativa ao produto Hipsometria / Intensidade, tem como objetivo facilitar uma leitura intuitiva das morfologias do terreno, fundamental em projetos de raiz hídrica.

A disponibilização desse produto permitiu à contratante a sua análise, para que em situação favorável, possa incluir a mesma no seu processo de trabalho, a solicitando em futuros projetos.

2.4 Balanco

Neste projeto foi determinante a decisão de propiciar um levantamento detalhado e integrado, focado em garantir a homogeneidade altimétrica de todo o levantamento, entre ambas as margens e na correspondente ligação à rede de referência, o qual garantiu um resultado final de grande consistência para as etapas subsequentes do empreendimento. A abordagem reuniu as premissas de um levantamento topográfico puro em conjunto com um projeto aerofotogramétrico complementado com escaneamento laser. As particularidades do terreno e o alto nível dos projetos desta natureza, não só recomendam como arriscamos a afirmar, com base na nossa experiência, exigem uma abordagem nesta linha de pensamento quando se trata de contratar serviços de geoprocessamento de apoio.

3.0 - BARRAGEM DE SANTO ANTÔNIO, NO RIO MADEIRA

A Hidrelétrica Santo Antônio está localizada no Rio Madeira, na cidade de Porto Velho, capital de Rondônia. Possui 50 turbinas do tipo Bulbo para geração de energia elétrica com potência de cerca de 71,6 megawatts (MW) cada uma, totalizando 3.568,3 MW de potência instalada e 2.424 MW de energia assegurada. É a quarta maior hidrelétrica em operação no Brasil e uma das maiores do mundo. Começou a ser construída em março de 2012, e terminou em Dezembro de 2016. A concessionária responsável pela hidrelétrica é a Santo Antônio Energia.

A Santo Antônio, relativamente aos trabalhos de geoprocessamento, teve duas etapas distintas. Uma primeira, correspondeu à determinação de marcos e conferência de altitudes, na área do empreendimento, naturalmente em ambas as margens. A relevância deste serviço se relaciona com o fato de que no segundo semestre do ano de 2009, o IBGE realizou um novo ajustamento das altitudes de algumas RRNN localizadas na margem direita do Rio Madeira, nas proximidades da cidade de Porto Velho. Em decorrência deste fato, todas as altitudes obtidas em trabalhos anteriores ao ajustamento feito em Outubro de 2009 e com origem em determinadas referências altimétricas, apresentavam diferenças entre - 0,4974 e + 0,5034 metros.

As marcas situadas na margem esquerda não tinham sofrido nenhuma alteração do IBGE. Nesta situação foi planejada uma conferência de toda a altimetria por transporte de cota por rastreo GPS, com prioridades definidas.

Foram realizados serviços de nivelamento geométrico de precisão e rastreo de satélites GPS no empreendimento. Os trabalhos realizados tiveram como finalidade a verificação das altitudes ortométricas de marcos e RRNN preexistentes no empreendimento; foram realizados ao longo do trecho compreendido entre a cidade de Porto Velho-RO até a Cachoeira do Teotônio, e nas áreas da Cachoeira do Morrinho e do Jacy-Paraná.

O objetivo principal foi a verificação da compatibilidade das altitudes ortométricas de alguns marcos estratégicos implantados ao longo do empreendimento UHE Santo Antonio, através do estabelecimento de linhas amarradas às RRNN do IBGE, para comparação dos desníveis obtidos em trabalhos anteriores e os desníveis obtidos durante a execução do nivelamento geométrico.

O planejamento dos serviços foi executado em conjunto com a fiscalização visando determinar os locais prioritários a serem trabalhados. Definiu-se que fossem estabelecidas linhas de nivelamento que ocupassem as RRNN do IBGE RN-765R, RN-766A, RN-766B e RN-9517C (coincidente com o SAT 90012), localizadas na área urbana da cidade de Porto Velho, e as RN-766M e RN-766N, localizadas cerca de 13 Km da Cachoeira do Teotônio, todas na margem direita do Rio Madeira. Durante o caminharmento do nivelamento foram ocupados alguns marcos preexistentes no empreendimento que fizeram parte das linhas principais de nivelamento ou foram irradiados das mesmas.

Para a verificação imediata das altitudes ortométricas de marcos localizados nas Cachoeiras do Teotônio e do Morrinho, foram planejados transportes de cota através de rastreo de satélites GPS, utilizando-se como origem altimétrica a RN-766M (IBGE). Da mesma forma, determinou-se a necessidade de verificar a compatibilidade das altitudes de duas marcas localizadas na margem esquerda do Rio Madeira, relativamente às RRNN localizadas na margem direita. No local do Jacy-Paraná foi identificada a necessidade de verificar as altitudes de alguns marcos e piquetes da locação da curva de cota 70 m, elegendo-se como origem altimétrica a RN-767P.

Numa segunda etapa já em 2011, se avançou para a execução do serviço de levantamento integrado aerofotogrametria e escaneamento Laser, para a área de influência direta, indireta e adjacências do futuro reservatório.

Na consulta para a segunda fase do projeto de geoprocessamento, a estrutura da UHE prevista era: 44 turbinas do tipo bulbo, que se posiciona horizontalmente e é movida com a vazão do rio, sem necessidade de grandes desníveis, cada uma é capaz de escoar 600 m³/s de água, com capacidade de geração de 71,6 MW, totalizando 3.150,4 MW de potência instalada e 2.200 MW de energia assegurada. A área alagada, prevista era de 240 km².

3.1 Objeto do projeto

O projeto de geoinformação executado, resultou da solicitação da Santo Antônio Energia SA relativa consulta para "CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFÉTRICO PLANIALTIMÉTRICO PARA A ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA, INDIRETA E ADJACÊNCIAS DO FUTURO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO".

3.2 Áreas de interesse

De início na consulta estavam consideradas três áreas de interesse: a juzante do barramento a área correspondente ao futuro lago, definida pelo polígono 1, e a montante duas áreas, uma relativa à cidade de Porto Velho e sua envolvente limitada pelo polígono 2, e a terceira correspondente à área complementar ao polígono 2 e designada por polígono 3 correspondente à área de estudo do plano de segurança da barragem, ver Figura 1.

O projeto que foi desenvolvido correspondeu exclusivamente ao polígono 1 - área correspondente ao reservatório.



Figura 1 - Áreas de interesse da UHE Santo Antônio

3.3 Riscos e condicionantes

Devido às necessidades do Empreendimento para atendimentos aos Programas Ambientais, órgãos fiscalizadores, demandas internas, face ao eminente enchimento e formação do lago artificial da UHE Santo Antônio e especialmente ao período favorável de condições atmosféricas na região, a execução dos trabalhos teve que obedecer a prazos curtos:

- Voo aerofotogramétrico (incluindo autorização, apoio, coleta de dados) conclusão até o final de outubro de 2011;
- Produtos cartográficos e relatórios finais até o final de janeiro de 2012.

3.4 Etapas

Cobertura aerofotogramétrica com resolução de 35 cm para a escala 1:5.000 combinado com escaneamento laser com densidade de pontos média de 1 pt / m² para a escala 1:5.000;
 Aerotriangulação, restituição e edição planialtimétrica 1:5.000, com elaboração de curvas de nível a cada 1m;
 Modelo Digital do Terreno e Modelo Digital de Superfície;
 Ortofotocartas com resolução espacial de 40 cm para a escala 1:5.000.

3.5 Sistema de referência

O sistema geodésico de referência adotado foi o SIRGAS 2000, as altitudes, Marégrafo de Imbituba; Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator – UTM; Modelo Geoidal: MAPGEO2010 e Modelo Geoidal Local fornecido pela contratante e conferido pela contratada.

3.6 Precisão

A precisão planimétrica requerida foi 0,50 m e a altimétrica de 0,50 m (ortométrica), atendendo ao Padrão de Exatidão Cartográfica Classe A, constante das Normas Cartográficas - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos no Território Nacional (IBGE – Resolução PR nº 22, de 21 de julho de 1983), bem como deverá estar de acordo com as Normas Técnicas da ABNT 13133 para os levantamentos topográficos.

3.7 Produtos entregues

Planta com curvas de nível a cada metro e pontos cotados para a escala 1:5.000, em formato DWG, SHP e impresso - (mosaico e folhas conforme articulação e padrão de layout definido pela Santo Antônio);
 Restituição planimétrica digital na escala 1:5.000, contendo os principais elementos: hidrografia, divisas, localidades, obras e edificações, vias em geral, redes de infra-estrutura, em formato DWG, SHP e impresso - (mosaico e folhas conforme articulação e padrão de layout no tamanho A1 a ser definido pela Santo Antônio);
 Planta de uso e cobertura do solo incluindo drenagens na escala 1:5.000 em formato DWG, SHP e impresso - (mosaico e folhas conforme articulação e padrão de layout no tamanho A1 a ser definido pela Santo Antônio);
 Ortofotocartas com resolução espacial de 40 cm para a escala 1:5.000, em formato GEOTIFF e impresso - (mosaico e folhas conforme articulação e padrão de layout no tamanho A1 a ser definido pela Santo Antônio);
 Modelo Digital do Terreno em formato GEOTIFF, 32 bits, float (mosaico e folhas conforme articulação e padrão de layout no tamanho A1 a ser definido pela Santo Antônio);
 Modelo Digital de Superfície, em formato GEOTIFF, 32 bits, float (mosaico e folhas conforme articulação e padrão de layout no tamanho A1 a ser definido pela Santo Antônio);

3.9 Variáveis introduzidas

Atendendo ao alto valor da informação produzida e sua evidente integridade e consistência, outras solicitações resultaram na sequência, o que introduziu um fator de dificuldade extra considerável:

- a. Foram solicitadas curvas a 0,5 m para toda a área mapeada;
- b. geração de algumas curvas de nível técnicas.

A geração de curvas com equidistância de 0,5 m representou um desafio na medida em que a densidade de vegetação e a ondulação suave do terreno obrigaram a uma análise muito detalhada da superfície, onerando o trabalho em tempo extra.

3.8 Balanço

É nossa convicção que a decisão final de optar por mapeamento integrado associado ao trabalho profundo de topografia inicial, permitiu consolidar e fundamentar a estratégia da contratante. Não só possibilitou a ampliação qualitativa dos produtos a retirar, esclarecendo e evitando conflitos potenciais como, e mais importante consubstanciou a proposta e consequente autorização da ampliação do projeto, ver Figura 2.

	Projeto original	Ampliação	Projeto ampliado
Investimento	R\$ 16 bilhões	R\$ 1,5 bilhão	R\$ 17,5 bilhões
Turbinas	44	06	50
Potência	3.150,4 MW	417,6 MW	3.568 MW
Garantia Física	2.218 MW médios	206,2 MW médios	2.424,2 MW médios
Término obra	Nov/2015	—	Nov/2016
Sustentabilidade	R\$ 1,7 bilhão	R\$ 300 milhões	R\$ 2 bilhões
Reservatório	350,04 km ²	71,52 km ²	421,56 km ²
Cota	70,5 m	+ 80 cm	71,3 m

Figura 2 - Destaques da mudança

Em paralelo e como dado curioso, permitiu o esclarecimento quanto à indefinição da divisa Rondônia / Amazonas, relevante para a questão econômica / tributária, situação não prevista inicialmente no escopo, mas que a consistência dos dados permitiu resolver, tendo inclusive os dados altimétricos que esclareciam a materialização da divisa terem sido cedidos ao IBGE pela contratante. A base de dados consistente e detalhada, resultante do trabalho efetuado nas duas fases do projeto, contribuiu para que a empresa gerisse com propriedade o projeto inicial, também o projeto de ampliação energética e hoje a operação também, o desenvolvimento de todo o processo assim deixa entender de forma clara:

"Sempre tivemos a convicção que o nosso projeto significa o melhor aproveitamento hídrico do rio Madeira e o desfecho deste processo confirma isso." Eduardo de Melo Pinto, presidente da Santo Antônio Energia.

4.0 - CONCLUSÃO

Da apresentação dos dois exemplos concretos acreditamos resultarem evidências das vantagens de integrar um trabalho detalhado, preciso e integrado, em projetos que encerram riscos consideráveis, e cujos fatores que possam contribuir para uma maior economia indireta e rentabilidade, devem ser valorizados. Nem sempre se observa a interpretação do geoprocessamento de detalhe e preciso, como um investimento, mas sim como uma despesa a minimizar, sendo assumida uma visão economicista, que, sendo legítima para evitar desperdícios, não deveria ser aplicada quando se tratam de projetos de importância multi gerações e com riscos consideráveis no seu processo de concessão, construção e exploração. Procuramos ilustrar igualmente que trabalhos de topografia executados em profundidade são uma garantia da alta precisão dos levantamentos aerofotogramétricos associados a escaneamento laser, que valorizam em detalhe e versatilidade, contribuindo juntos para um melhor projeto.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ENDESA, Especificação técnica para levantamento cartográfico - PBR-EV-TO-ET-001-00, Brasil, 2014.
- (2) SANTO ANTÔNIO ENERGIA / AEROMAPA, Relatório final, Serviços para a determinação de coordenadas de marcos através do rastreamento de satélites GPS e conferência de altitudes através de nivelamento geométrico, na área do empreendimento UHE Santo Antônio localizado no rio madeira, Brasil, 2010.
- (3) SANTO ANTÔNIO ENERGIA, Notícias do site oficial da Hidrelétrica Santo Antônio, <http://www.santoantonioenergia.com.br/hidreletrica-santo-antonio-amplia-sua-capacidade-de-producao/>, Brasil.
- (4) IBGE, Normas Cartográficas - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos no Território Nacional (IBGE – Resolução PR nº 22, de 21 de julho de 1983).

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Paulo Jorge Ferreira Rodrigues

Lisboa, Portugal, 1964

Serviço Cartográfico do Exército, Lisboa, 1986

Consultor, Auditor de Qualidade, Formador na área de Laser / Ciclo produtivo, Relações Internacionais áreas Técnico-Comercial.