

Controle do enchimento da Represa de Serra da Mesa

Antonio José Ferreira Machado e Silva

DVR Consultoria, Projetos e Serviços

Av. Canal de Marapendi 1000 B2 1105, 22631-050, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

(021) 9983-0894, (021) 491-2272, amachado_dvr@hexanet.com.br

Luís Antonio de Andrade

GPSite, Av. Ernani do Amaral Peixoto 207 / 1301

Niterói, RJ, Brasil

(021) 621-5825

Ademar de Britto Filho

FURNAS Centrais Elétricas

R. Real Grandeza 219 Bloco A sala 501,

22283-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

(021) 528-5885

Abstract: The main purpose of this project is to study the potential of the use of radar images in the identification and definition of a dam's water surface, taking into account problematic areas like with vegetation and areas with large concentration of trees. The integration between images and digital elevation models allows the water volume determination. These 2 parameters are very important in order to control a dam.filling up

Introdução

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada no monitoramento do processo de enchimento da represa da usina hidrelétrica (UHE) de Serra da Mesa, no Rio Tocantins. A represa de Serra da Mesa iniciou a formação do lago em outubro de 1996, e periodicamente serão calculados o volume e a superfície do espelho d' água da represa. O processo de monitoramento faz uso de imagens de radar do satélite japonês JERS, bem como do levantamento cartográfico (plani-altimétrico) realizado para construção da UHE, e de levantamentos geodésicos realizados no perímetro do lago. A primeira parte deste trabalho consiste numa introdução para situar o leitor no contexto do projeto. A segunda parte compreende a análise do material utilizado, apontando procedimentos que podem levar à maior precisão nos cálculos realizados, ou pelo menos à maior acurácia. A terceira parte apresenta a metodologia utilizada para obtenção dos parâmetros desejados, os resultados obtidos e a análise destes resultados. A quarta e última parte apresenta as considerações e conclusões relativas ao trabalho e aponta alternativas para a busca de melhores resultados.

As imagens de satélite são geocodificadas com resolução espacial de 25m, a partir das cartas na escala 1:25.000 e, quando possível, orto-retificadas, utilizando-se modelos numéricos de elevação do terreno obtidos da digitalização das curvas de nível das referidas cartas. O MNET gerado apresenta resolução espacial de 100m. As imagens apresentam excelente qualidade radiométrica, com eliminação quase total do ruído "speckle", bom nível de contraste, principalmente com excelente definição do espelho d' água da Represa de Serra da Mesa. A imagem tem qualidade radiométrica mais que suficiente para definição da área relativa ao espelho d' água.

Para determinação da superfície do espelho d' água de Represa de Serra da Mesa, optou-se pela utilização de vários classificadores, desde os mais tradicionais até classificadores contextuais e por região. A tarefa de classificação consistia em separar o espelho d' água da represa do restante da imagem (2 classes).

Existe uma discrepância entre os resultados encontrados na classificação e nos dados relativos ao MNET. Um dos motivos pode ser creditado a grande diferença entre as resoluções espaciais da imagem e do MNET. Para uma melhor análise é necessário observar a declividade do relevo, buscando alternativas para interpolar a altitude quando da equalização das resoluções espaciais.

A qualidade das imagens radar do JERS permite uma perfeita definição do espelho d' água da UHE, possibilitando um cálculo preciso desta superfície. Os quatro estágios futuros permitirão uma melhor avaliação da metodologia empregada, e novas conclusões em função dos resultados que serão alcançados.

Material Utilizado

O material utilizado consiste de imagens de radar do satélite japonês JERS, de um conjunto de cartas topográficas na escala de 1:25.000, cobrindo toda a região da represa, do Modelo Numérico de Elevação do Terreno, fundamental para o processo de orto-retificação das imagens, e de levantamentos geodésicos realizados no perímetro da represa.

Imagem radar:

Imagem radar, do satélite japonês JERS, sobre a região da represa, orto-retificada, cobrindo a região de coordenadas planas UTM de 712.695E a 806.445E (93.750m) e de 8.401.669S a 8.488.994S (87.325m). A imagem digital tem 3.493 linhas por 3.750 colunas, com pixel de resolução espacial de $25 \times 25 \text{m}^2$, e 16 bits de profundidade espectral. A imagem foi processada pela Satellitbild, da Suécia.

Qualidade radiométrica:

A imagem apresenta excelente qualidade radiométrica, com eliminação quase total do ruído "speckle", bom nível de contraste, principalmente com excelente definição do espelho d' água da Represa de Serra da Mesa. A imagem tem qualidade radiométrica mais que suficiente para definição da área relativa ao espelho d' água.

Qualidade geométrica:

Não foi realizada nenhuma avaliação relativa à qualidade geométrica da imagem, uma vez que as imagens são orto-retificadas, o que levaria a crer na qualidade geométrica das mesmas. A única observação é que existem alguns problemas relacionados ao Modelo Numérico de Elevação do Terreno utilizado para a orto-retificação da imagem. Estes problemas serão apresentados a seguir.

Modelo Numérico de Elevação do Terreno:

Modelo Numérico de Elevação do Terreno (MNET), obtido a partir de cartas topográficas da região da represa, cobrindo a região de coordenadas planas UTM de 679.500E a 860.900E (181.400m) e de 8.333.125S a 8.495.125S (162.000m). A imagem digital tem 1.620 linhas por 1.814 colunas, com pixel de resolução espacial de $100 \times 100 \text{m}^2$, e 16 bits de profundidade. O MNET foi gerado pela Satellitbild, da Suécia

Avaliação do MNET:

O MNET foi gerado a partir da digitalização das linhas-mestre das cartas topográficas (de 25 em 25 metros). A região relativa ao MNET é muito maior que a da represa, bem como da imagem em questão, ficando com cerca de 94% de seus pontos com altitude saturada em 450m, sem que isto corresponda a verdade. A decisão de digitalizar apenas as linhas-mestre provocou tal problema, que impede a perfeita orto-retificação da imagem. A última linha-mestre é a relativa à altitude de 450m, mas nas cartas há curvas de nível até a altitude de 460m. Com isso, todos os pontos com altitude acima de 450m ficaram registrados no MNET com altitude de 450m.

Para permitir o registro entre as imagens de radar e o MNET, necessário para a orto-retificação, e para a determinação e avaliação da superfície do espelho d' água, seria interessante que o MNET

também tivesse resolução espacial $25 \times 25 \text{m}^2$, e coordenadas planas que permitissem o perfeito registro. Após a reamostragem do MNET para a mesma resolução espacial das imagens, há um deslocamento de 5m (0,2 pixel) entre os pixels na direção EW (712.695E (imagem) e 712.700E (MNET)) e de 6m (0,24 pixel) entre os pixels na direção NS (8.401.694S (imagem) e 8.401.700 (MNET)).

Uma simples observação no histograma de frequência de altitudes do MNET mostra uma falsa concentração de pontos nas altitudes relativas às linhas-mestre. Com certeza, isto reflete falha no processo de geração do MNET.

Cartas Topográficas:

As cartas topográficas, numa avaliação preliminar, podem ser um dos fatores que contribuíram para a má qualidade do MNET, mas com toda certeza outros fatores relativos à metodologia de geração do MNET também contribuíram para os problemas apresentados pelo MNET.

Levantamentos Geodésicos:

Visando suportar os trabalhos de avaliação geométrica das imagens, das cartas topográficas e do MNET, equipes de campo estão levantando pontos de controle com receptores GPS. Esta constelação de pontos de controle estarão concentrados ao redor da represa.

Metodologia Adotada

Para determinação da superfície do espelho d' água de Represa de Serra da Mesa, optou-se pela utilização de vários classificadores, desde os mais tradicionais (supervisionado por máxima verossimilhança e não supervisionado por agregação ("clustering") - ISODATA) até classificadores contextuais (ARMA) e de região (crescimento de região). A tarefa de classificação consistia em separar o espelho d' água da represa do restante da imagem (2 classes). Para aumento do desempenho, a classe que corresponderia ao restante da imagem foi subdividida em até 4 classes, e a imagem foi subdividida em 12 subimagens, cobrindo toda a região da represa.

A classe espelho d' água incluiu as regiões de macrófitas (água coberta por plantas aquáticas) e de "paliteiros" (árvores desfolhadas não totalmente submersas). Na verdade, as ocorrências de macrófitas e de "paliteiros" é muito ocasional.

A excelente qualidade radiométrica da imagem facilitou sobremaneira o processo de classificação da imagem. Todos tiveram desempenhos semelhantes, com diferenças inferiores a 2%. As regiões de macrófitas e de "paliteiros" não representaram dificuldade para a classificação.

Resultado da Classificação:

A classificação indicou 442.956 pixels relativos à superfície do espelho d' água. Isto corresponde a uma área de $276,85 \text{ km}^2$. A região do espelho d' água apresenta um nível de cinza médio de 411, contra um nível de cinza médio de 1227 para o restante da imagem. Para a linha de fronteira do espelho d' água (perímetro do espelho d' água, limítrofe com a região terrestre), o nível de cinza médio é de 491. Já para a linha fronteira da região terrestre (limítrofe com o espelho d' água), o nível de cinza médio é de 860. Estas duas linhas de fronteira são contíguas. Ainda em relação a tais linhas limítrofes, a altitude média dos pixels da linha de fronteira do espelho d' água é de 406m (água), enquanto que a altitude média dos pixels da linha de fronteira da região terrestre (terra) é de 427m.

Análise dos resultados:

A região do espelho d' água apresenta um nível de cinza médio de 411, contra um nível de cinza médio de 1227 para o restante da imagem (imagem com profundidade de 16 bits). Para a linha de fronteira do espelho d' água (perímetro do espelho d' água, limítrofe com a região terrestre), o nível de cinza médio é de 491. Já para a linha fronteira da região terrestre (limítrofe com o espelho d' água), o nível de cinza médio é de 860. Estas duas linhas de fronteira são contíguas. Ainda em

relação a tais linhas limítrofes, a altitude média dos pixels da linha de fronteira do espelho d' água é de 406m (água), enquanto que a altitude média dos pixels da linha de fronteira da região terrestre (terra) é de 427m.

Existe uma discrepância entre os resultados encontrados na classificação e nos dados relativos ao MNET. Segundo este último, a curva de nível relativa a 406m corresponde a $612,52\text{km}^2$ (405m a $601,29\text{km}^2$), enquanto que a altitude que corresponderia a $276,85\text{km}^2$ seria a de 383m. Os pixels pertencentes às linhas limítrofes entre o espelho d' água e terra apresentaram uma variação de altitude acima do razoável. Um dos motivos pode ser creditado a grande diferença entre as resoluções espaciais da imagem e do MNET. Para uma melhor análise é necessário observar a declividade do relevo, buscando alternativas para interpolar a altitude quando da equalização das resoluções espaciais. Os diversos classificadores apresentaram resultados muito próximos uns dos outros. As regiões de macrófitas e de “paliteiros” não representaram dificuldade para a classificação.

Estes resultados são relativos ao primeiro de 5 estágios do monitoramento. Indicaram erros grosseiros no MNET que podem prejudicar sobremaneira o cálculo do volume d' água. Um novo levantamento por GPS está sendo realizado para dar mais consistência à análise do MNET.

A qualidade das imagens radar do JERS permite uma perfeita definição do espelho d' água da UHE, possibilitando um cálculo preciso desta superfície. Os quatro estágios futuros permitirão uma melhor avaliação da metodologia empregada, e novas conclusões em função dos resultados que serão alcançados. Para comprovação da metodologia é bastante recomendável utilizar um método de campo para determinação do polígono relativo ao espelho d' água, no mesmo dia da tomada da imagem de satélite. Esta seria a maneira mais eficiente de validação da mesma.

Considerações Finais:

O primeiro serviço a ser feito é o de avaliação geométrica da imagem, das cartas topográficas e do MNET, por meio de levantamento de pontos de controle na região da represa. É importante verificar se há algum erro sistemático na altimetria das cartas topográficas.

O MNET e as imagens deveriam ter a mesma resolução espacial (no caso $25 \times 25\text{m}^2$) e as coordenadas dos pixels deveriam ser múltiplos de 25m, permitindo o registro direto entre imagens e MNET. Os erros grosseiros verificados no MNET, com concentração excessiva nas altitudes relativas às linhas-mestre indicam a necessidade de se refazer o MNET.

Para possibilitar uma melhor avaliação da altitude do espelho d' água, em especial dos pontos do perímetro do espelho d' água é importante determinar o modelo de declividade do terreno.

Para comprovação da metodologia é bastante recomendável utilizar um método de campo para determinação do polígono relativo ao espelho d' água, no mesmo dia da tomada da imagem de satélite. Esta seria a maneira mais eficiente de validação do modelo empregado.

O volume calculado levou em consideração tão somente os dados relativos ao MNET, supondo uma superfície de referência na cota 406m.

Referências Bibliográficas:

Jensen, J. R. *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, 2nd edition, 1996.

Novo, E. M. L. M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. Editora Edgard Blücher Ltda, 1989.

Richards, J. A. *Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction*. Spring Verlag, 1986.