

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ÁREA MÁXIMA DO ESPELHO D'ÁGUA DE PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA NA BACIA DO RIO PRETO

**Lineu Neiva Rodrigues¹, Edson Eyji Sano¹, Juscelino Antônio de
Azevedo¹ & Euzebio Medrado da Silva¹**

¹Pesquisador, DS. Embrapa Cerrados, DF
BR020, km 18, Planaltina, DF, 73310-970
{lineu, sano, jucelino, euzebio}@cpac.embrapa.br,

Recebido 11 de fevereiro de 2007; revisado 14 de junho, aceito 16 de agosto.

RESUMO – Nos últimos anos, centenas de pequenas barragens de terra foram construídas na bacia do rio Preto, o que tem contribuído para o sucesso da agricultura irrigada na região. A quase inexistência de documentações técnicas sobre a construção da maioria dessas barragens, entretanto, tem dificultado a execução de trabalhos que visam estudar as suas características hidráulicas, seus impactos na dinâmica dos recursos hídricos da bacia e realizar o planejamento de uso dos recursos hídricos da região. O objetivo do presente trabalho foi identificar as pequenas barragens existentes na bacia do rio Preto, sua distribuição espacial e a área do espelho d'água. Para isto, foram utilizadas três cenas do satélite Landsat ETM+. Após a identificação da localização das barragens na bacia e do cálculo da suas respectivas áreas por meio do uso de técnicas de processamento de imagens e de Sistemas de Informações Geográficas, foi realizado um trabalho de campo onde 51% das barragens foram avaliadas. Os dados de sensoriamento remoto indicaram a existência de 252 barragens com área do espelho d'água variando de 1 a 413 hectares. Observou-se também um bom ajuste entre as áreas do espelho d'água calculadas com dados de sensoriamento remoto e as calculadas com dados de campo.

Palavras-Chave: reservatórios de água, rio São Francisco, planejamento de uso de recursos hídricos.

ABSTRACT – In the last years, hundreds of small dams were built in the Preto river basin, contributing for the improvement of the irrigated agriculture in the region. The lack of technical information about the majority of these dams, however, is causing problems to understand their hydraulic characteristics, their impact on hydrologic dynamics of the basin and to plan the water resources usage in the region. The objectives of this paper were to identify the small dams in the Preto river basin, their spatial distribution and size. For this purpose it was used three scenes of the satellite Landsat ETM+. After the identification of the locations of the dams and the estimation of their corresponding areas, it was conducted a field survey in a set of 51% of the dams to obtain technical information and to measure their boundary contours. The remote sensing data showed the existence of 252 dams varying from 1 to 413 hectares in size. It was also observed a good correlation between remote sensing and field measurements of reservoir sizes.

Keywords: Preto river basin, plan the water resources usage

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da humanidade neste século é garantir segurança alimentar e ambiental a uma população mundial que, em 2030, será de aproximadamente 8,3 bilhões de pessoas. Para que esse desafio possa ser vencido sem provocar conflitos pelo uso da água, devem-se procurar alternativas para compatibilizar o aumento na produção de alimentos com os recursos hídricos disponíveis.

O rio Preto compõe a bacia do rio Paracatu, afluente do rio São Francisco. Com uma área de drenagem de aproximadamente 10.500 km², abrange parte dos estados de Goiás (GO) e Minas Gerais (MG) e o Distrito Federal (DF). Esta bacia, de uso eminentemente rural e com destaque para a agricultura irrigada, é responsável por cerca de 80% da produção agrícola do DF. No entanto, além

da expressiva produção agrícola, já se evidenciam registros de conflito pelo uso da água.

A bacia do rio Preto está inteiramente inserida no bioma Cerrado, que apresenta forte variação sazonal do clima, destacando-se a ocorrência de duas estações bem definidas, uma seca, que vai de abril a setembro, e a outra, chuvosa, que vai de outubro a março. Durante a estação seca, o fornecimento seguro e contínuo de água, principalmente para fins de irrigação, é incerto. O processo de retenção e armazenamento é a única maneira de atender às diversas demandas hídricas ao longo do tempo. Dentre as formas de armazenamento existentes, a barragem é uma das mais utilizadas. Uma barragem, também denominada de represa ou reservatório de água, corresponde a uma barreira que é construída transversalmente à direção do escoamento de um curso de água para acumular ou elevar o nível de água.

Nos últimos anos, centenas dessas pequenas barragens foram construídas na bacia do rio Preto. Com relação a essas barragens destacam-se os seguintes fatos: tanto as de domínio público quanto as particulares foram construídas de forma independente e em épocas diferentes, com nenhuma ou muita pouca integração entre as agências responsáveis pela sua construção; a maioria delas foi construída avaliando-se apenas as condições locais, isto é, não considerando que uma barragem está hidrológicamente interligada com a outra por meio do curso de água que foi represado; vários desses pequenos reservatórios estão operando em condições inadequadas; a manutenção dessas barragens é precária, podendo vir a se romper causando prejuízos às comunidades; e a falta de vegetação às margens das barragens favorece a ocorrência de erosão e o

umentando a taxa de assoreamento das barragens com redução da capacidade de armazenamento causando prejuízos econômicos as comunidades.

Segundo Maldaner (2003), os programas e projetos governamentais que estão sendo implantados na Bacia visam principalmente a redução dos conflitos estabelecidos devidos a expansão da irrigação. Dentre esses projetos destaca-se o Projeto de Aproveitamento Hidroagrícola da bacia do rio Preto, publicado em 2001 pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Distrito Federal. O projeto prevê a construção de 26 pequenos barramentos, com capacidade total de regularização de $18,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo prevista a utilização de cerca de $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para irrigação, o que possibilitaria a expansão da área irrigada em 7.630 hectares (GDF, 2001).

Antes da construção de novas barragens, deve-se, em primeiro lugar, ter conhecimento sobre a localização e distribuição espacial, a área do espelho d'água e a capacidade de armazenamento de água das barragens existentes na Bacia. Para a grande maioria das pequenas barragens na bacia hidrográfica do rio Preto, no entanto, tais informações não existem e, quando existem, são difíceis de serem obtidas. Isto tem dificultado uma análise global da Bacia para decidir o melhor local para construir as próximas barragens de tal forma a se obter o maior benefício social, econômico e hidrológico.

O sensoriamento remoto tem-se mostrado uma ferramenta adequada ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas. No caso do monitoramento do nível da água de pequenas barragens, entretanto, ela ainda tem sido muito pouco explorada. O desenvolvimento de metodologias que utilizem informações provenientes de satélites possibilitará relacionar a área do espelho

d'água da barragem com o volume de água armazenado. A incorporação dessas informações em sistemas de suporte à decisão possibilitará a simulação de cenários e geração de informações para subsidiar o processo de tomada de decisão, favorecendo a melhoria do uso da água das barragens e a gestão dos recursos hídricos das bacias.

É importante, nestes casos, conhecer a qualidade da informação obtida, ou seja, o erro cometido ao se tomar uma decisão utilizando o valor da área do espelho d'água calculada com base em dados de sensoriamento remoto. Essa informação é importante porque ela vai ser utilizada, posteriormente, no cálculo do volume de água armazenada nas barragens.

O objetivo geral desse estudo foi gerar informações sobre as pequenas barragens de terra existentes na bacia do rio Preto para fornecer subsídios para o adequado planejamento e gestão dos recursos dessa bacia. Os objetivos específicos foram: i) identificar as pequenas barragens e sua distribuição espacial na Bacia; ii) calcular a área do espelho d'água dessas barragens; e iii) verificar a adequação das técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para identificar e medir a área do espelho d'água de pequenas barragens na bacia do rio Preto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O rio Preto está localizado na região do Alto São Francisco, configurando-se como uma das regiões de nascente da referida região hidrográfica, na qual se insere como contribuinte de terceira ordem. Afluente da margem esquerda do

rio Paracatu, possui uma área de drenagem de aproximadamente 10.500 km² e uma extensão de cerca de 378 km, marcando a divisa do DF com os estados de GO e MG. Cerca de 65% da área da bacia está localizada no estado de Minas Gerais, 22% em Goiás e 13% no Distrito Federal. A bacia do rio Preto abrange parcialmente 10 municípios nesses três estados, dos quais nove apresentam, individualmente, áreas inferiores a 13% da área total da bacia. O município de Unaí, no estado de MG, é o município que ocupa a maior área da bacia (próximo de 39%, **Figura 1**)

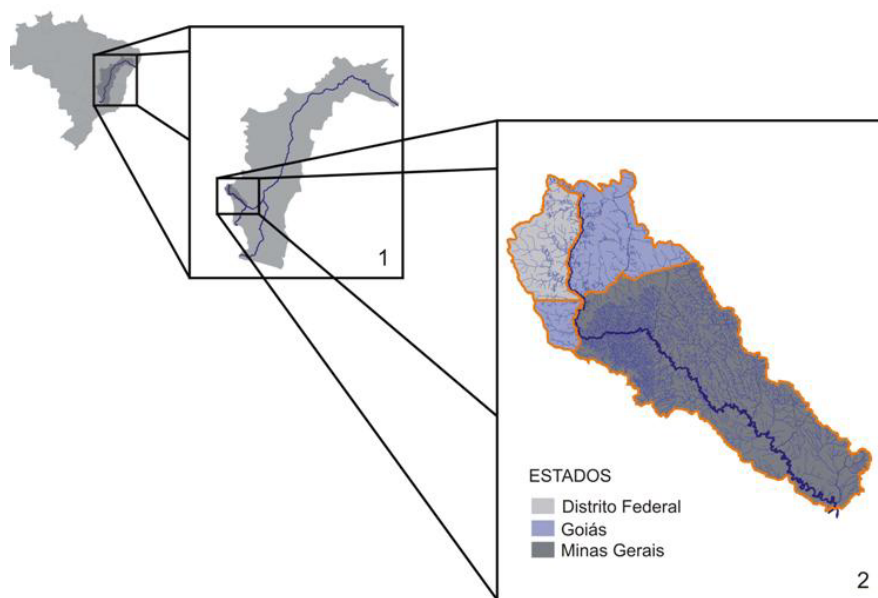


Figura 1- Representação esquemática da localização da bacia do rio São Francisco (BSF) no território brasileiro. No quadro 1, mostra-se a inserção da bacia do rio Preto na BSF e, no quadro 2, apresenta-se um detalhe da bacia do rio Preto.

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu aponta o rio Preto como seu principal afluente e divide sua extensão em três trechos principais: o Alto Preto, que compreende as nascentes até a estação fluviométrica de rio Preto, em Fazenda Limeira, englobando uma área de drenagem de 3.882 km² e 94 km de extensão; o Médio Preto, entre Fazenda Limeira e estação de rio Preto em Santo Antônio do Boqueirão, com 130 km de extensão e área de contribuição parcial de 2.021 km²; e o Baixo Preto, de Santo Antônio de Boqueirão até a foz, com uma extensão de 104 km e área de drenagem parcial de 4.556 km². As vazões, neste último trecho, são medidas na estação de rio Preto em Porto dos Poções.

Identificação, distribuição e cálculo da área do espelho d'água de barragens

A distribuição das barragens em uma bacia hidrográfica pode ser avaliada analisando-se a distribuição estatística de algumas de suas propriedades, como, por exemplo, o seu tamanho e/ou a sua distribuição espacial dentro da bacia.

O sensoriamento remoto orbital apresenta-se como uma técnica de grande potencial de uso no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Para identificação das barragens existentes na bacia do rio Preto, foram utilizadas três cenas do satélite Landsat ETM+. A escolha das cenas baseou-se em dois critérios: i) data de passagem mais próxima do final da estação chuvosa, quando o nível de água das barragens está próximo do seu máximo; e ii) ausência de nuvens. Com base nesses critérios, a seguintes cenas foram escolhidas:

^a% órbita: 220; ponto: 71; data da passagem: 27 de junho de 2002 (imagem ortorretificada, adquirida na internet (<http://glcfapp.umiacs.umd>));

^a% órbita: 220; ponto: 72; data da passagem: 23 de março de 2001 (imagem ortorretificada, adquirida na internet (<http://glcfapp.umiacs.umd>));

^a% órbita: 221; ponto: 71; data da passagem: 04 de maio de 2002 (adquirida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE).

De posse das imagens, foram realizadas as etapas de registro, mosaicagem e recorte da área de estudo. Todas as etapas foram realizadas com o suporte do software ENVI 4.1. Os recortes de imagem foram segmentados por meio da opção de segmentação de imagens por crescimento de regiões, disponível no pacote computacional de processamento digital de imagens denominado de SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas; Camara *et al.*, 1996). A segmentação consiste em dividir a imagem em áreas que apresentam uma uniformidade em relação aos padrões espectrais, eliminando, desta forma, a etapa de digitalização manual das classes.

A etapa subsequente à segmentação correspondeu à classificação visual dos polígonos. Antes da associação dos segmentos a uma determinada classe de mapeamento, foi realizado um trabalho de junção de polígonos que pertenciam à mesma classe de mapeamento. Com os polígonos devidamente editados, foi realizada a identificação dos mesmos e o cálculo da área do espelho d'água, procedimento realizado utilizando-se o *software ArcView 3.2*.

Um dos problemas que foram observados quando da confecção do contorno do espelho d'água da barragem com base na imagem de satélite foi a dificuldade em associar os pixels que compõe o contorno da barragem a uma categoria específica, ou seja, associar um determinado pixel como água ou como solo e vice-versa. Essa dificuldade está associada com a resolução espacial do satélite.

No caso específico do Landsat ETM+, a resolução espacial é de 30 metros. Quanto menor a área da barragem, maior será o erro cometido por associar um determinado pixel da imagem a uma categoria a que ele não pertence. A dificuldade em associar os pixels da imagem a uma determinada categoria é ainda maior quando existe vegetação exuberante ao redor e/ou no interior da barragem.

Delimitação do contorno das barragens e cálculo da área do espelho d'água

Visando ter uma idéia da qualidade da informação obtida por meio de sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento, foi realizado um extenso trabalho de campo de delimitação dos contornos dos espelhos de água das barragens para cálculo posterior de suas respectivas áreas. Esse trabalho foi realizado com base num receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) que permitia a identificação de coordenadas cartográficas com precisão métrica. Os pontos de GPS foram adquiridos no sistema de projeção UTM (Universal Transverse de Mercator) e datum = SAD69.

Seleção das barragens visitadas

A pergunta que se procurou responder durante esta etapa foi: qual o número de reservatórios que deveriam ser visitados de forma a se obter uma amostra representativa da população? Infelizmente a resposta a esta pergunta não é trivial, uma vez que não existe na literatura um procedimento estatístico que, baseando-se apenas na informação da área da barragem, possibilite a definição a priori do número de barragens que devem ser avaliadas para se ter uma amostra representativa. A solução apresentada por Liebe (2002) consistiu em medir o

maior número possível de barragens, de tal modo a representar adequadamente variância da população.

Após identificadas, por meio das imagens de satélite, as barragens com área do espelho d'água maior que um hectare, definiu-se, com base nas características das barragens e na logística do projeto, as barragens que seriam visitadas em campo.

Delimitação em campo do contorno do espelho d'água das barragens

Para delimitar o contorno do espelho d'água das barragens, ou seja, definir o seu perímetro e a sua forma, caminhou-se, de posse de um GPS de mão, ao redor do contorno do espelho de água de cada barragem. Cuidado especial foi tomado na medida da forma do reservatório, **Figura 2a**. Muitas vezes a presença de vegetação nas margens da barragem impossibilitou o deslocamento e coleta dos pontos, nesses casos o contorno foi feito utilizando-se o barco.

Em muitos casos, principalmente durante a estação chuvosa, foi difícil definir com precisão onde era o início da barragem. Geralmente isto ocorre por dois motivos: i) o início da barragem se confunde com o próprio curso d'água; e ii) a nascente foi encoberta pelo espelho d'água de barragens muito próximas a ela. Em alguns casos a presença de vegetação no interior da barragem dificultava ainda mais a definição de onde era o início da barragem, **Figura 2b**

Cálculo da área do espelho d'água das barragens

Uma vez coletados os pontos do contorno do espelho d'água, foi utilizado o software GPS TrackMaker Pro™ para recuperar os dados armazenados no

GPS, calcular a área do espelho d'água da barragem e converter o arquivo para o formato shape, para posterior análise **no ArcView™ GIS 3.2.**



Figura 2 – Ilustrações da coleta de pontos por meio de receptor GPS portátil ao redor do espelho d'água da barragem, Figura 2a, e do tipo de vegetação presente no interior de várias barragens, Figura 2b.

Comparação entre a área do espelho d'água da barragem calculada com dados de campo e de satélite

A adequação das áreas do espelho d'água calculadas com base nos dados de sensoriamento remoto foi testada avaliando-se a correlação existente entre as área da barragem estimadas pelo satélite com a área fornecida pelo receptor GPS. Foi utilizado ainda um índice que representa a diferença normalizada entre as duas áreas (NDAI) (Liebe, 2002), equação 1.

$$\text{NDAI} = \frac{(\text{AEC} - \text{AES})}{(\text{AEC} + \text{AES})} \quad (1)$$

em que

AEC = Área do espelho da barragem calculada com base em dados coletados em campo, L²

AES = Área do espelho da barragem calculada com base em dados de satélite, L²

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Identificação, distribuição e área do espelho d'água de barragens

A partir da análise dos dados de sensoriamento remoto, foram identificadas 252 barragens na bacia, com área do espelho d'água variando de 1 a 413 hectares. A área total do espelho d'água das pequenas barragens identificadas na bacia do rio Preto é da ordem de 54,4 km², essa área é cerca de 27% maior que área do espelho d'água da usina de Queimados, que é responsável pela geração de 508 GWh de energia firme.

Vale lembrar que este levantamento foi realizado utilizando-se imagens do satélite Landsat referentes ao ano de 2001 e 2002 e só se consideraram as barragens com área maior que 1 hectare. As visitas a campo mostraram que o número de barragens atualmente na bacia é bem maior.

No gráfico apresentado na **Figura 3** tem-se, no eixo das ordenada, os valores dos logaritmos das áreas dos espelhos d'água das barragens e, no eixo das abscissas, o número de ordem da barragem. Analisando esta Figura observa-se que existe uma distribuição uniforme das áreas dos espelhos d'água das barragens. A ausência de interrupções ou quebras no gráfico indica uma distribuição aproximadamente linear do tamanho das barragens na bacia, o que indica que a topografia da área onde as barragens estão localizadas é uniforme.

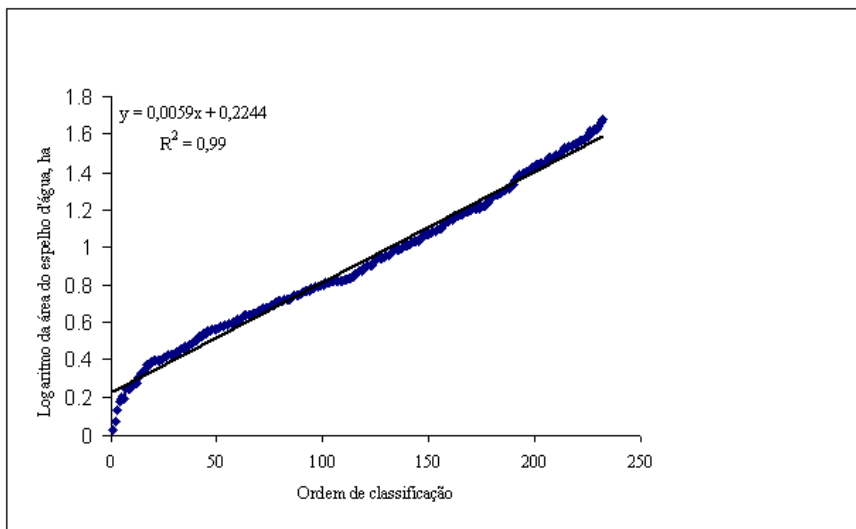


Figura 3 - Valores dos logaritmos das áreas dos espelhos d'água calculadas a partir de dados de sensoriamento remoto em função do número de ordem da barragem.

É interessante também analisar a distribuição de freqüência das áreas do espelho d'água das barragens, **Figura 4**. Observa-se que as menores áreas estão associadas as maiores freqüências de ocorrência, com redução exponencial dessa última a medida que a área aumenta.

O mesmo comportamento foi observado por Liebe (2002) ao estudar pequenos reservatórios na bacia do Volta em Gana. Aproximadamente 30,5% das barragens apresentaram área do espelho d'água variando entre 1 e 5 hectares. A maioria dessas barragens está localizada em rios de pequena vazão, ou seja, de ordem mais baixa.

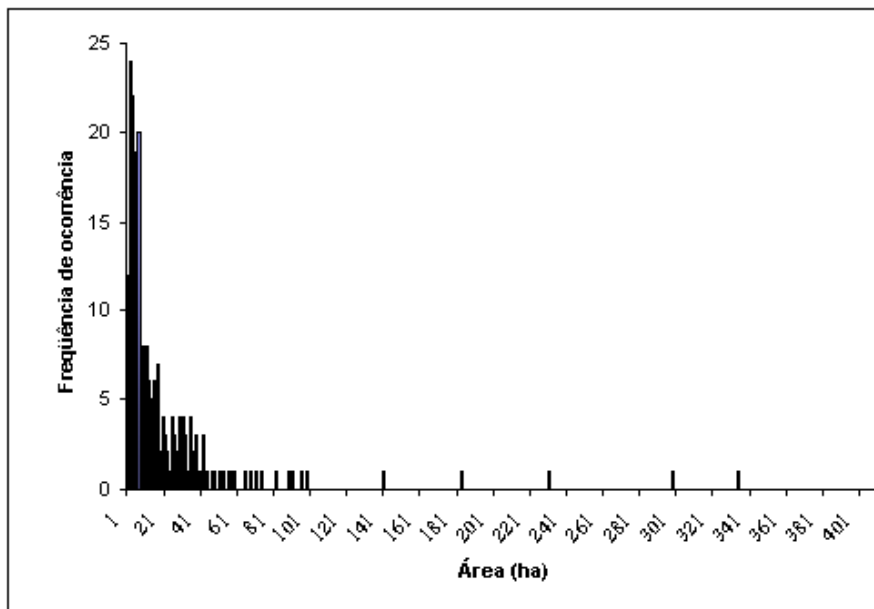


Figura 4 – Distribuição de freqüência das áreas do espelho d’água das pequenas barragens de terra na bacia hidrográfica do rio Preto.

A distribuição do tamanho das barragens pode ser comparada, de maneira geral, as relações que descrevem a morfologia de rios, como, por exemplo, a proposta por Horton, que estabelece uma metodologia para classificação dos cursos de água. Desta classificação várias regras relacionadas a geometria da bacia podem ser estabelecidas, sendo que a que mostra que o número de cursos de água diminui à medida em que a sua ordem aumenta a que mais se assemelha a distribuição do tamanho das barragens na bacia, com a diferença que essa última não apresenta uma distribuição potencial, como é observada na regra de classificação dos cursos de água.

Neste trabalho, só foram avaliadas as barragens com área do espelho d’água

variando entre 1 e 47 hectares. Após as visitas a campo, três barragens identificadas com base em dados de sensoriamento remoto foram descartadas, duas por erros de comissão e uma por se tratar de lagoa. O número de barragens consideradas neste trabalho foi de 147.

Analisando-se fatores relacionados às características das barragens e levando-se em consideração a logística do projeto e a necessidade de se levantar informações adicionais para posteriormente realizar o trabalho de batimetria, decidiu-se por visitar 51% das barragens identificadas a partir da imagem Landsat. Em outras palavras, foram visitadas 75 barragens, de um total de 147.

Na **Figura 5**, apresenta-se a distribuição espacial das barragens na bacia hidrográfica do rio Preto. Analisando-se esta Figura constata-se que 48% das barragens estão concentradas no estado de MG.

O DF, no entanto, é o estado que apresentou a maior densidade de barragens, 0,033 barragens km⁻², enquanto o estado de MG apresentou a menor densidade: 0,0106 barragens km⁻². Tal constatação pode ser justificada pelo fato da parte da bacia do rio Preto no DF estar situada em áreas de nascentes, com rios de pequena ordem pela classificação sugerida por Strahler. Outro fato a considerar é que devido a pequena vazão dos rios, a irrigação, principalmente a irrigação por meio de pivô central, na maioria das vezes só pode ser praticada se houver acumulação de água. Como a prática da irrigação é comum nessa região do DF, justifica-se a quantidade de barragens observada.

É importante destacar o pequeno número de barragens existentes na área da bacia pertencente ao Exército Brasileiro e nas regiões geomorfológicas da bacia correspondentes ao planalto dissecado e as cristas de Unaí, **Figura 6**,

regiões onde a agricultura irrigada é pouco praticada, seja por questões legais ou por causa da topografia acidentada do terreno.

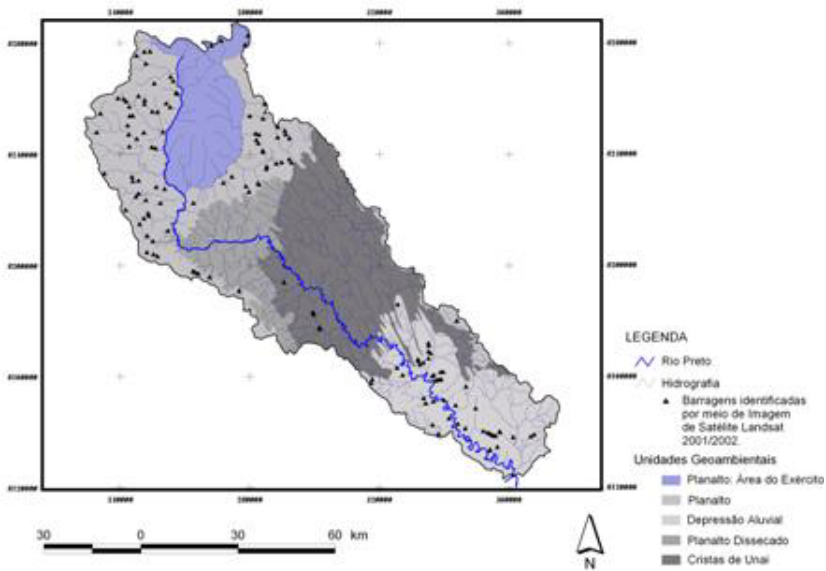


Figura 5 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Preto, destacando as barragens que foram identificadas por meio da imagem de satélite Landsat (2001-2002) e selecionadas para esse trabalho.

Área do espelho d’água das barragens calculada a partir de dados de campo

Aproximadamente 51% das barragens selecionadas, ou seja, 75 barragens, de um total de 147, foram visitadas. Na Figura 6 apresenta-se um mapa da bacia hidrográfica do rio Preto com as barragens identificadas e as visitadas.

Na **Figura 7**, apresenta-se uma ilustração dos pontos coletados com GPS, quando da delimitação do contorno de uma barragem em Cabeceiras, estado de Goiás.

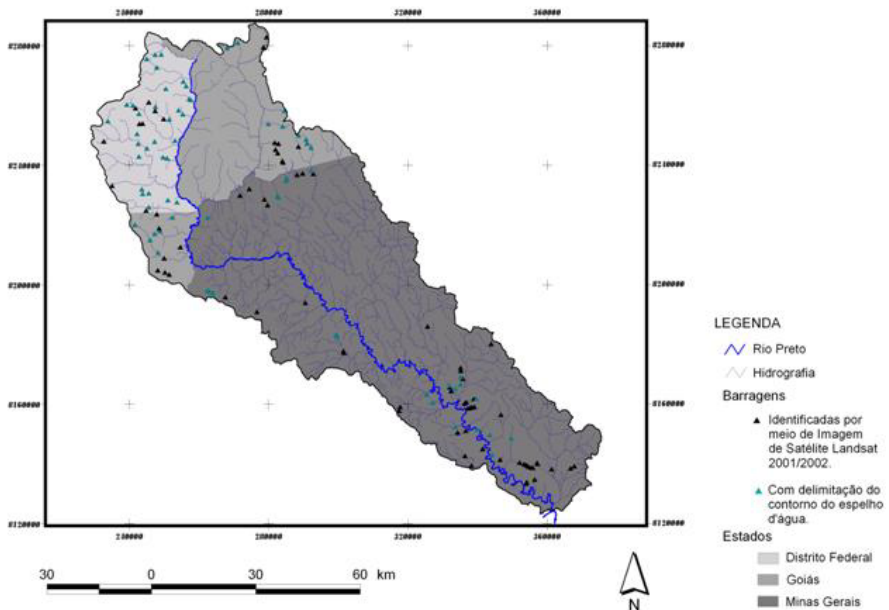


Figura 6 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Preto com as barragens selecionadas a partir da imagem de satélite, destacando em cor cinza claro aquelas em que foram coletados pontos com o GPS no contorno do espelho d'água.

Comparação da área calculada utilizando-se dados de sensoriamento remoto com a área calculada com base em dados de campo

A área do espelho d'água calculada a partir de dados de sensoriamento remoto foi comparada com a área calculada a partir de dados de campo. A comparação foi feita ajustando-se uma função linear ao conjunto de dados e por meio da avaliação do NDAI, que é um índice que representa a diferença normalizada entre essas duas variáveis.

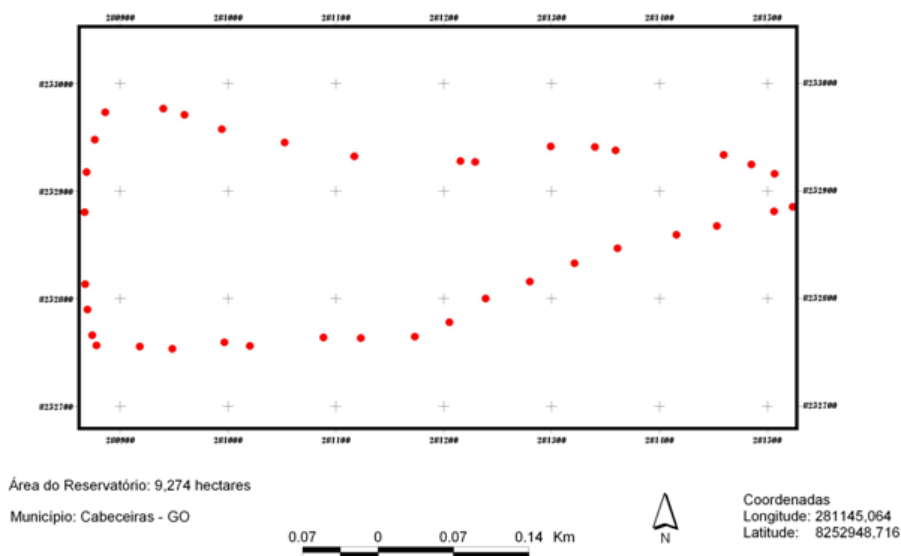


Figura 7 – Ilustração dos pontos coletados com GPS do contorno de uma barragem em Cabeceiras, GO.

Observa-se, na **Figura 8**, um bom ajuste, $R^2 = 0,92$, da área do espelho d'água calculada utilizando-se imagem de satélite (AES) com a calculada em campo (AEC), indicando a adequabilidade desse sensor para monitoramento da área do espelho d'água de barragens, podendo essa informação ser utilizada para cálculo do volume de água armazenado.

É importante ressaltar que os erros observados são devidos a associação dos pixels da imagem a uma determinada classe quando na verdade ele pertence a uma outra classe, levantamentos de campo realizados em datas diferentes daquela da passagem do satélite, imprecisão da leitura do GPS, presença de vegetação nas margens e no interior do reservatório. O ponto destacado na **Figura 8**, onde se observa uma grande discrepância entre a AEC e a AES, é

referente a uma barragem onde há a presença de muita vegetação no seu interior. Isto dificulta o cálculo da área tanto por meio da imagem de satélite como em campo.

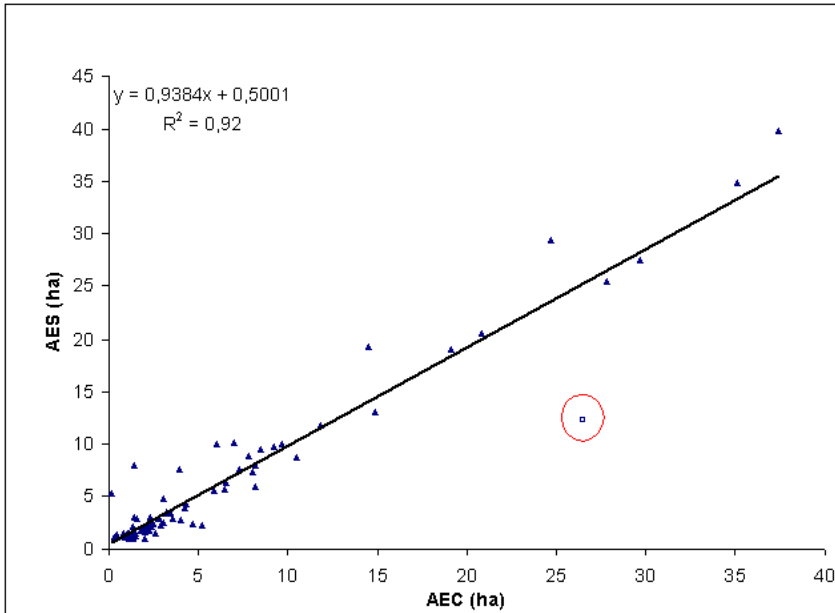


Figura 8 – Relação entre a área do espelho d'água calculada a partir da imagem de satélite Landasat (AES) e a área calculada a partir dos dados de campo (AEC), apresentando a equação de ajuste com o respectivo coeficiente de determinação.

Uma outra forma de verificar a qualidade da AES é por meio do NDAI, que pondera os valores dos desvios. Os valores do NDAI variam de -1 a 1, sendo que valores próximos a zero indicam uma melhor estimativa da área do espelho d'água, **Figura 9**. Valores negativos indicam que a área calculada com base na imagem de satélite foi maior que a calculada com base nos dados de campo.

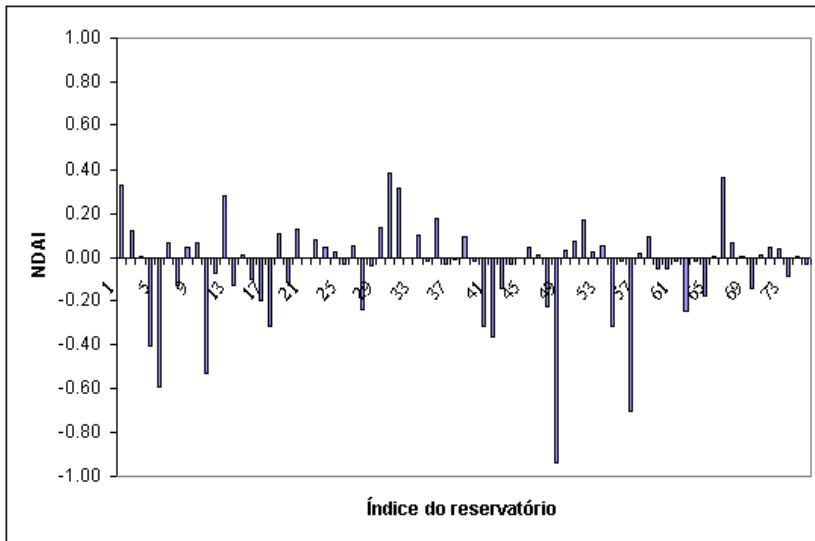


Figura 9 – Índice indicativo da qualidade do ajuste da área do espelho d’água calculada por meio da imagem de satélite, consiste da normalização da diferença entre a área do espelho d’água calculada com base na imagem de satélite e nos dados de campo (NDAI).

Pode-se observar nesta Figura que, em 36 barragens, a área calculada a partir da imagem de satélite foi maior que a área calculada a partir dos dados de campo. O NDAI variou de -0,94 a 0,39, indicando que não existe uma tendência de superestimativa da área com o uso da imagem de satélite, como foi comentado por Liebe (2002). A adequada estimativa é muito dependente da presença ou não de vegetação no interior da barragem. Constatou-se que em 57,3% dos casos, o NDAI foi menor que 10%.

Nas barragens com área entre 1 e 3 hectares observou-se um erro médio de 0,5 hectare, ou seja, de até 50% da área da menor barragem. Já nas barragens da categoria 2, observou-se um erro médio de 1,5 hectares, o que corresponde

também a um erro de até 50% da área da menor barragem, indicando o maior impacto do erro nas barragem com área menor. Nas barragens da categoria 3 o erro médio foi de 2,8 hectares, o que significa um erro variando de 7 a 28% das áreas das barragens enquadradas nessa categoria.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados de sensoriamento remoto, foram identificadas 252 barragens na bacia hidrográfica do rio Buriti Vermelho, com área do espelho d'água variando de 1 a 413 hectares;

A área total do espelho d'água das barragens identificadas na bacia do rio Preto é da ordem de 54,4 km²;

O Distrito Federal é o estado da bacia que apresentou a maior densidade de barragens, 0,033 barragens km⁻², enquanto o estado de Minas Gerais foi o que apresentou a menor densidade, 0,0106 barragens km⁻²;

Observou-se um bom ajuste, $R^2 = 0,92$, da área do espelho d'água calculada utilizando-se imagem de satélite com a calculada em campo, indicando que o sensor utilizado é adequado para monitorar a área do espelho d'água de barragens;

O NDAI (índice que representa a diferença normalizada entre as duas áreas) variou de -0,94 a 0,39, indicando que não existe uma tendência de superestimativa da área do espelho d'água estimada com base em dados de sensoriamento remoto;

A adequada estimativa da área do espelho d'água por meio de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento é muito influenciada

pela presença ou não de vegetação aquática no interior da barragem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa Cerrados pelo apoio na realização deste trabalho e ao *Advisory Service on Agricultural Research for Development* (BEAF) e ao *Challenge Program on Water and Food*, pelo apoio financeiro ao projeto *Planning and evaluating ensembles of small, multi-purpose reservoirs for the improvement of smallholder livelihoods and food security: tools and procedures*.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. (1996) *SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling*. Computer & Graphics, vol. 20, n. 3, p. 395-403
- GDF – Governo do Distrito Federal (2001) Secretaria de Agricultura e Abastecimento. *Projeto de aproveitamento hidroagrícola da bacia do rio Preto no Distrito Federal*. Brasília, DF. 64p.
- LIEBE, J. (2002) *Estimation of water storage capacity and evaporation losses of small reservoirs in the upper east region of Ghana*. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Geographische Institute, Rheinischem Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Deutsch.
- MALDANER, V. I. (2003) *Análise dos conflitos do uso da água na bacia hidrográfica do rio Preto no DF*. 121 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Brasília.