

Imagens TM como suporte ao levantamento batimétrico de lagos amazônicos

Cláudio Clemente Faria Barbosa ¹
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo ¹
Ramon Morais de Freitas ¹
Waterloo Pereira Filho ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{claudio}@dpi.inpe.br {evlyn, ramon}@itid.inpe.br

² Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Geociências - Prédio 17 - 97111-970 - Santa Maria - RS, Brasil
waterloo@base.ufsm.br

Abstract. This paper describes the procedures applied to select the best transects for performing bathymetric survey on the Curuai Lake floodplain. The first step in the procedure was to analyze the lake hydrograph so as to identify the scene referred to the minimum water level. This scene was then used to draw as many as transects to be measured on the ground with the aid of a Lowrance LMS-480 sonar. The sonar survey covered around 4 600 km in a 19 day campaign. An example of sonar data processing is presented as well as an assessment of the overall procedure.

Palavras-chave: TM Landsat images, flood-plain bathymetry, lakes volume

1. Introdução

Um dos componentes relevantes ao estudo da dinâmica de circulação da água entre o rio Amazonas e sua planície é o conhecimento do volume de água que circula anualmente pela planície. Embora uma informação grosseira possa ser obtida a partir de dados de variação da hidrógrafa, os volumes estimados desse modo baseiam-se em pressupostos de uma topografia uniforme na várzea. Esse pressuposto pode ser aceito em algumas circunstâncias, mas via de regra a topografia da várzea é complexa. Vale ressaltar também que esta topografia é uma forte fundamental para a circulação da água, sendo ao mesmo tempo fator condicionado por e condicionante dessa dinâmica.

Neste sentido, um levantamento batimétrico, com a posterior geração de um modelo topográfico para a planície, permite tanto uma estimativa mais fiel do volume de água quanto gera parâmetros essenciais para a descrição da dinâmica de circulação desta água na planície. Por outro lado, para que o modelo de relevo seja representativo, é essencial que o levantamento atinja a maior área possível da planície, ao mesmo tempo em que a amostragem batimétrica por seções transversais tenha uma densidade que permita o refinamento desejado.

O grande problema para se realizar um levantamento batimétrico em campo é o da definição das rotas para as seções transversais, devido tanto à complexidade topográfica da planície e quanto a variabilidade anual e inter-anual da hidrógrafa.

Um levantamento com alta densidade de seções transversais, na planície de Curuai, implicaria em um custo elevado, devido às dimensões da área. Para que se otimizasse este custo e o tempo de levantamento, foi necessário encontrar uma forma de definir uma densidade de transectos que refletisse a complexidade do relevo, ou seja, alta em áreas de topografia complexa e baixa em áreas de topografias uniformes.

As imagens Landsat-TM, representaram essa alternativa porque podem ser adquiridas em diferentes níveis da hidrografia permitindo a identificação da morfologia da planície de tal modo a orientar a alocação de rotas para a execução do levantamento em campo. O objetivo desse trabalho é descrever os procedimentos utilizados, com o auxílio de imagens Landsat-TM, para o planejamento e a execução do levantamento batimétrico da planície de inundação do Lago Grande de Curuaí e apresentar uma avaliação dos resultados preliminares.

2. A Área de Estudo

A área de estudo, denominada de Lago Grande de Curuaí, está localizada no médio Amazonas, ao Sul da cidade de Óbidos, estado do Pará (Figura 1). Possui cerca de 2000 Km² e é formada por sedimentos arenosos quaternários e pode ser caracterizada como uma planície fluvial inundável sujeita ao regime natural de águas do rio Amazonas. Os vários lagos que compõem a área são interligados por canais de comunicação. Esses lagos foram se formando ao longo do processo de construção da várzea e apresentam diferentes graus de conexão entre si e com o canal do rio Amazonas, o que lhes proporciona propriedades limnológicas diversas em resposta à hidrologia.

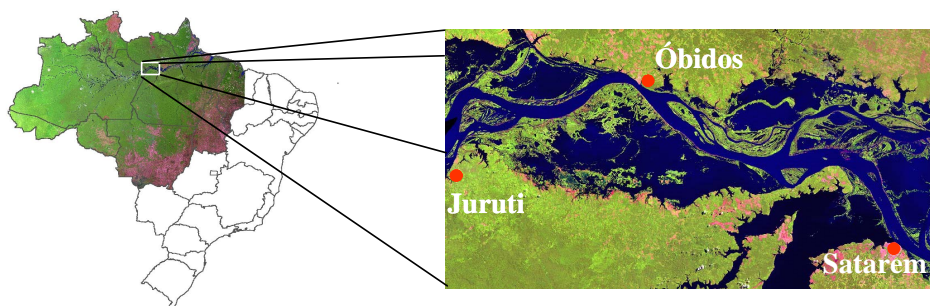


Figura 1 – Área de Estudo: Planície do Lago Grande de Curuaí (Fonte: Barbosa et. al. (2002)).

A Figura 2, mostra a dinâmica do nível d'água na planície de Curuai, no período compreendido entre Janeiro de 1993 e Dezembro de 2002. Pela análise dessa figura pode-se observar que a hidrografia, em Curuai, tem um comportamento mono-modal, caracterizado por níveis máximos entre Maio e Julho e mínimos entre Outubro e Dezembro.

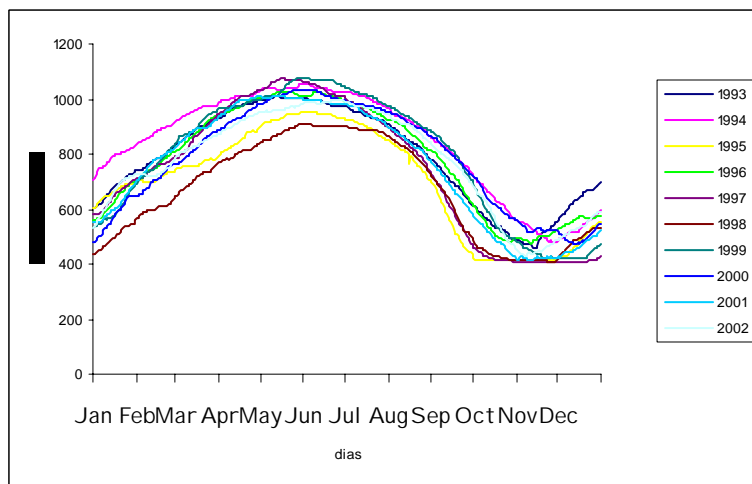


Figura 2 – Hidrografia da área de estudo. (Fonte: ANA- Agência Nacional de Águas)

3. Procedimentos

A partir da análise da hidrógrafa (Barbosa, 2004) de Curuai foi construída a Tabela 1 em que se podem observar os níveis mínimos e máximos da água ao longo dos diferentes meses e anos. Para que se cobrisse a maior área possível da planície, dado que seria realizado de lancha, o levantamento deveria ser realizado no período de cotas mais altas, quando a área inundada atinge maior dimensão, sendo que nessas condições, seria possível cobrir praticamente toda a área do lago. Dos dados diários de cota, sintetizados na Tabela 1, definiu-se que o período indicado esta compreendido entre a última semana de Maio e a primeira de Junho.

Tabela 1 - Cotas mensais da hidrógrafa no período de 1993 a 2002 (Fonte Barbosa, 2004)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	Média (cm)									
Janeiro	674	783	661	629	642	497	594	572	608	650
Fevereiro	779	876	713	758	749	601	760	705	771	734
Março	886	957	764	881	861	707	902	827	881	832
Abril	969	1008	848	976	994	802	979	937	982	915
Maio	1004	1040	932	1018	1062	877	1036	1014	1006	963
Junho	986	1039	945	1011	1034	904	1065	1015	990	989
Julho	941	1002	895	963	950	888	1012	973	946	968
Agosto	848	917	785	873	825	805	929	909	842	896
Setembro	699	800	551	717	599	609	803	791	678	768
Outubro	544	640	416	522	425	436	565	621	495	568
Novembro	498	517	415	497	407	412	443	527	421	451
Dezembro	636	535	483	561	409	490	432	500	467	537
Mínimo	498	517	415	497	407	412	432	500	421	451
Maximo	1004	1040	945	1018	1062	904	1065	1015	1006	989

Para a definição do conjunto de rotas das seções transversais foram selecionadas duas imagens TM-Landsat: uma de 12/12/2001 e outra de 16/07/1999. A imagem referente a Dezembro de 2001, que foi a melhor cena sem cobertura de nuvem correspondente a um período de nível mínimo da água. O nível médio mensal em dezembro foi 467 cm, mas na data de passagem de satélite (12 de Dezembro) o nível da água era de 450 cm. Pela análise da Figura 3 pode-se verificar que nessa data a topografia da planície fica bastante evidente, uma vez que o fundo do lago encontra-se praticamente exposto, permitindo observar as regiões mais homogêneas onde o número de seções pode ser menor, e regiões mais heterogêneas onde o número de seções deve ser adensado para garantir uma boa representatividade do modelado topográfico da planície. Enquanto a imagens de 2001 foi usada como referência para a definição da densidade de transectos, a imagem de junho de 1999, uma imagem sem cobertura de nuvens e correspondente a um período de nível máximo da água, foi utilizada para definir a extensão dos transectos, por informar até onde seria possível ir de lancha.



Figura 3 – Composição RGB-TM 543 (12 de Dezembro 2001) – Fonte: (Barbosa, 2004)

A Figura 4 mostra, sobreposta a imagem de julho de 1999, as rotas planejadas para o levantamento de campo, cuja data de execução foi definida em função do nível máximo de água, quando a água cobre toda a planície e há maior facilidade de deslocamento do barco ao longo das rotas planejadas.

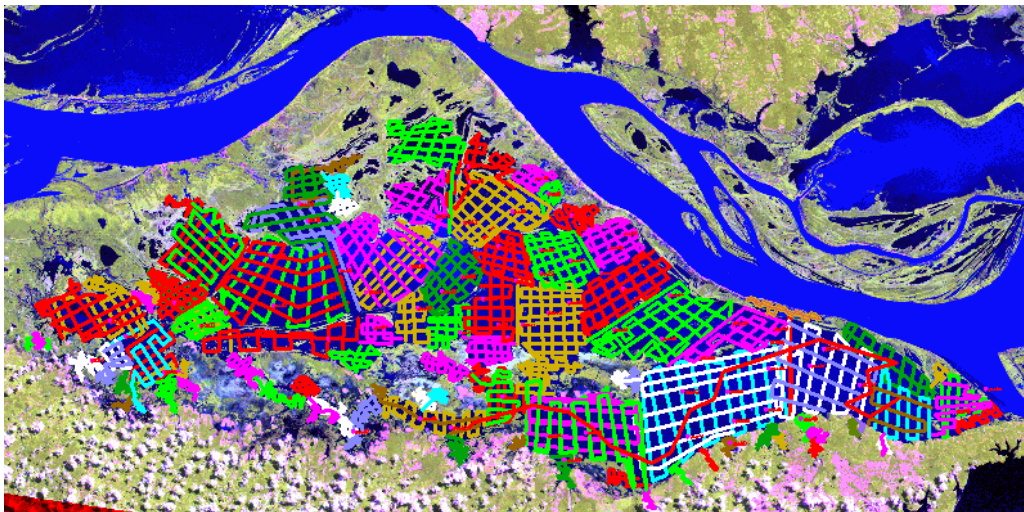


Figura 4 – Rotas planejadas para a batimetria da Planície do Lago Curuai.

Como pode ser observada na Figura 4, a equidistância entre as seções transversais varia em diferentes regiões do lago em função da variabilidade topográfica observada a partir da análise da imagem TM do período seco.

Um sonar Lowrance modelo LMS-480, que possui um GPS acoplado, foi utilizado neste levantamento. Este equipamento além da profundidade e posição geográfica registra também a velocidade de deslocamento e a temperatura da água. O conjunto de rotas (seções transversais) cobriu uma extensão de 4600km. Esse mapeamento batimétrico foi executado num período de 19 dias.

O nível da água na planície foi registrado duas vezes por dia durante o levantamento batimétrico. (Um registro no início da manhã e outro no final da tarde). Esta informação é relevante para se corrigir a medida de profundidade gerada pelo eco-batímetro. Outra informação importante é a penetração do detector do eco-batímetro na coluna d'água em função da velocidade da lancha.

Durante o levantamento batimétrico, o detector do ecobatímetro ficou localizado na popa da lancha, e a popa afunda mais ou menos a coluna d'água em função da velocidade da lancha. Para a lancha utilizada, notou-se que para velocidades entre 0 e 8 km/h, a popa ficava próxima a superfície; para velocidades entre 8 e 20 km/h a popa afundava na coluna d'água; e para velocidades entre 20 e 35 km/h, a popa voltava a ficar menos submersa. A Figura 5 ilustra este comportamento da popa da lancha em função da velocidade.

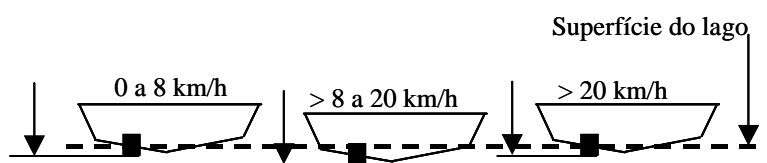
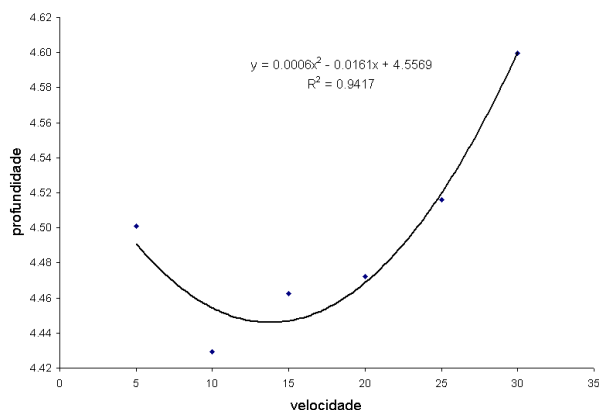


Figura 5 – Penetração do detector com a variação da velocidade da lancha

Em função deste comportamento, localizou-se uma região de aproximadamente 2 km de extensão de fundo plano e realizaram-se vários transectos com diferentes velocidades, para calibrar os demais dados. Vale ressaltar que estes transectos de calibração foram realizados em duplicatas, ou seja, para cada velocidade realizou-se 2 transectos. O modelo de correção da profundidade para este caso é expresso na Figura 6.:



$$P_c = P_s - (0,0006V_L^2 - 0,0161V_L)$$

Onde:

P_c = Profundidade corrigida

P_s = Profundidade sonar

V_L = Velocidade da lancha

Figura 6 – Modelo de correção da profundidade em função da velocidade da lancha

O resultado a ser obtido do processamento dos dados batimétricos é um modelo matemático, na forma de uma grade regular de pontos, do relevo da planície. Este modelo será utilizado posteriormente para em conjunto com a informação de cota diária estimar o volume d'água na planície. Barbosa (2004) descreve duas abordagens distintas para estimativa de volume de lagos. A primeira, proposta por Kalff, 2001, baseia-se em um somatório de volumes entre isóbatas. A segunda abordagem, baseia-se em um somatório de volumes de células de uma grade regular de células.

A Figura 6 mostra um exemplo do dado bruto gerado pelo sonar e visualizado num software aplicativo que acompanha o equipamento.

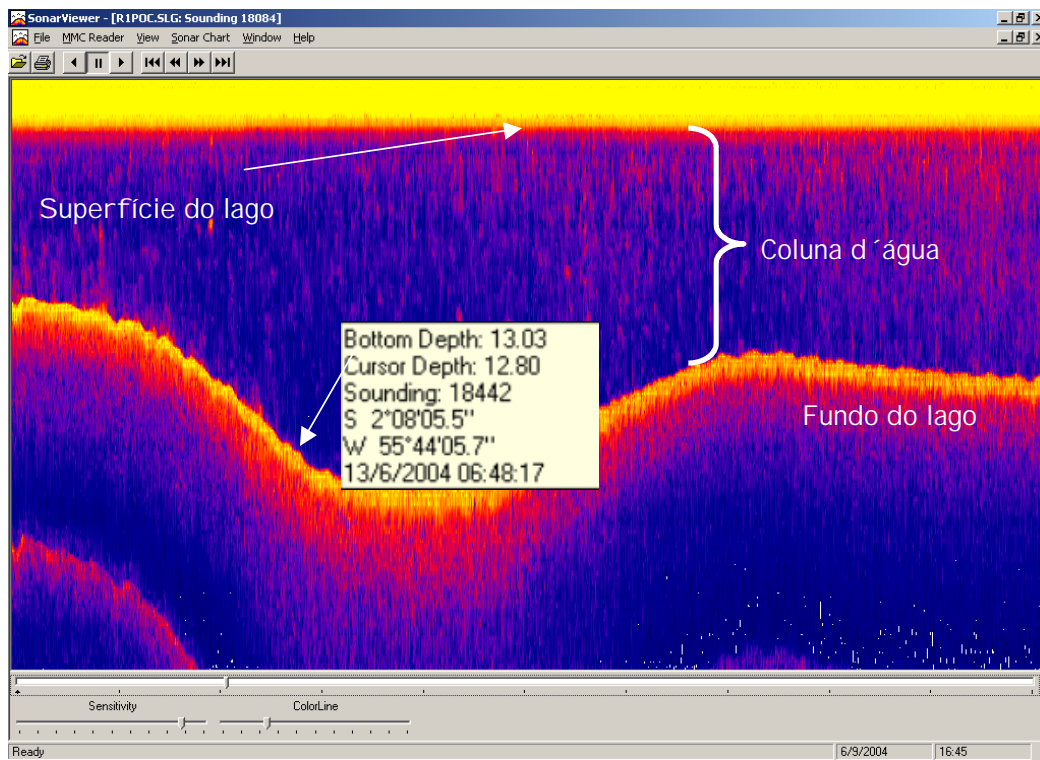


Figura 7 – Dado bruto gerado pelo sonar Lowrance modelo LMS-480.

O dado bruto gerado pelo sonar necessita de uma série de processamentos antes de se obter um modelo de relevo da área mapeada. Por se tratar de um volume muito grande de dados e que demanda uma rotina repetitiva de processamento, optou-se por automatizar este processamento utilizando rotinas escrita em Matlab. Estas rotinas recebem o dado bruto gerado pelo ecobatímetro, convertem estes dados da projeção Mercator, utilizada em navegação marítima, para a projeção UTM, converte os valores de profundidade de pés para metros, aplica as correções de variação de velocidade da lancha e variação de cota e gera como resultado um arquivo no formato ASCII-SPRING.

A Figura 8 mostra o resultado do primeiro processamento, no qual os dados de cada rota são convertidos do formato interno do sonar para o formato *ASCII separado por virgula*. Esses dados são então processados de tal forma a que somente as medidas de profundidade coincidentes com a posição do GPS sejam utilizadas para gerar o modelo de terreno visto que o equipamento registra várias medidas de profundidade, entre duas medidas do GPS acoplado. Com esta redução, a distância média entre duas medida consecutivas de profundidade esta em torno de 9 metros (Figura 8-b).

Para a validação dos dados batimétricos foi gerado um modelo preliminar utilizando triangulação de Delaunay (Burrough, 1998) seguida de geração de grade regular. Neste processamento preliminar, eventuais dados discrepantes podem ser localizados e eliminados. A Figura 8-c mostra os dados reduzidos sobre uma imagem escalonada em níveis de cinza, onde as regiões claras representam as áreas rasas e regiões escuras representam as áreas mais profundas. A Figura 8-d mostra linhas de isovalores de profundidade (isóbatas) equidistantes de 25 cm.. Figura 8-e, mostra o detalhamento de uma pequena região. Vale ressaltar que gerado o modelo de relevo, pode-se gerar linhas de isovalores com qualquer espaçamento entre elas.

As Figuras 8-f e 8-g, são ilustrações de visualização tridimensionais geradas em um Sistema de Informação Geográfica a partir do modelo de relevo experimental gerado para a área selecionada para teste.

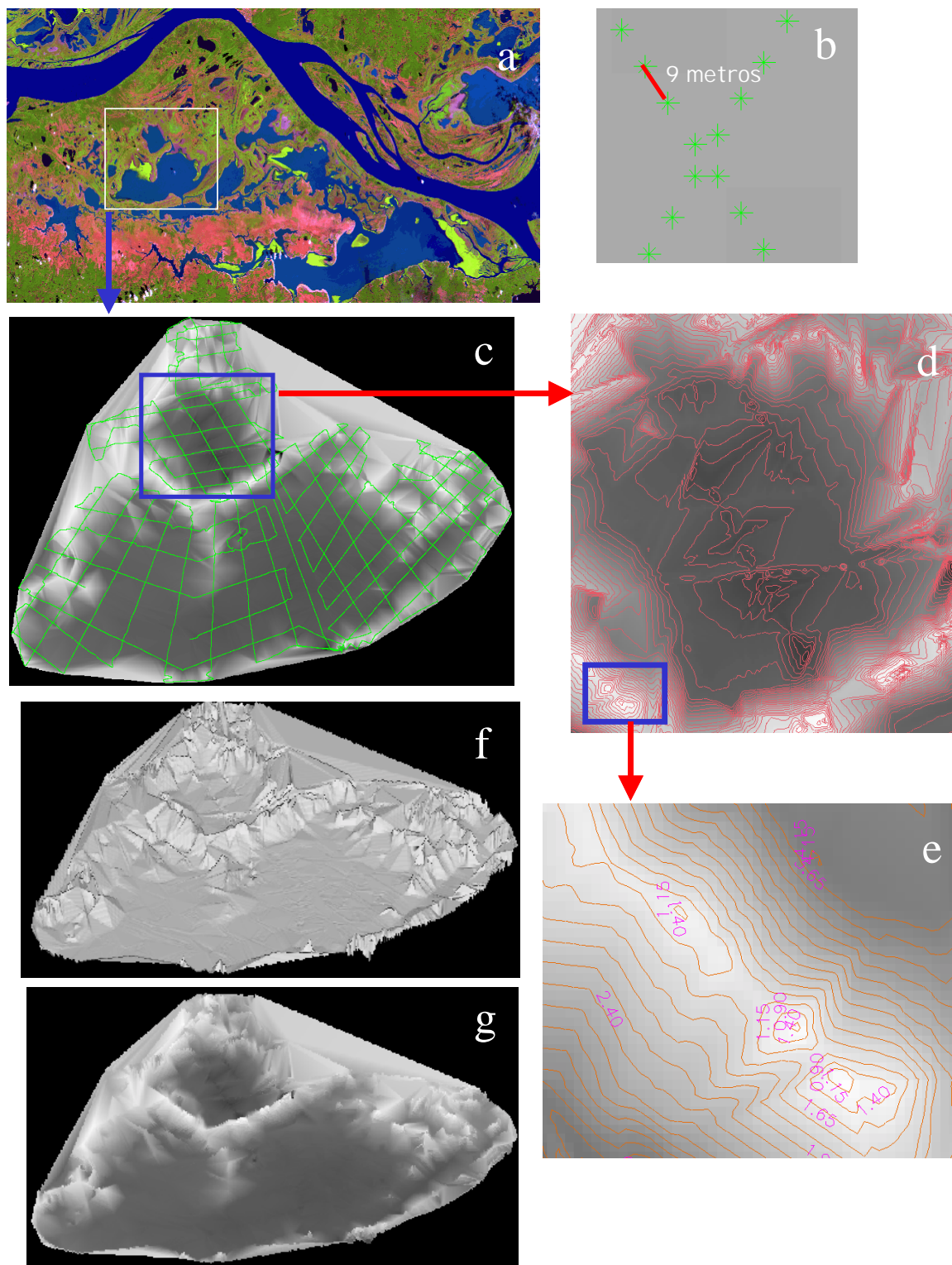


Figura 5 – Resultados do processamento preliminar dos dados batimétricos.

4- Conclusões

O presente trabalho ilustra a aplicação de imagens Landsat-TM como suporte a definição da densidade e localização de seções transversais para otimizar a realização de levantamentos batimétricos na planície amazônica. A disponibilidade de dados históricos (cotas e imagens) se mostrou um fator importante para o sucesso, tanto do planejamento quanto da execução, deste levantamento em uma região remota como a planície de Curuai. A partir do histórico de cotas foi possível identificar o período em que a superfície da planície fica exposta, e a partir daí selecionar uma imagem para definir uma densidade de transectos que refletisse a complexidade do relevo. A identificação do período de inundação máxima permitiu tanto selecionar uma imagem para definir a extensão dos transectos quanto agendar a execução do levantamento em condições de maior facilidade de deslocamento na planície. A qualidade do modelo batimétrico depende não só de uma boa amostragem por transectos, mas também de informações sobre possíveis variações na cota do lago durante a execução do levantamento, e de correções das medidas devido à variação de velocidade da lancha.

Agradecimento

Agradecemos a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), sob processo nº 2003/06999-8, e ao projeto LBA-LC-07, pelo apoio financeiro, para a realização desta pesquisa.

Referências

Barbosa, C.C.F.; Novo, E.M.L.M.; Filho, W.P.; Carvalho, J.C. Planejamento e execução das campanhas de campo na planície de curuai para estudo da dinâmica de circulação da água entre sistemas lóticos, lênticos, e a planície de inundação amazônica. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. INPE-11483-NTC/365.

Burrough, P. A.; McDonnell, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press, 1998.

Lowrance - Pub. 988-0151-181 - LMS-480M, LMS-480DF Fish-finding Sonar & Mapping GPS Operation Instructions www.lowrance.com, 2003. 206p.

Kalff, J. Limnology: Inland Water Ecosystems. Prentice Hall, 2001. 592p.