



## Aquisição e processamento de dados GPR no rio Taquari, planície do pantanal matogrossense

\*Leandro **Moutinho**<sup>1</sup>, Jorge Luís **Porsani**<sup>1</sup> & Milton J. **Porsani**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP), Email: [porsani@iag.usp.br](mailto:porsani@iag.usp.br)

<sup>2</sup> CPGG – Universidade Federal de Bahia, Email: [porsani@cpgg.ufba.br](mailto:porsani@cpgg.ufba.br)

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The pioneer employment of GPR method on Taquari river's in pantanal matogrossense showed that the use of this methodology on water is a perfectly viable procedure and its performance depends on the conductivity of the water's river and of the dielectric contrast among the investigated sediments. This research allowed to propose some optimum parameters for the acquisition of GPR data on water, such as, the calculation of the speed of the electromagnetic wave in the water, the direction of the profile in relation to the river's flow, the antennas offset, the interval of temporal sampling and the stacking of the traces. The obtained results allowed to identify clearly some structures in Taquari river's, however the presence of multiple reflections complicated your interpretation. The multiple reflections found in the GPR profiles were removed or attenuated through deconvolution filtering, being this procedure unprecedented in GPR data acquisition on water. The promising results obtained with the deconvolutive filters make this methodology available as an effective tool in the removal of multiple reflections in GPR data acquisition on water.

### Introdução e Objetivos

O Pantanal é considerado o maior complexo de terras alagadiças do mundo, com área total de aproximadamente 140.000 quilômetros quadrados (Collischonn et. al., 2001), localizada nos Estados Brasileiros do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, e pequenas porções na Bolívia e no Paraguai. Este complexo é circundado por planaltos, onde a elevação pode variar entre 200m a mais de 800m (Figura 1), as planícies do Pantanal recebem água e sedimentos carregados das terras altas por diversos sistemas de drenagens. Dentre estes sistemas, o leque aluvial do Rio Taquari é o que melhor representa as principais feições geomorfológicas e processos da Planície Pantaneira (Souza, 1998).

Os principais problemas da Bacia do Taquari estão relacionados com os processos erosivos na região dos planaltos adjacentes ao Pantanal. Segundo Souza (1998),

ocorrendo um aumento na taxa de deposição de sedimentos nas calhas dos rios da Bacia do Taquari causada pelo uso inadequado das terras na região dos planaltos adjacentes ao Pantanal.

Visando subsidiar os estudos multidisciplinares sobre a sub-componente Bacia do Taquari do Programa Pantanal (Araújo et. al., 1999), foram realizados vários levantamentos geofísicos experimentais utilizando o método GPR - *Ground Penetrating Radar* ao longo do Rio Taquari no Pantanal Matogrossense. Os resultados preliminares deste estudo foram apresentados durante o 7<sup>o</sup> Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, realizado em Salvador (Souza et. al., 2001).

O processamento preliminar destes dados revelou a existência de refletores com características de reflexões múltiplas. A presença deste tipo de refletor pode dificultar, ou mesmo impossibilita, a identificação das reflexões primárias que possam ser indicativas de feições geológicas. Desta forma, as reflexões múltiplas são indesejáveis no processo de interpretação e, por conseguinte, devem ser eliminadas.

Este trabalho possui como objetivo avaliar a aplicação do método de deconvolução preditiva para a remoção das reflexões múltiplas presentes nos dados GPR adquiridos ao longo do Rio Taquari, na Bacia do Pantanal Matogrossense.

### Aquisição dos dados GPR ao longo do rio Taquari

Para a aquisição de dados ao longo do Rio Taquari foi utilizado o sistema RAMAC - GPR, construído pela empresa Sueca MALA Geoscience. Os dados foram adquiridos por meio da técnica de perfis de reflexão, direcionados transversalmente e longitudinalmente ao leito do Rio Taquari, utilizando antenas de frequências centrais em 50, 100 e 200MHz.

As antenas e seus módulos eletrônicos foram posicionados no interior de catamarãs, orientadas longitudinalmente à direção de aquisição (orientação paralela – *broadside*). Estes catamarãs foram projetados e desenvolvidos pelos pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), especificamente para o uso do GPR sobre lâmina d'água. Os catamarãs foram rebocados por uma embarcação local, e no seu interior foram posicionados a unidade de controle, o "laptop" e o sistema GPS (Global Positioning System) utilizado para demarcar o posicionamento espacial dos perfis.

Vários parâmetros de aquisição de dados foram testados visando melhorar a razão sinal/ruído. Os parâmetros

ótimos encontrados para a aquisição de dados sobre as águas do Rio Taquari foram:

- **Intervalo de amostragem** temporal de 0,5s. Este valor foi escolhido devido à velocidade média do barco ser de 4km/h (1,1m/s) o que resulta num intervalo entre cada traço de aproximadamente 0,5m. Entretanto, a velocidade do barco variou entre 2 e 6km/h, segundo os dados de GPS, dependendo da intensidade das correntes no rio. Neste caso, o espaçamento entre cada traço também variou de aproximadamente 0,3m a 0,8m.

- Perfis longitudinais ao rio foram adquiridos no **sentido** contrário ao fluxo de água, este procedimento permite uma maior densidade de traços devido a menor velocidade da embarcação nesta condição e maior estabilidade das antenas.

- As **separações entre as antenas** transmissora e receptora utilizadas nos perfis adquiridos nas águas do Rio Taquari foram de 1metro para as antenas de 200 MHz e 100 MHz, e de 2 metros para as antenas de 50 MHz.

- Optou-se por utilizar o valor ótimo de 32 traços para o **empilhamento** de forma a preservar a razão sinal/ruído (Versteeg, 1996).

- Para a conversão tempo-profundidade foi utilizada a velocidade aparente média de 0,05m/ns. O cálculo desta velocidade de propagação da onda eletromagnética na água foi realizado através das medidas da profundidade do fundo do leito do rio por meio de uma régua e da leitura no radargrama do tempo duplo de reflexão do sinal eletromagnético no fundo do Rio.

### Processamento dos dados – Deconvolução

O processamento dos dados adquiridos ao longo do Rio Taquari foi efetuado com a utilização de dois softwares distintos, as etapas de processamento foram realizadas com o software Gradix – Interpret, enquanto a etapa de deconvolução para a remoção das reflexões múltiplas foi realizada no pacote Seismic Unix - SU para processamento de dados sísmicos. As etapas envolvidas neste procedimento são listadas no fluxograma da Figura 2.

As reflexões múltiplas são um tipo indesejado de interferência de ondas, na qual a onda é refletida diversas vezes entre o topo e a base de uma mesma camada ou diversas camadas antes de ser recebida. A presença de múltiplas dificulta ou impossibilita a identificação de reflexões primárias.

Perfis GPR adquiridos sobre lâmina d'água normalmente apresentam estas feições que ocorrem pela presença desta lâmina que funciona como um guia de ondas devido ao fato de estar limitada por interfaces com grande contraste de condutividade e permissividade dielétrica. A reverberação das ondas eletromagnéticas entre topo e base da lâmina d'água é muito proeminente.

Deve ser ressaltado que, no caso das ondas eletromagnéticas, a polaridade da onda na reflexão múltipla é a mesma da reflexão primária não havendo,

portanto, as inversões de polaridade nas reflexões múltiplas comuns aos dados sísmicos adquiridos em ambiente marinho. Este fato deve-se aos coeficientes de reflexão da onda eletromagnética, ou seja, o coeficiente de reflexão na interface água/fundo do rio é de aproximadamente +29% enquanto o coeficiente de reflexão na interface água/ar é de +80% (Moutinho, 2003).

Visando à remoção das reflexões múltiplas dos dados GPR adquiridos sobre o Rio Taquari foi realizada a deconvolução destes dados por meio da filtragem preditiva multicanal, cujo algoritmo foi desenvolvido pelo Prof. Dr. Milton J. Porsani, CPGG - UFBA (Lima, 1999; Porsani & Ursin, 1999) e modificado para a utilização neste trabalho.

Segundo Robinson (1966), a filtragem multicanal opera com diversos traços do perfil simultaneamente, tirando vantagem da estrutura entre os traços. Isto ocorre devido ao fato do processamento multicanal utilizar ambas as funções auto e cross-correlação dos canais de entrada.

O algoritmo de deconvolução foi empregado “por partes” do perfil, ou seja, os parâmetros de entrada do filtro foram escolhidos conforme a região do perfil GPR que se deseja deconvolver. Esta particularidade foi implementada devido a grande irregularidade do leito do Rio Taquari, pois é comum verificarmos num mesmo perfil variações abruptas de seu leito, sendo que a espessura da lâmina d'água varia de centímetros nas proximidades de bancos de areia, a metros nas regiões mais profundas.

Para filtragem multicanal das seções adquiridas ao longo do Rio Taquari foi utilizado o valor ótimo de 5 canais, o qual apresentou melhor compromisso entre tempo de processamento e robustez.

A Figura 3 mostra o resultado da deconvolução multicanal “por partes” para o perfil Prof19\_dia22 comparado ao perfil processado sem deconvolução. Este perfil foi adquirido em sentido transversal ao rio, estando posicionado entre as coordenadas 18° 13' 03,29”S; 55° 27' 38,49”W e 18° 12' 55,56”S; 55° 27' 38,49”W, com comprimento total de 260 metros. Este perfil foi adquirido com antenas de 100 MHz, espaçadas de 1 metro e intervalo de amostragem entre traços de 0,5 segundo.

Neste Perfil, observam claramente dois bancos de areia no leito do Rio Taquari, o primeiro entre as posições 70 e 100 metros e o segundo entre 190 e 220 metros, nestes locais encontram-se as menores profundidades observadas neste trecho do rio, inferiores a 1 metro. Em suas porções inicial, final e entre os bancos de areia, observam-se os canais do rio onde a espessura da lâmina d'água chega a 6 metros.

A filtragem multicanal “por partes” foi aplicada a todo o perfil, a exceção da região do banco de areia entre 190 e 220 metros onde a deconvolução não foi aplicada devido à grande incidência de refletores múltiplos e discordantes, desta forma considerou-se que este processamento naquele local não seria compensador.

Visualmente, o filtro deconvolutivo eliminou quase totalmente os efeitos das reflexões múltiplas presentes

no perfil Prof19\_dia22, o que pode ser melhor observado na porção central do perfil, entre as posições 100m e 190m, onde a maior espessura da lâmina d'água possibilita uma melhor distinção entre as reflexões primárias e a múltipla.

Os resultados obtidos com este procedimento se revelaram muito bons, mostrando-se estáveis em regiões com variações abruptas na profundidade do refletor primário, comuns nos dados adquiridos ao longo do Rio Taquari. De maneira geral, os filtros deconvolutivos mostraram-se mais eficientes em regiões onde a lâmina d'água possui espessura aproximadamente constante e profundidade superior a 2 metros (Moutinho, 2003). Nos locais onde a espessura da lâmina d'água é inferior a esta o período entre as reflexões múltiplas diminui ao ponto destas se sobrepõem, prejudicando a eficiência da filtragem.

### Conclusões

Os trabalhos pioneiros utilizando a metodologia GPR no rio Taquari, na planície do pantanal matogrossense, permitiram encontrar os parâmetros ótimos para a aquisição de dados GPR sobre lâmina d'água. Os principais parâmetros analisados foram: cálculo da velocidade da onda para conversão tempo-profundidade, direção do perfil de reflexão em relação ao fluxo de água, espaçamento entre as antenas e o empilhamento dos pulsos ou "stack".

Durante as etapas de pré-processamento dos dados GPR adquiridos observou-se claramente nos perfis a presença de bancos de areia, dunas no fundo do rio, canais e as reflexões múltiplas. Para efetuar a remoção destas feições múltiplas presentes nos dados GPR adquiridos no Rio Taquari foi utilizada a deconvolução. Desta forma foi adaptado e empregado o algoritmo desenvolvido pelo Prof. Dr. Milton J. Porsani, o qual realiza a filtragem preditiva multicanal operando com diversos traços do perfil simultaneamente, tirando vantagem da estrutura entre os traços.

Os resultados obtidos mostraram uma notável eficiência da filtragem preditiva multicanal aplicada a dados GPR, uma vez que a feição múltipla presente no perfil foi quase totalmente eliminada.

De maneira geral, os filtros deconvolutivos testados mostraram-se mais eficientes em regiões onde: i) não ocorram variações abruptas na espessura da lâmina d'água, e ii) a profundidade é superior a 2 metros. Nos casos onde estas condições são violadas, o resultado da deconvolução pode não ser satisfatório.

Esta pesquisa mostrou que o uso do GPR sobre lâmina d'água é um procedimento perfeitamente viável, e o seu desempenho está atrelado às propriedades físicas da água e dos sedimentos investigados.

### Referências Bibliográficas

**Araújo, M.R. et. al., 1999.** Estudos multidisciplinares sobre o sub-componente Bacia do Taquari, do Programa

Pantanal, Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Projeto de Pesquisa Embrapa-MS/IAG-USP/ IPT/UFMS.

**Collischonn, W.; Tucci, C.E.M.; Clarke, R.T., 2001.** "Further evidence of changes in the hydrological regime of River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change?" *Journal of Hydrology* 245, p. 218-238.

**Lima, A.P., 1999.** Deconvolução Preditiva nos domínios  $t-x$  e  $\tau-p$  utilizando filtros Wiener-Levinson múlticanais. Dissertação de Mestrado, Geofísica, UFBA – Universidade Federal da Bahia. Salvador – Bahia, 70 p.

**Moutinho, L., 2003.** Processamento de dados GPR adquiridos no Rio Taquari – Pantanal Matogrossense, com ênfase em deconvolução. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geofísica, IAG – USP. São Paulo – SP, 115p.

**Porsani, M.J.; Ursin, B., 1999.** Estimation of an optimal mixed-phase inverse filter. *Geophysical Prospecting*, v.48, p.663-672.

**Robinson, E.A., 1966.** Multichannel Z-Transforms and Minimum-Delay. *Geophysics*. Vol. XXXI, nº 3. p. 482-500.

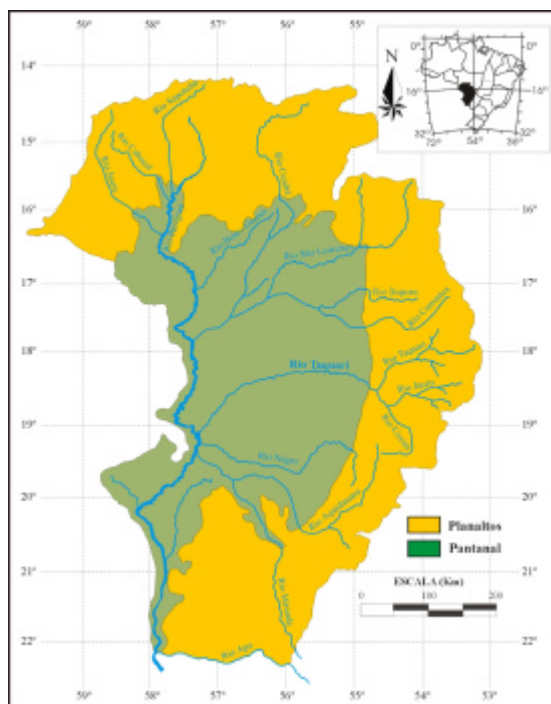
**Souza, O.C., 1998.** Modern Geomorphic Processes along the Taquari River in the Pantanal: A Model for Development of a Humid Tropical Aluvial Fan. PhD thesis, University of California, Santa Barbara, 135p.

**Souza, L.A.P.; Porsani, J.L.; Souza, O.C.; Moutinho, L., 2001.** Levantamento Experimental GPR no Rio Taquari, Bacia do Pantanal Matogrossense. 7º CISBGf, anais do congresso. Salvador – BA.

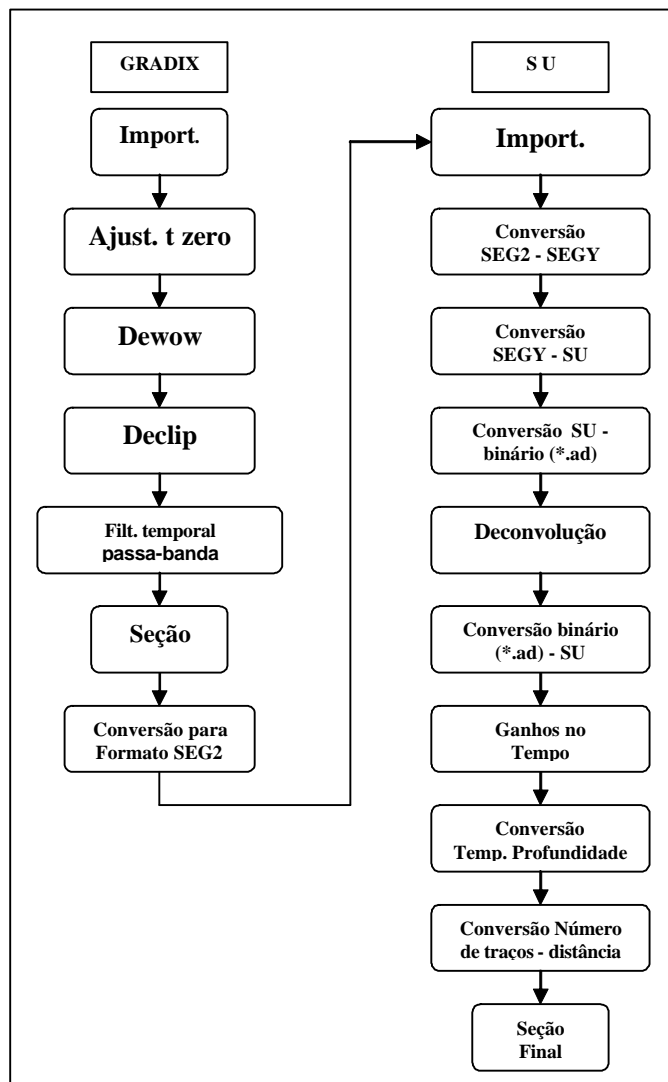
**Versteeg, R., 1996.** "Optimization of GPR acquisition and noise elimination parameters". *International Conference on Ground Penetrating Radar*, 6, Sendai. *Proceedings...*, Sendai: GPR'96, p.289-292.

### Agradecimentos

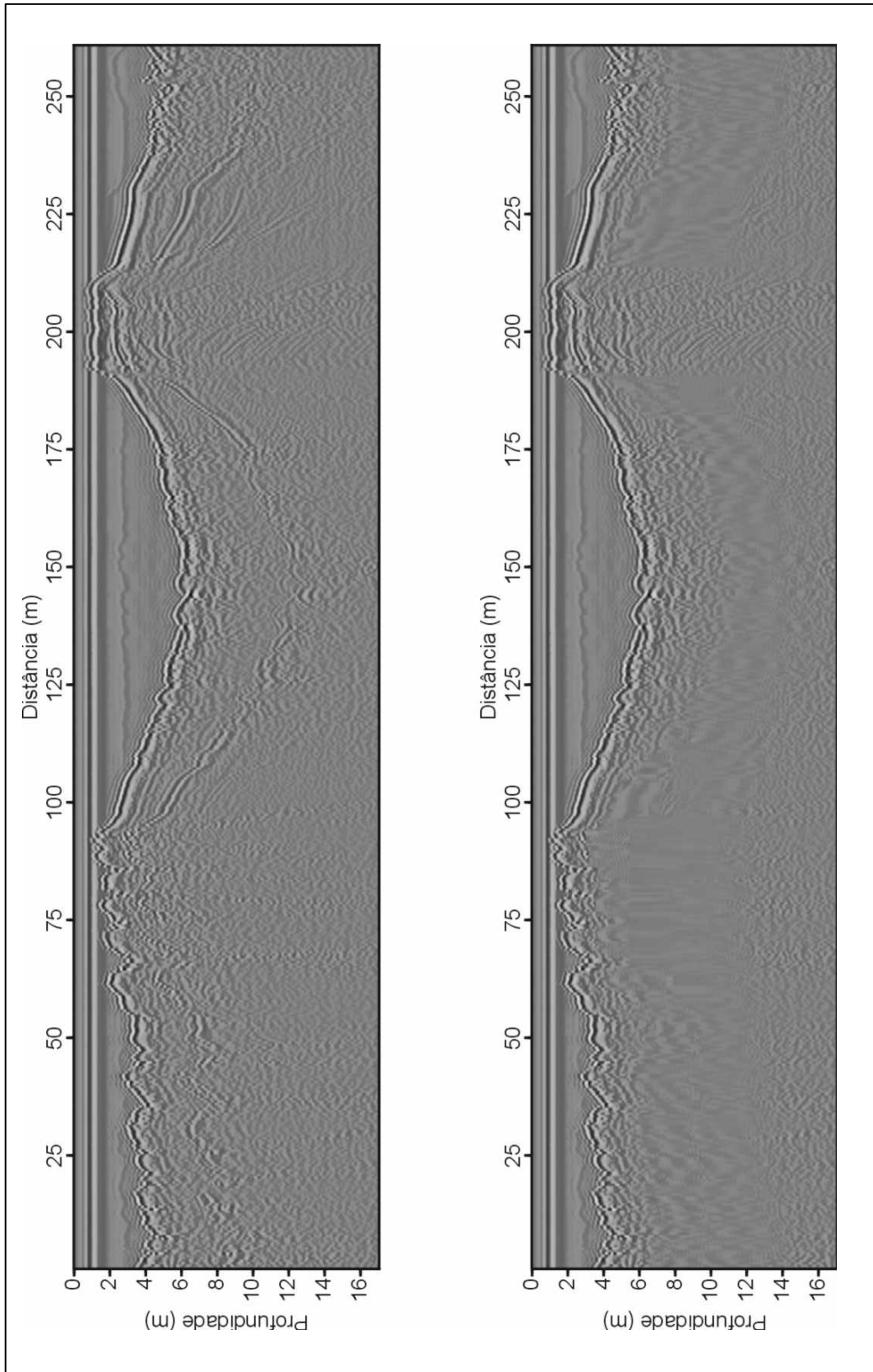
Ao Departamento de Geofísica do IAG/USP pela oportunidade de realizar esta pesquisa. À FAPESP (Processo No. 99/12690-2) pelo apoio financeiro, no qual esta pesquisa pegou carona sendo fundamental para a realização dos trabalhos de campo com o GPR. Aos colegas da DIGEO/IPT pelo empréstimo dos catamarãs. Aos pesquisadores da EMBRAPA (Dr. Osni C. Souza e Dra. Maria R. Araújo) pelas proveitosas discussões sobre os processos sedimentológicos que ocorrem na bacia do pantanal matogrossense.



**Figura 1.** Mapa de localização do pantanal matogrossense (modificado de Souza, 1998).



**Figura 2.** Fluxograma do processamento utilizando filtro multicanal.



**Figura 3.** Prof19\_dia22. Seção não deconvolvida (acima). Seção deconvolvida com subrotina multicanal "por partes" (abaixo).