

GPR para a verificação do nível d'água subterrânea em transição Floresta Amazônica e Cerrado

Tânia Helena MARCELINO¹, Shozo SHIRAIWA¹, Welitom Rodrigues BORGES², Nicolau Priante FILHO³, Fernando RAITER⁴

RESUMO

Um estudo do monitoramento do nível de água foi realizado com medidas diretas e com Radar de Penetração no Solo (GPR) em uma floresta tropical de transição para o cerrado. Três poços de monitoramento do nível de água foram instalados durante 2001/2002 em três locais diferentes: o primeiro em uma área de floresta permanente, outro em área de floresta manejada e outra em uma área de pasto. Os perfis de GPR mostram que o nível do topo do lençol freático aparece como um refletor horizontal forte em março e em agosto de 2002, e como um refletor fraco durante medidas em maio e outubro de 2001 com descontinuidades devido a diversas lentes de solo laterítico no solo. O topo do lençol de água é facilmente confundido com a presença de tais lentes. A umidade do solo teve uma influência nestes sinais da reflexão, mudando a constante dielétrica do solo. A profundidade do topo do lençol da água variou 1,8 m sob a floresta permanente, 0,9 m sob a floresta manejada e 3,7 m sob o pasto.

PALAVRAS-CHAVE

Lençol de água, radar de penetração no solo, floresta tropical, pastagem, solo.

Ground Penetrating Radar (GPR) water level monitoring study of a mature transitional tropical forest.

ABSTRACT

A Ground Penetrating Radar (GPR) water level monitoring study of a mature transitional tropical forest is presented. Three water tables monitoring wells were installed during 2001/2002 at three different sites: under permanent forest, under managed forest and pasture. The GPR profiles show that the water table appears as a strong horizontal reflector in March and August, 2002, and as a weak, discontinuous reflector during measurements in May and October 2001. Due to several laterite lenses in the soil, the water table can easily be mistaken in place of such lenses. Soil moisture had an influence on these reflection signals, changing the dielectric constant of soil. The depth of the water table varied 1.8 m under permanent forest, 0.9 m under management forest and 3.7 m under pasture.

KEYWORDS

water table, ground penetrating radar, tropical forest, pasture, soil.

¹ Núcleo de Geofísica e Estudos Ambientais (NGEA/UFMT), e-mail: shozo@cpd.ufmt.br;

² Doutorando em Geofísica Aplicada do IAG/USP;

³ Departamento de Física (UFMT);

⁴ Bolsista IC/LBA/UFMT/Sinop

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O projeto “Os Efeitos da Conversão da Paisagem no Balanço de Carbono e de Energia no Sudoeste da Amazônia” (Grupo CD-12 LBA), em desenvolvimento em uma área a 60Km a norte da cidade de Sinop – MT (Figura 01), tem gerado resultados importantes no estudo das trocas de matéria (CO₂ e H₂O) e energia (radiação solar, calor etc) entre a mata de transição e a atmosfera, a partir da análise dos dados gerados por sensores meteorológicos instalados em uma torre metálica (11°24.75'S: 55°19.50'W) de 40 m de altura no interior da floresta (Vourlits *et al.* 2002).

A água é um fator essencial no ciclo do carbono, contribuindo para o desenvolvimento das plantas. A principal fonte de água utilizada pelas plantas é a subterrânea, ou seja, a água preservada no solo. A determinação da presença de água no solo pode ser realizada de inúmeras maneiras, dentre elas destacam-se os métodos diretos de investigação (poços, trincheiras, furos de sondagem, etc.) e indiretos (geofísica, geoquímica, etc.). Os métodos diretos de investigação amostram pontualmente e são comumente mais onerosos que os métodos geofísicos indiretos, já que estes conseguem amostrar áreas maiores de modo mais rápido. O método

geofísico de Radar de Penetração no Solo - GPR (*Ground Penetrating Radar*) - é um método eletromagnético que emprega ondas de rádio em frequência muito altas (entre 10 – 1000 MHz) para localizar estruturas e feições geológicas e pedológicas rasas (Annan, *et al.*, 1991). Ele consiste na transmissão de ondas eletromagnéticas repetidamente radiadas para dentro da Terra por uma antena transmissora colocada na superfície. Estas ondas refletem nas camadas de solo e rochas com diferentes propriedades elétricas, produzindo uma imagem dos refletores em subsuperfície. As propriedades elétricas do solo e/ou rocha dependem principalmente do conteúdo de água (Topp *et al.*, 1980), produzindo desta forma reflexões nas ondas eletromagnéticas ao encontrar o topo do lençol freático.

O objetivo principal deste trabalho foi de monitorar a variação do lençol freático em uma área de mata permanente utilizando dados de profundidade do nível d'água obtidos em poços de monitoramento e através de perfis de GPR.

O método GPR vem sendo utilizado em diversas situações para identificar a profundidade do nível d'água com excelentes resultados principalmente em terrenos arenosos (Annan, *et al.*, 1991; Beres & Haeni, 1991; Harari, 1996).

METODOLOGIA

Radar de penetração no solo - GPR.

Os dados de GPR foram adquiridos em perfis através da técnica conhecida como caminhamento com afastamento constante (Porsani, 1999). Nesta técnica as antenas possuem uma separação fixa entre si e são deslocadas conjuntamente. Em cada ponto de medida um pulso eletromagnético é emitido e é refletido nas interfaces entre camadas com diferentes propriedades elétricas. A imagem deste pulso é gerada na tela de um microcomputador portátil em função da posição e do tempo de percurso para ir e retornar até a antena receptora, formando um traço. Um gráfico com os diferentes traços obtidos em cada ponto, colocados um paralelo ao outro, formando uma imagem dos refletores no subsolo.

As antenas utilizadas possuem uma frequência central de 50, 100 e 200MHz. Estas frequências foram escolhidas, pois possibilitam investigar, em ambientes favoráveis, profundidades de 20, 15 a 7m, respectivamente (Annan, 1992), com uma boa resolução vertical. Os perfis GPR foram adquiridos com intervalo de medidas de 0,25 a 0,5m;. O processamento dos sinais adquiridos constou da análise das frequências presentes através da obtenção do espectro de amplitudes, que define frequências de corte para a aplicação de filtros de passa banda para a remoção dos ruídos de alta e baixa frequência nos sinais adquiridos. Foram feitos os ajustes do instante zero para todas as ondas recebidas e o ajuste de ganhos para melhorar a visualização dos fracos refletores mais profundos. Foi aplicado também um filtro de média móvel para remover as variações bruscas no

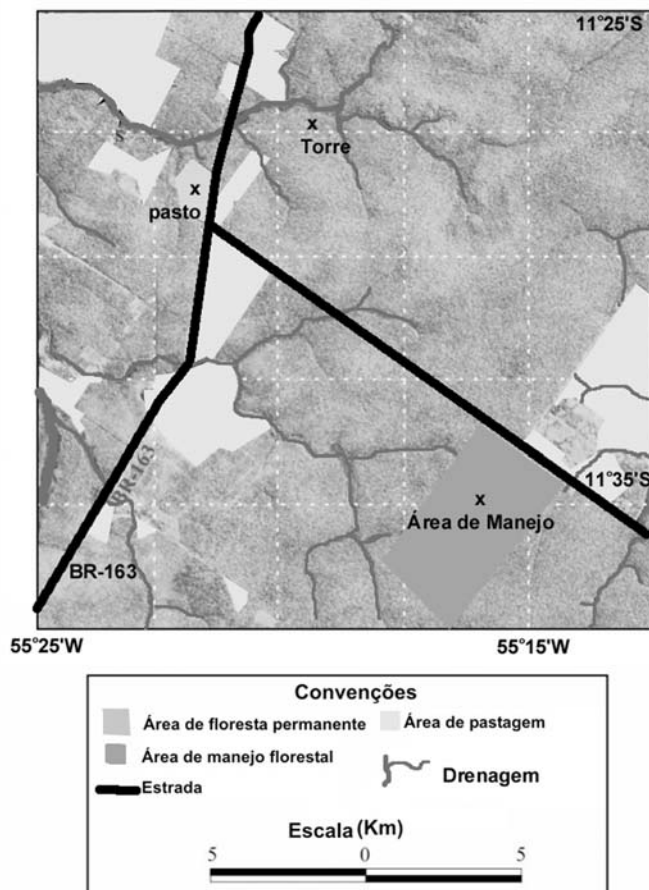


Figura 01 – Mapa de localização das áreas de estudo.

signal de entrada. A conversão tempo-profundidade foi realizada utilizando uma velocidade constante.

A resposta do GPR foi comparada com as medidas da profundidade do lençol freático através dos poços de monitoramento instalados em pontos próximos das linhas de GPR.

Através da obtenção da profundidade do lençol freático medida dentro de um poço de monitoramento do nível d'água instalado na área foi possível estimar a velocidade da onda eletromagnética no meio através da equação (1).

$$V = \frac{2h}{t} \quad (1)$$

onde

V = velocidade da onda eletromagnética no meio,

h = profundidade do refletor e

t = tempo em que a onda leva para ser emitida, refletida e captada.

Foi encontrada uma velocidade de aproximadamente 120m/ms condizendo com a velocidade média em materiais arenosos (Annan, 1992).

Os perfis GPR foram adquiridos na região nos períodos de estiagem (maio/2001 e agosto/2002) e no período de chuvas (outubro/2001 e março/2002) como pode ser observado pelos dados de precipitações mensais ocorridas no período e medidas em uma estação meteorológica instalada próximo da área de estudo (Figura 02).

Poços de Monitoramento do Nível D'água (PMNA)

Estes poços foram perfurados a trado manual e revestidos com tubos de PVC soldáveis de 60 mm de diâmetro, ranhurados na parte inferior, na região de oscilação do nível d'água, tamponado no fundo. A parte ranhurada foi revestida

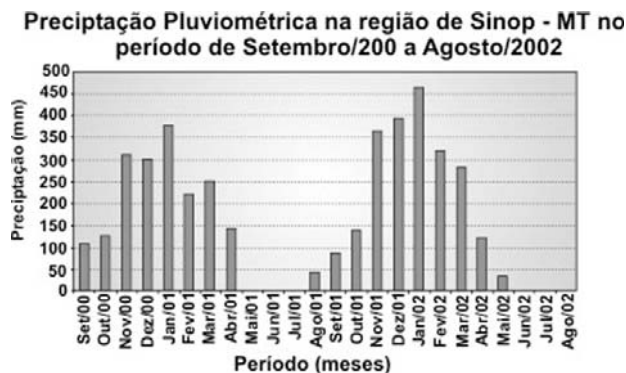


Figura 02 - Precipitação pluviométrica na região de Sinop – MT (Fonte: Estação Meteorológica instalada na Fazenda Trevo)

com feltro para impedir a entrada de material coloidal (argila) dentro do poço. Para evitar a entrada de água superficial no poço foi construída uma caixa de proteção de cimento na parte superior. A profundidade do nível d'água foi monitorada diretamente através de medidas periódicas com a utilização de uma trena.

RESULTADOS

Poços de monitoramento do nível d'água

Na área próxima da torre de Sinop do LBA foi instalado um poço de monitoramento em outubro de 2001 (PMNA-1), com 5,4 m de profundidade. No entanto no período de estiagem, de maio a setembro, este poço permaneceu seco, pois o lençol desceu a níveis mais profundos. Por esta razão foi instalado um novo poço, o PMNA-2, em novembro de 2002, com uma profundidade de 6,0 m e distante 10,0 m do primeiro. As amostras de solo coletadas nos furos, foram analisadas e na Figura 03 está o perfil de solo do poço PMNA-2 (idêntico ao perfil de solo do poço PMNA-1), onde se nota a predominância de um solo com textura areno-siltosa, com presença de laterita em quantidades mais expressivas nas profundidades de 2,0m e 5,1 m (Marcelino,2003).

O poço de monitoramento PMNA-3, foi instalado na área de manejo florestal no mês de novembro de 2002, e atingiu uma profundidade de 7,6 m. As análises das amostras de solo mostraram um predomínio de solo com textura areno-siltosa e também a presença de lateritas a diferentes profundidades (Figura 04).

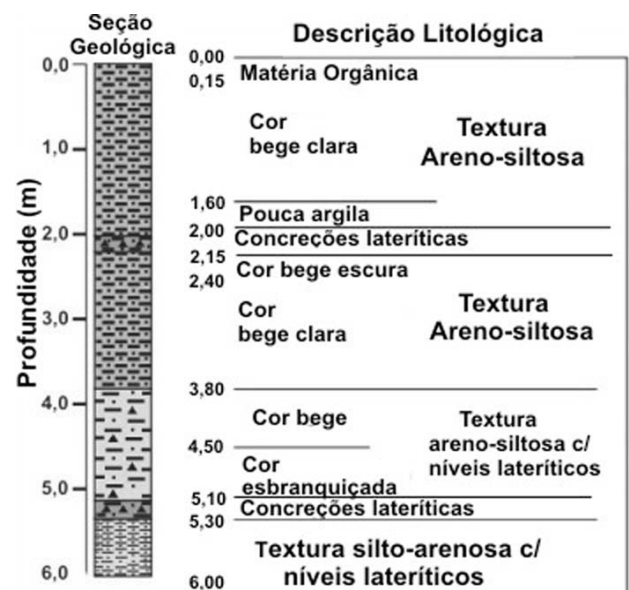


Figura 03 - Perfil de solo do poço de monitoramento PMNA-2, perfurado em área de floresta permanente.

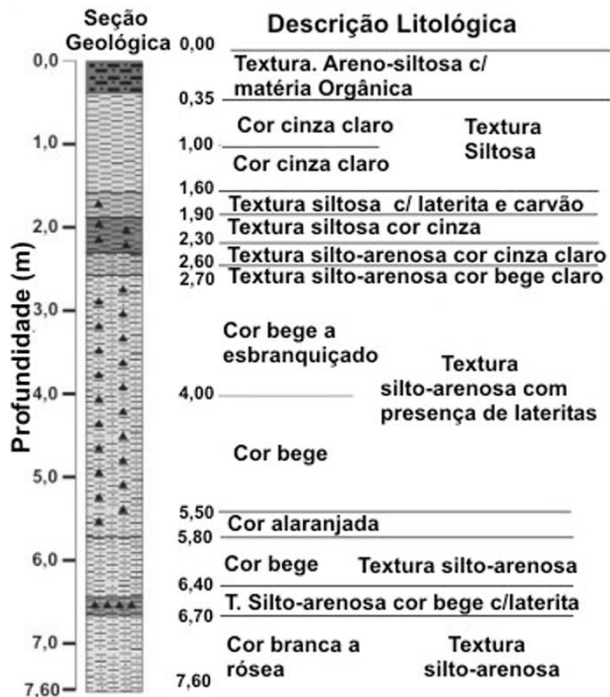


Figura 04 - Perfil de solo do poço de monitoramento PMNA-3, perfurado na área de manejo florestal.

O poço de monitoramento PMNA-4, foi instalado na área de pastagem com uma profundidade de 8,1 m. Apresenta uma variação quanto a cor e a presença de lateritas que se mostram mais expressivos nas profundidades de 2,6 m e 4,3 m (Figura 05).

Nível d'água.

Os dados de monitoramento do nível d'água medidos diretamente nos poços PMNA-1 e PMNA-2, na área de floresta permanente, mostram que o lençol freático atinge sua maior profundidade nos meses de agosto a dezembro, e fica mais próximo da superfície nos meses de janeiro a maio (Figura 06). A variação sazonal da profundidade do lençol é de aproximadamente 1,8m.

Os dados de monitoramento de novembro de 2002 a abril de 2003 do PMNA-3 na área de manejo florestal e do PMNA-4 na área de pastagem mostram as maiores profundidades do nível do lençol freático entre os meses de novembro e dezembro, ficando mais próximo a superfície no mês de fevereiro. A variação do lençol freático entre a máxima e a mínima para o PMNA-3 é de aproximadamente 0,9 m e para o PMNA-4 é de aproximadamente 3,7 m.

Radar de penetração no solo - GPR

Foram escolhidas duas linhas para a aquisição de dados com GPR na área de Floresta Permanente. A Linha 1, localizada

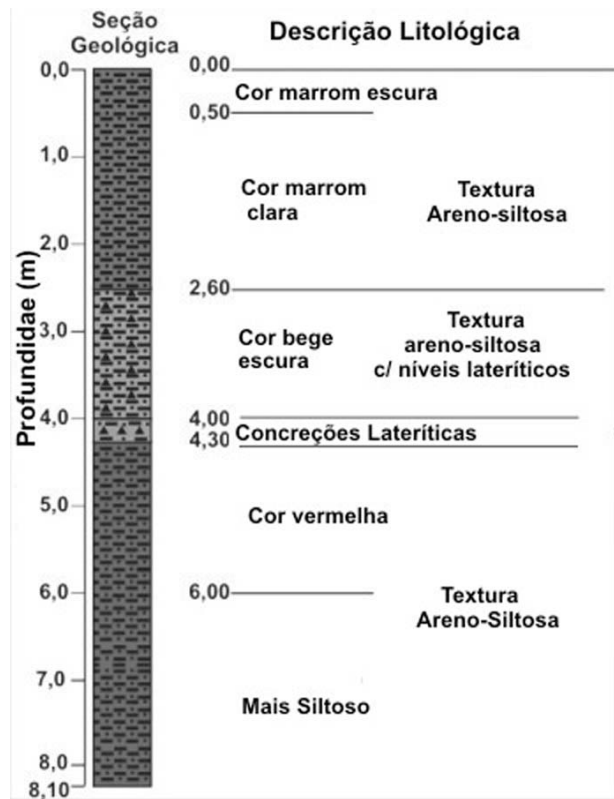


Figura 05 - Perfil de solo do poço de monitoramento PMNA-4, perfurado na área de pastagem, Sinop - MT.

a 50 m da torre do LBA e a Linha 2 a 500m da torre, em local de topografia mais elevada. Em cada Linha foram adquiridos com o GPR, medições com afastamento constante em quatro períodos diferentes: maio e outubro de 2001 e março e agosto de 2002.

LINHA 1 - Área de Floresta Permanente

A Linha de GPR realizada em maio de 2001 (Figura 08) mostra a presença de 2 fracos refletores horizontais: o primeiro aparece em torno de 2m de profundidade, (obtido utilizando a equação 1 com o tempo de chegada da onda em 35ns), correlacionado com uma camada de laterita verificado no PMNA-2. O segundo refletor horizontal é pouco nítido em torno de 4,2m de profundidade (70ns), identificado como o topo do nível d'água. Entre 2,0 m e 6,0 m de profundidade, o padrão da imagem é atenuado devido à presença de umidade no solo que aumenta a condutividade. Ainda é visível um padrão fraco de camadas onduladas de solo de textura areno-siltosa. Abaixo dos 6,0 m de profundidade a imagem de GPR exibe um padrão semelhante à camada superior porém mais forte e nítido, pois a presença de lateritas e cascalhos produzem reflexões mais acentuadas, com um sistema de camadas típicos de deposição de ambiente fluvial da Formação Araguaia (Silva et al., 1980).

Variação do nível d'água em PMNA-1 e PMNA-2

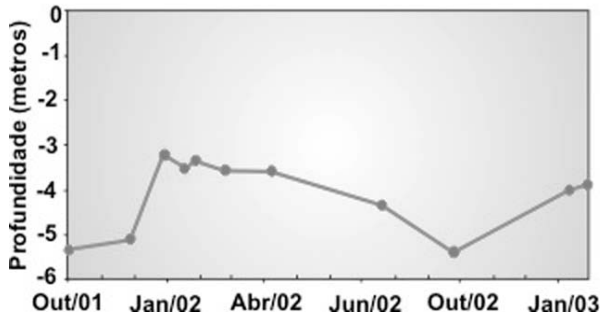


Figura 06 - Variação do nível d'água medida nos poços de monitoramento PMNA-1 e PMNA-2 no período de outubro/2001 a abril/2003.

Variação do nível d'água em PMNA-3 e PMNA-4

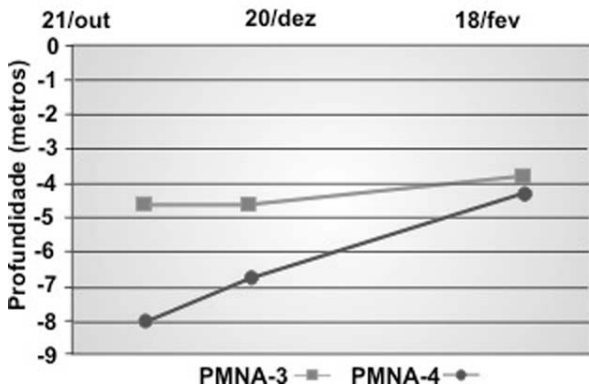


Figura 07 - Variação do nível d'água medida nos poços de monitoramento PMNA-3 e PMNA-4 no período de novembro/2002 a fevereiro/2003.

Na aquisição realizada em outubro de 2001 (Figura 09) a imagem apresenta os mesmos 2 refletores horizontais da aquisição realizada em maio de 2001 (Figura 8), e estão interpretados como uma camada de laterita na profundidade de 2m (35ns) na mesma posição observada na Figura 8, e o segundo refletor como sendo o topo do lençol freático a 5,4m de profundidade (90ns) conforme dados do poço PMNA-1. O padrão da imagem é semelhante ao perfil anterior porém exibe maior nitidez, pois a camada de 2 a 6 m está mais seca neste período, atenuando menos o sinal do GPR. A presença do refletor associado ao nível d'água é muito tênue confundindo-se com as camadas de areia e/ou cascalho. A diferença é que o horizonte do nível freático é contínuo e horizontal.

Na imagem obtida em março de 2002 (Figura 10) o nível d'água aparece como um forte refletor a partir de 60ns (3,6m), coincidindo com a profundidade medida no PMNA-1. Diferentemente dos perfis anteriores, o nível d'água (NA) é bastante nítido, não havendo dúvida sobre ele, pois é um refletor forte, contínuo e horizontal. Os outros padrões

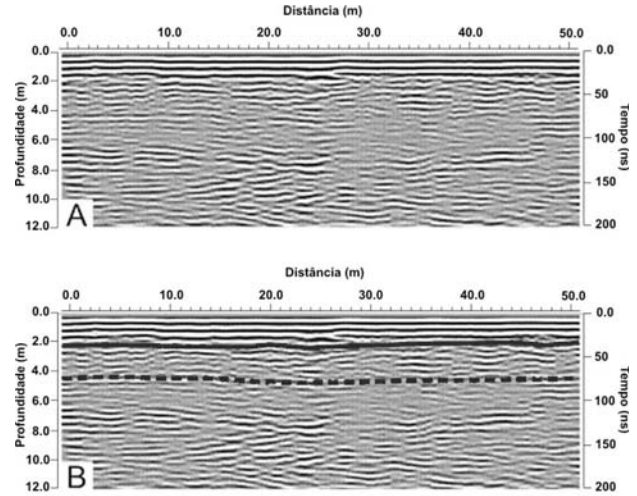


Figura 08 - A) Imagem obtida com GPR na Linha 1, adquirida no mês de maio de 2001 com antenas de 200MHz. B) Mesma imagem interpretada. A linha contínua é a camada de laterita. O tracejado é o nível do freático interpretado.

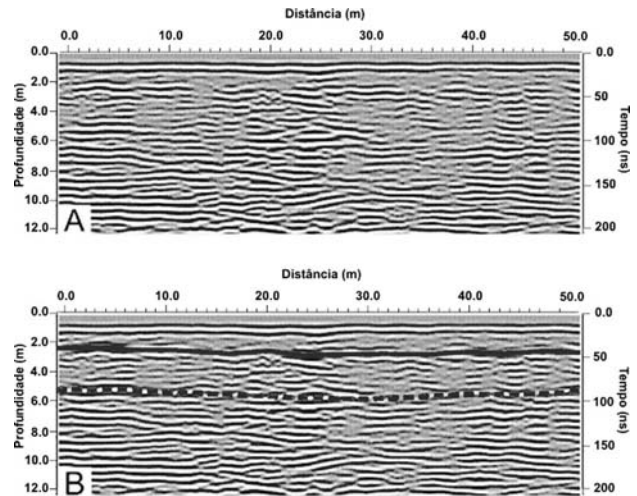


Figura 09 - A) Imagem obtida com GPR obtida na Linha 1 adquirida no mês de outubro de 2001 com antenas de 200MHz. B) Mesma imagem interpretada. A linha contínua é a camada de laterita. O tracejado é o nível do freático.

continuam da mesma forma, com o sinal atenuado abaixo do NA, devido ao aumento da condutividade elétrica.

A imagem obtida em agosto de 2002 (Figura 11), mostra um padrão de imagem com características diferentes das três imagens anteriores pois foi realizada com antenas de 100MHz e não de 200 MHz para obter um alcance maior em profundidade. A distância entre as medidas foi de 0,25 m. O nível d'água é bem nítido a 4,3 m de profundidade (80ns). As disposições das camadas são mais nítidas nesta imagem, pois o poder de penetração é maior com esta antena.

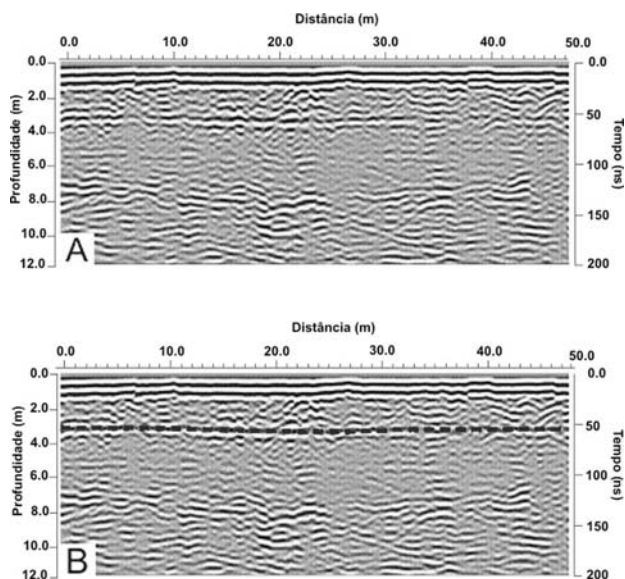


Figura 10 - A) Imagem obtida com GPR na Linha 1 adquirida no mês de março de 2002 com antenas de 200MHz. B) Mesma imagem interpretada. O tracejado é o nível do freático.

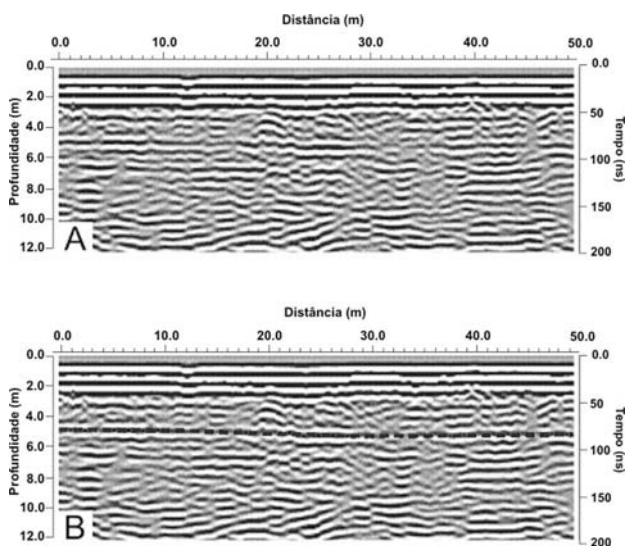


Figura 11 - A) Imagem obtida com GPR na Linha 1 adquirida no mês de agosto de 2002 com antenas de 100MHz. B) Mesma imagem interpretada. O tracejado é o nível do freático.

CONCLUSÕES

Os perfis de solos da área de estudo são de solos típicos da região da Chapada dos Parecis, sobre sedimentos da Formação Araguaia e são constituídos por Latossolos Vermelho-Amarelo, predominantemente de textura areno-siltosa, com presença de grãos de óxido de ferro (lateritas) e cascalhos formados por seixos de quartzo e de óxido de ferro. Estas camadas com lateritas e também os níveis de cascalho, são bons refletores das ondas eletromagnéticas emitidas pelo GPR,

como é observado nos vários perfis obtidos na área. A presença da água aumenta a condutividade do meio e produz fortes reflexões, permitindo mapear o topo do lençol freático, em grandes extensões, de maneira rápida. Para efetuar os levantamentos para NA, nestes ambientes de Latossolo de textura areno-siltosa, no período final das chuvas (março/abril) em locais em que o NA está a menos de 4 m, uma antena de 200 MHz é suficiente para mapeá-lo. Se o NA está abaixo de 4 m então uma antena de 100 MHz é necessário independente do período sazonal.

Para comparação entre as áreas de diferentes tipos de cobertura vegetal, o monitoramento dos poços mostrou que no período de novembro de 2002 a fevereiro de 2003, a profundidade do topo do lençol freático variou de 1,8 m na área de floresta permanente, de 0,9 m na área de manejo florestal e de 3,7m na área de pastagem. Apesar desta variação depender de outros fatores, é notável que a maior variação ocorreu na área de pastagem, provavelmente devido à maior evaporação e menor retenção nesta área devido a menor cobertura vegetal. É necessário que o monitoramento seja efetuado em um período maior de tempo para comparar estas variações.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro. Aos professores Luis Paggi e Florício Rocha da Universidade Estadual de Mato Grosso, campus de Alta Floresta pelo auxílio na instalação dos poços de monitoramento.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Annan, A.P., 1992. *Ground penetration radar workshop notes*. Sensors & Software, Inc., Internal Report. 130p.
- Annan, A. P., Cosway, S. W. & Redman, J. D., 1991. Water table detection with ground penetrating radar. In: *International Congress of Society of Exploration Geophysical*, 61, 1991, Houston. *Expanded Abstracts*, Houston: SEG, p.494-496.
- Beres, M., Haeni, F. P., 1991. Application of ground penetrating radar methods in hidrogeologic studies. *Ground Water*, 29 (3): 375-386.
- Harari, Z., 1996. Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *Journal of Applied Geophysics*, 36: 43-52.
- Marcelino, T. H., 2003. *Estudo da profundidade do lençol freático no interior de uma mata de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, no Município de Sinop, MT*. Monografia de Conclusão de Curso de Geologia, ICET/UFMT, Cuiabá, 145p.
- Porsani, J.L., 1999. *Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológicos-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado - SP*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro - SP, 145p.
- Silva, G.H., Leal, J.W., Montalvão, R.M., Bezerra, P.E., Pimenta, O.N. dos S., Tassinari, C.C.G., Fernandes, C.A.C., 1980.

- Geologia. *In Projeto RADAMBRASIL*, Folha SC 21 Juruena. Rio de Janeiro. p.75-76.
- Topp, G.C., Davis, J.L. & Annan, A. P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16(3): 574-582.
- Van Dam, R. L., *Causes of ground-penetrating radar reflections in sediment*. Amsterdam: Vrije Universiteit, Faculty of Earth Sciences, Doctoral Thesis, 110p.
- Vourlitis, G. L., Priante Filho, N., Hayashi, M. M. S., Nogueira, J. de S., Campelo Junior, J. H. (2002) Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. *Water Resource Research*, 38: 6

RECEBIDO EM 04/07/2003
ACEITO EM 13/09/2005

