

Estudo das águas subterrâneas em uma bacia hidrográfica localizada no município de Varre-Sai - RJ com uso do GPR (georadar)⁽¹⁾.

Magno Grativol Peixoto⁽²⁾; Marco Antônio Rodrigues de Ceia⁽³⁾; Vicente de Paulo Santos de Oliveira⁽⁴⁾; Aline Damasceno de Azevedo⁽⁵⁾; Marcio Rocha Francelino⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Fluminense, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; e Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

⁽²⁾ Engenheiro florestal do Instituto Estadual do Ambiente e mestrando em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Macaé, RJ, e-mail: magno_grativol@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Professor Associado da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil; ⁽⁴⁾ Professor de Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Brasil; ⁽⁵⁾ Coordenadora Técnica do Reserva Ecológica de Guapiaçu RJ, Brasil; ⁽⁶⁾ Professor Adjunto da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo realizar estudo das águas subterrâneas em uma bacia hidrográfica localizada no município de Varre-Sai - RJ, utilizando para tal fim o georadar (GPR). Teve-se como objetivos específicos: avaliar a profundidade do lençol freático; comparar o comportamento do lençol freático nas diferentes áreas estudadas; e identificar os diferentes horizontes presentes no solo. Para aquisições do GPR foram feitas 8 linhas de varredura. Essas linhas se distribuíram em duas vertentes e em uma área de várzea. O uso do GPR permitiu mapear a profundidade do lençol freático na área de várzea, entretanto não houve sucesso nas áreas de vertentes. As correlações com dos dados dos poços de observações, descrição morfológica de solos, bem como a análise integrada da paisagem foram essenciais nas interpretações dos resultados. Em alguns pontos os fatores antrópicos, o tipo de solo, alto teor de argila, zonas com alto teor umidade e a topografia limitaram a resolução do GPR.

Termos de indexação: lençol freático, solos, geofísica

INTRODUÇÃO

As investigações na relação água e solo são estudos essenciais para subsidiarem obras de engenharia, projetos agrícolas e de captação de água ou qualquer tipo de atividade que tenha impacto significativo no meio ambiente.

Nesses tipos de estudo as técnicas geofísicas de superfície vêm tendo uma posição de destaque, já que permite a obtenção de informações contínuas sobre as propriedades físicas e químicas da superfície, tanto em profundidade quanto em extensão lateral, de forma contínua, não invasiva e rápida. Dentre as técnicas geofísicas disponíveis, o GPR (*ground penetrating radar*) ou Georadar produz a mais alta resolução de informações da subsuperfície (Souza, 2005).

O funcionamento do GPR está baseado na emissão e recepção de ondas eletromagnéticas de altas frequências (1 MHz a 2,5 GHz) pelas antenas transmissoras e receptoras (Rodrigues & Porsani, 2006)

Nessa linha, o objetivo geral desse trabalho foi realizar um estudo das águas subterrâneas em uma bacia hidrográfica experimental localizada no município de Varre-Sai RJ, utilizando para tal fim o GPR. Tem-se como objetivos específicos: avaliar a profundidade do lençol freático; comparar o comportamento do lençol freático nas diferentes áreas estudadas; identificar os diferentes horizontes presentes no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica experimental estudada possui uma área total de 88,5 hectares, localizada no Município de Varre-Sai, Noroeste do Estado do Rio de Janeiro (**Figura 1**). O local está localizado entre as coordenadas UTM Fuso 24K mín. E: 198.185 e máx. E: 199.400 m, e mín. N: 7.681.600 e máx. N: 7.682.620 m datum SIRGAS 2000.

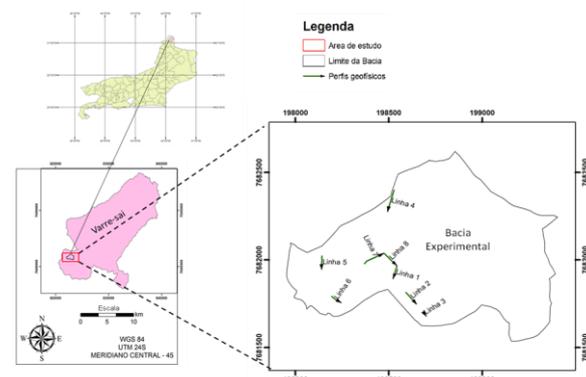


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica experimental com linhas de varredura (perfis geofísicos).

Para aquisições do GPR foram feitas 8 linhas de

varredura. Essas linhas se concentraram em duas vertentes, uma localizada na face sudeste e outra do lado oposto na face noroeste no terço distribuídas no terço superior, médio e inferior das vertentes de cada uma delas, além de uma pequena zona de várzea inserida na parte mais baixa da bacia.

Para cada parte dividida foi realizada uma linha de varredura, sendo as linhas 1, 2 e 3 na vertente sudeste e as linhas 4, 5 e 6 na vertente noroeste. Já na área de várzea foram realizadas duas linhas de varreduras: a linha 7 no sentido sudoeste para noroeste; e a linha 8 no sentido noroeste para sudeste.

Nesse estudo foi utilizado o GPR da GSSI (*Geophysical Survey System Inc.*) modelo SIR-3000, equipado com uma antena de frequência central de 200 MHz blindada. O levantamento realizado foi o mono-estático com o tipo de aquisição *zero-offset* (afastamento nulo).

Com finalidade de auxiliar na interpretação e obter maior confiabilidade dos resultados foram abertos 7 perfis (P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7) de solo próximos as linhas de varreduras e instalados 2 poços de observação (Po1 e Po2) na área de várzea. Cada perfil de solo foi descrito segundo as normas e definições de Santos *et al.* (2005), tendo como foco as principais propriedades que podem ser relacionadas com a avaliação radargramétrica, como realizado por Ucha *et al.* (2002). Posteriormente, os perfis foram classificados de acordo com os critérios adotados pela Embrapa (2006).

Para a conversão do tempo (nanosegundos) para profundidade (metros) foi utilizado a metodologia testada com sucesso por Hinkel *et al.* (2001) onde a calibração é feita utilizando-se de um refletor com profundidade conhecida. Posteriormente velocidade foi calculada através do método consagrado por Davis e Annan (1989).

O processamento e interpretação dos dados foram realizados nos programas *Gradix* e *SeisView 2*. Na fase de processamento dos dados realizaram-se as seguintes etapas: correção geométrica; correção para tempo zero (*time to zero*); análise espectral e aplicação do filtro temporal. Para correção topográfica, utilizou-se a base de dados do trabalho Vieira *et al.* (2005), com curvas de nível a cada metro. Utilizando o *software Arcgis 9.3*, foi gerando um Modelo Digital do Terreno – MDT com malha triangular irregular, que representa melhor definição do terreno. Esse modelo também auxiliou a identificar algumas características na paisagem que se mostraram essenciais na interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características morfológicas e hidrogeológicas

Os perfis de solo P1, P2, P3, P5, P6 e P7, distribuídos ao longo das duas vertentes, foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo – SIBCS (Embrapa, 2006) como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico. Nestes, a característica morfológica mais relevante relacionada à avaliação radarmétrica foi à textura. Os perfis P1, P2, P3 e P5 foram classificados como a textura predominantemente média/argilosa, o perfil P6 como argiloso e o perfil P7 argiloso/muito argiloso de acordo com Triângulo de Classe Textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. De modo geral, constatou-se através da análise granulométrica realizada, que houve um incremento de partículas finas (silte e argila) nos horizontes mais profundos, contudo sem a ocorrência de mudança textural abrupta. Fato este, que acabou influenciando diretamente na interpretação dos resultados obtidos com GPR.

O perfil P4, realizado na zona de várzea, foi descrito como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico de acordo com SIBCS (Embrapa, 2006), com a presença de 9 horizontes. A percentagem de partículas (areia, silte e argila) foi distinta dos demais perfis (P1, P2, P3, P5, P6 e P7), sendo este enquadrado na classe média.

No momento das aquisições dos dados com GPR, foi obtida a profundidade do nível freático para os poços observação Po1 e Po2, sendo essa medida de 1,70 m e 1,98 m respectivamente.

Análise dos radargramas

Os resultados obtidos através do GPR nas vertentes mostraram que não foi possível obter uma resposta satisfatória para investigações em subsuperfície. O solo argiloso e zona rasa de interferência acabam tornando os dados confusos e difíceis de serem interpretados (Davis & Annan, 1989; Fisher *et al.*, 1992). Com exceção da linha 6 que ultrapassou um pouco o limite do terço inferior e pegou parte da zona de várzea, todas as demais linhas, apesar de haver alguns refletores, na sua grande maioria descontínuos, não foi possível correlacioná-los com os dados obtidos nos perfis de solo.

A ausência de correlação pode ser explicada, em parte, por limitações do equipamento para estudos realizados em solos com alto teor de argila, uma vez que em terrenos eletricamente condutivos a penetração torna-se mais baixa, as ondas sofrem maiores atenuações, e as reflexões acabam sendo prejudicadas. (Davis & Annan, 1989).

No radargrama obtido na área de transição entre o terço inferior e um pouco da várzea (linha 6) foi verificada presença de um refletor contínuo, horizontal e de alta amplitude entre a profundidade de 1,5 m (cota = 779,5 m) a partir da distância de 20 m (**Figura 2**). Apesar de não existir um poço de observação nesta linha, foi observado um padrão de imagem semelhante à linha 7 (descrito a seguir), apresentando linhas de contrastes bem mais claras e nítidas que as demais linhas estudadas, o que permite afirmar que esse refletor representa o lençol freático. Contudo, no início desta linha, devido ao efeito do relevo, este refletor não existe, ou seja, o GPR conseguiu mapear o lençol freático ao longo da área de várzea, porém à medida que houve um incremento na topografia, aumentando a diferença entre a superfície e nível de água, este refletor contínuo horizontal foi desaparecendo. Esse fato está ligado à limitação do método, que tem como princípio a investigações geofísicas rasas.

Um detalhe interessante, observado neste radargrama, foi à presença de uma bifurcação entre refletores de alta amplitude próximo a distância de 30 m. Nesse local, existe um primeiro refletor contínuo próximo à faixa de 150 ns e um segundo refletor mais profundo, próximo à faixa de 200 ns. Pelo padrão dos refletores horizontais analisados ao longo da área plana, acredita-se que o refletor mais profundo seja a continuação do nível freático. Já o refletor mais próximo à superfície, por apresentar algumas descontinuidades descendentes, seja uma zona de baixa permeabilidade, acarretando um forte contraste em relação à umidade acima.

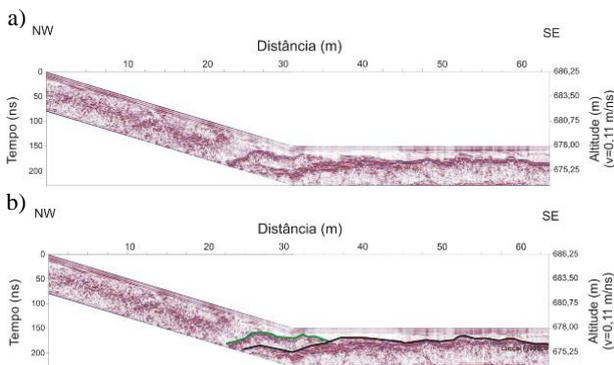


Figura 2: a) Imagem obtida com GPR linha 6 com antenas de 200 MHz; b) A mesma imagem interpretada. A linha em verde representa a zona retenção de umidade. A linha em preto é nível do lençol freático interpretado.

Na linha 7 (**Figura 3**), situada na zona de várzea sentido NW-SE, foi observado um refletor contínuo e horizontal que se encontra a uma profundidade de 1,7m (31 ns) no início da linha e aumenta até chegar

a 2,0 m (36 ns) no final, o que indica o topo do nível de água. Entretanto, analisando o radargrama percebe-se que para distâncias de 40 a 80 m há uma zona conturbada com a presença diversas anomalias. A explicação desse fato pode estar relacionada com o fator topográfico da paisagem acima desta linha. Analisando o MDT gerado, observa nitidamente que essa faixa coincide exatamente abaixo de uma face que apresenta conformação côncava. Este tipo de conformação topográfica é responsável por maior retenção de umidade, sendo também uma zona preferencial de escoamento de água. De acordo com Gonzáles (2002), os ventos escoam em trajetórias de correntes perturbadas descarregando umidade a barlaventos com orientação côncava. Nessa faixa, a umidade no solo modificou o padrão de reflexão de onda eletromagnética, prejudicando a detecção do nível freático, como demonstrado no caso estudado por Marcelino *et al.* (2005). A velocidade de propagação obtida através do método descrito Hinkel *et al.* (2001) e Davis e Annan (1989), considerando o N.A (nível de água) dos poços Po1 e Po2 como refletores de profundidade conhecida foi de 0,11 m/ns.

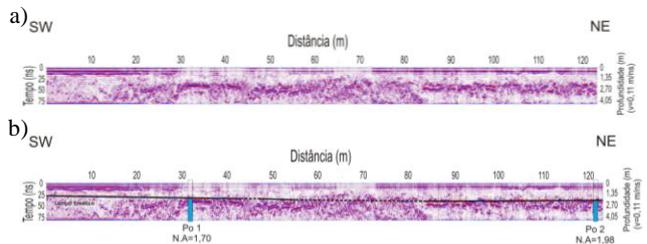


Figura 3: a) Imagem obtida com GPR linha 7 com antenas de 200 MHz. b) A mesma imagem interpretada com as medições dos poços de observação. A linha em preto é nível do lençol freático interpretado. A linha tracejada indica as zonas conturbadas.

A linha 8 (**Figura 4**) foi realizada perpendicular as duas vertentes sentido SW-NE, na zona de várzea que as interliga. O radargrama obtido neste local também apresentou um refletor de alta amplitude, contínuo e horizontal na profundidade de 2 m (36 ns), mantendo assim, o padrão encontrado na linha anteriores (linhas 6 e 7). Esse refletor acompanha o pequeno desnível topográfico do terreno. Um detalhe interessante observado foi à presença de uma zona anômala próxima à superfície na distância de 32 m. Esse refletor descendente representa estrutura de alvenaria sobre um curso d'água, composto por pedras e concreto em formato trapezoidal, onde existe uma pequena canalização. A partir dessa faixa, há uma diferença no padrão de exibição, sendo atenuado o refletor do nível freático

por anomalias mais próximas à superfície, como ocorrido na linha 7. A explicação desse fato está relacionada à proximidade de uma área mal drenada, logo abaixo de dois açudes presentes no local, onde se percebe visualmente o solo pouco permeável. Este evento resultou num aumento de umidade no solo, dificultando a detecção do topo do lençol freático. A velocidade de propagação nessa linha também é 0,11 m/ns.

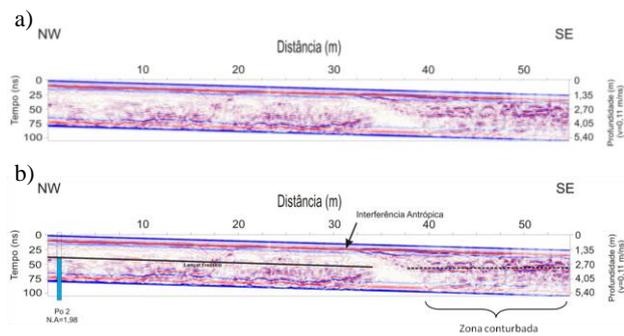


Figura 4: a) Imagem obtida com GPR linha 8 com antenas de 200 MHz. b) A mesma imagem interpretada e com a medição do poço de observação. A linha em preto é nível do lençol freático interpretado. A linha tracejada indica as zona conturbada.

CONCLUSÕES

Como GPR capta as principais anomalias presentes no meio de estudo, verifica-se que a água aumentou a condutividade do meio, produzindo refletores de altas amplitudes, contínuos e horizontais, o que permitiu mapear a profundidade do lençol freático na área de várzea da bacia experimental. Entretanto, como esse equipamento tem como princípio as aquisições geofísicas em profundidade rasa, não é possível observar esse mesmo refletor nas linhas realizadas nas vertentes.

As correlações dos dados obtidos com GPR com os dos poços de observações, perfis e descrição morfológica dos solos, bem como a análise integrada da paisagem utilizando o modelo digital do terreno (MDT) mostra-se essencial nas etapas de correções e interpretações dos resultados;

Aspectos antrópicos, o tipo de solo, alto teor de argila, zonas com alto teor umidade e a topografia prejudica de forma significativa o mapeamento do lençol freático, assim como a identificação dos horizontes do solo nas linhas varredura analisadas visto que tais fatores limita a resolução do GPR, o que, de certo modo, constata algumas fragilidades desse método.

REFERÊNCIAS

DAVIS J.L & ANNAN A.P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 531-551, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FISHER, E.; MCMECHAN, G.A. & ANNAN, A.P. Acquisition and processing of wideaperture ground penetrating radar data. *Geophysics*, 57: 495-504, 1992.

GONZÁLES, J. Monitoring cloud interception in a tropical montane forest in a south-western Colombia Andes. *Advanced Environmental Monitoring and Modelling*, 1: 97-117, 2000.

HINKEL, K. M.; DOOLITTLE, J. A.; BOCKHEIM, J. G.; NELSON, F. E.; PAETZOLD, R.; KIMBLE, J. M. & TRAVIS, R. Detection of subsurface permafrost features with ground penetrating radar, Barrow, Alaska. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2: 179-190, 2001.

MARCELINO T. H.; SHIRAIWA S.; BORGES W. R.; FILHO N. P. & RAITER F.; GPR para a verificação do nível d'água subterrânea em transição floresta Amazônica e Cerrado. *Acta Amazonica*, 35, 367-374, 2005.

RODRIGUES, S. & PORSANI, J. L. Utilização do GPR para caracterizar tambores plásticos enterrados no sítio controlado de geofísica rasa do IAG/USP. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24:1-12, 2006.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C. & ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92 p

SOUZA M. M. Uso do Georadar (GPR) em investigações ambientais. 2005 120f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

UCHA, J. M.; BOTELHO, M.; VILAS BOAS, G. S.; RIBEIRO, L. P. & SANTANA, P. S. Uso do radar penetrante no solo (GPR) na investigação dos solos dos tabuleiros costeiros no litoral norte do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 373-380, 2002.

VIEIRA, E. M. ; ZANETTI, S. S. ; ALMEIDA, F. T. ; OLIVEIRA, V. P. S. & ALVES, M. G. . Análise comparativa de MDT e MDTHC para elaboração de mapas de bacias de contribuição. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Macaé, 2005. Anais. Macaé: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2005. p.1-6.