



**P**  
**ARA DESENVOLVER  
A TERRA**  
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS  
DE GEOCIÊNCIAS  
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,  
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,  
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.  
& Ivo Alves, E.

Coordenação

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE HUMIDADE SUPERFICIAL  
DE UM SOLO GRANÍTICO USANDO O VALOR  
DA AMPLITUDE DO SINAL DO GPR

SURFACE MOISTURE ESTIMATION OF A GRANITIC SOIL  
FROM AMPLITUDE ATTRIBUTE OF GPR

J. P. Azevedo<sup>1</sup>, J. D. Oliveira<sup>1</sup>, B. S. Pereira<sup>1</sup>, F. Fernandes<sup>2</sup> & T. Mota<sup>3</sup>

**Resumo** – Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos em experiências controladas numa parcela de terreno granítico, realizadas com o GPR (*Ground Penetrating Radar*) e com o intuito de verificar a capacidade desta técnica em detectar variações superficiais de humidade. Este trabalho focou-se essencialmente na avaliação da capacidade do GPR em obter dados oriundos da reflexão da onda eletromagnética na superfície do solo para determinar possíveis correlações entre as variações da amplitude do sinal e a taxa de humidade presente na camada mais superficial. Ao equipamento de GPR usado foi acoplado uma antena com uma frequência central de 800 MHz. Foram efetuados perfis de GPR em vários períodos climáticos distintos e, simultaneamente, foram realizadas medições do teor de humidade usando o sensor de humidade *TethaProbe* ML2x, com o objetivo de comparar os valores de amplitude do sinal refletido pela superfície com os teores de humidade medidos com o sensor. Os resultados apontam para a existência de uma correlação entre os valores da amplitude e a humidade no solo.

**Palavras-chave** – GPR, amplitude, teor de humidade, solo

**Abstract** – *This paper presents the results obtained in controlled experiments conducted on a parcel of granitic soil with GPR (Ground Penetrating Radar) equipment in order to verify the capability of this technique to detect variations in surface moisture. This work focused*

---

<sup>1</sup> Edifício IEMinho - Lugar de Casal 4730-575 Soutelo - Vila Verde; geral@sinergeo.pt

<sup>2</sup> Universidade Lusíada - Largo Tinoco de Sousa 4760-108 VNF; francisco.fernandes@fam.ulusiada.pt

<sup>3</sup> Departamento de Experimentação da EVAG - CVRVV Campos Lima 4970-249 Paçô AVV; tmota@vinhoverde.pt

primarily on assessing the ability to obtain data from the reflection of the electromagnetic wave on the soil surface to verify possible correlations between variations in the signal's amplitude and the moisture content in the outermost layer. The GPR equipment used was coupled with an antenna of 800 MHz of central frequency. Profiles were made with the GPR equipment in different time periods and, simultaneously, the moisture content was measured using the humidity sensor TethaProbe ML2x, in order to compare the values of amplitude of the signal reflected by the surface with the values measured with the moisture sensor. The results indicate the existence of a correlation between the signal's amplitude and the moisture content within the soil.

*Keywords* – GPR, amplitude, surface moisture, soil

## 1 – Introdução

A capacidade de obter valores de taxas de humidade sobre grandes áreas é fundamental em diversas aplicações agrícolas, hidrogeológicas e ambientais. Por outro lado e tomando a cultura da vinha como uma aplicação agrícola importante, a gestão racional da rega em terrenos vitícolas e o conhecimento do volume de água no solo (VAS) disponível durante todo o processo de crescimento da videira e maturação da uva é fundamental para a qualidade do fruto produzido.

Nesse sentido, o projeto AGROCONTROL, cofinanciado pelo “ON.2 – O Novo Norte” e QREN através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), tem por objetivo estudar metodologias alternativas, para a determinação do conteúdo de água no solo, nomeadamente, o rastreio de vastas áreas de cultivo de vinha utilizando o radar de penetração geotécnica (ou *ground penetrating radar*, vulgo GPR).

Para calcular o teor de humidade presente no solo são comumente utilizados métodos baseados na leitura da resistividade eléctrica em sensores enterrados em diferentes pontos e a diferentes profundidades; métodos gravimétricos, entre outros, ou métodos indiretos através do estado hídrico da planta (potencial hídrico foliar ou do ramo; temperatura das folhas ou do coberto; variação do diâmetro do tronco, fluxo de seiva). Apesar da elevada precisão desses métodos, acabam por ser muito morosos, e devido ao seu carácter pontual, são geralmente limitados a pequenas áreas e avaliados por amostragem. Realça-se também que estes métodos são invasivos, pontuais e, por isso, só aplicáveis com limite espacial. Ora, para monitorizar grandes áreas ocupadas por vinhas (e outras culturas), são necessárias técnicas e métodos que permitam mapear rapidamente essas áreas, com precisão compatível com o tipo de dados necessários e de maneira totalmente não destrutiva, possibilitando a repetibilidade destes ensaios sem perda de precisão.

O GPR é uma técnica geofísica que usa energia electromagnética (ondas rádio) para mapear o subsolo. A energia electromagnética emitida é transmitida para o solo, sendo modificada, e parcialmente reflectida, pelos contrastes na interface entre os diferentes materiais presentes no subsolo. Estes contrastes dependem das propriedades desses materiais, nomeadamente, a permissividade eléctrica ( $\epsilon$ ), ou constante dieléctrica ( $\epsilon_r$ ), e permeabilidade magnética ( $\mu$ ), cujos valores modificam a amplitude e a velocidade de propagação

das ondas emitidas. O VAS está relacionado com esses parâmetros, que são obtidos através de diferentes metodologias de ensaios.

Na banda de frequências usadas pelo GPR, a velocidade de propagação da onda electromagnética (EM) é principalmente determinada/afectada pela constante dielétrica,  $\epsilon_r$ , a qual possui valores próximos de 80 para a água, entre 3 e 10 para os principais minerais constituintes do solo, e 1 para o ar (ANNAN, 1998 *in* PAIXÃO, 2006).

## 2 – Materiais e métodos

A determinação da variação do VAS através do GPR pode ser realizada recorrendo a diferentes métodos, sendo cada um caracterizado por diferentes equipamentos, processos e dados obtidos (CHARLTON, 2000; HUISSMAN *et al.*, 2003; LUNT *et al.*, 2005). No âmbito deste projeto, o objetivo é obter informação qualitativa sobre o teor de humidade de modo fiável e expedito, dada a elevada área da parcela. Nesse sentido, a técnica selecionada para ser estudada foi a da “reflexão à superfície”, que se baseia na obtenção de perfis onde é registada a amplitude de reflexão do sinal na camada mais superficial do solo. Este método consiste em colocar uma antena a uma altura suficientemente elevada de modo que o sinal de onda direta seja distinto do sinal da reflexão da superfície do solo (DANIELS, 2004). A Fig. 1 ilustra o protótipo destinado a manter a antena a uma determinada distância acima do solo e a permitir percorrer rapidamente longas extensões bem como a localização geográfica da parcela.



Fig. 1 – Protótipo usado no trabalho de campo com a antena acoplada a 40 cm do solo e localização geográfica da parcela.

Os radar-gramas obtidos correspondem à “força da reflexão” do solo que depende do contraste entre as constantes dielétricas dos materiais geológicos investigados, bem como do ar e água. Enquanto a  $\epsilon_r$  do ar é 1, a do solo varia em função da sua mineralogia e em função do teor em água. Tendo em conta que a  $\epsilon_r$  da água é de 81, torna-se evidente que um solo seco terá uma constante dielé-

trica muito menor que um solo saturado. Consequentemente, um solo molhado irá refletir mais energia que um solo seco resultando, respectivamente, numa amplitude maior e menor.

Os resultados preliminares apresentados neste trabalho foram obtidos numa parcela de vinha - vinhão, na Quinta Campos Lima, localizada no concelho dos Arcos de Valdevez. Do ponto de vista litológico, o terreno corresponde a um solo residual granítico, com densidade média de  $1.14 \text{ g/cm}^3$  e porosidade média  $0.56 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , típica de solos ricos em matéria orgânica. Apresenta um elevado grau de meteorização (alteração física e química) com espessura variável. A parcela apresenta uma topografia ligeiramente inclinada para Sul, correspondendo o ponto mais elevado a uma altitude de 81 m e o ponto mais baixo a uma altitude de 69 m. As videiras estão plantadas com um espaçamento médio de 2 m e estão conduzidas em bardos com 3 m de separação.

As medições foram realizadas numa extensão de 24 metros, no centro da parcela entre 2 bardos evitando graus de compactação elevados devido à passagem dos veículos agrícolas. Foi utilizada uma antena de 800 MHz, operada a uma distância acima do solo de 40 cm, cujo espaçamento entre o transmissor e o receptor é fixo (14 cm). O intervalo entre os pontos de aquisição é de 0,2 m, o que representa cerca de cinco traços de radar-grama por metro e uma janela temporal de 10 ns (tempo de leitura).

Foram realizadas quatro campanhas de campo para obter informações sobre as condições de humidade do solo, em períodos climáticos distintos. As primeiras 3 campanhas decorreram no dia 8, 16 e 23 de setembro de 2011, e procurou-se detectar variações temporais e espaciais de humidade sobre condições naturais de solo, particularmente durante o período estival. A última campanha de campo realizou-se no dia 28 de outubro correspondendo a um período climático mais húmido e após os primeiros dias de precipitação do outono. Foram medidos os valores do teor de humidade do solo, com o sensor *ThetaProbe (Soil Moisture sensor Type ML2x)* ao longo do mesmo perfil para comparação com os valores da amplitude do sinal da onda refletida pela superfície do solo.

Os radar-gramas adquiridos foram posteriormente processados com *software* especializado. Este processamento teve como finalidade a aquisição dos valores das amplitudes do sinal para comparação com os valores obtidos com o sensor de humidade.

### 3 – Resultados e discussão

Para obter valores de teor de humidade natural do solo, para comparação com os dados de GPR, foram efetuadas medições com recurso ao sensor *TethaProbe* ao longo da mesma perfilagem e com um espaçamento constante de 2 metros (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de humidade no solo em percentagem obtidos com o *ThetaProbe*.

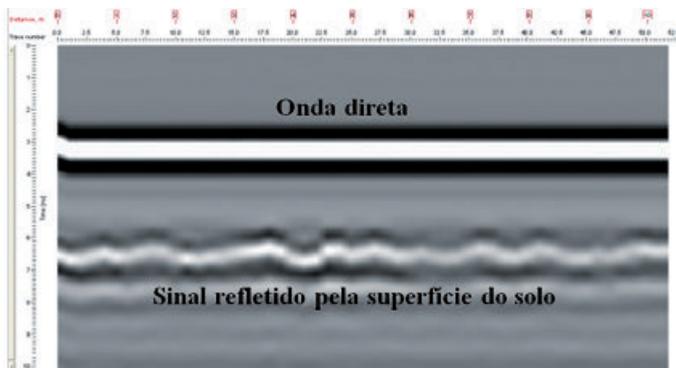
Posição (m)	Data			
	08-09-2011	19-09-2011	23-09-2011	28-10-2011
0	8.2	3.7	3	21.4
2	7.1	5.8	3	20.9
4	10.3	6.7	3	26.5
6	6.1	7.3	3.7	21.9
8	11.3	7.7	5.8	26.0
10	14.4	9.6	5.8	20.4
12	12.8	8.5	5.7	21.6
14	9	8.2	4.4	26.5
16	13.5	7.6	3.6	27.5
18	11.9	9.7	5.7	27.1
20	14.7	9.4	5.2	29.9
22	8.4	7.8	4.4	27.6
24	12.6	7.5	3.9	25.2

Relativamente aos resultados de amplitude do sinal registados com o GPR, surgiram inicialmente vários problemas, tais como: a) o impacto da rugosidade do terreno, (b) a definição da altura da antena acima da superfície do solo, (c) o efeito causado pelo coberto vegetal e (d) a definição da configuração dos parâmetros do sinal da antena. Medições iniciais demonstraram que o coberto vegetal tinha um efeito negligenciável nos dados, enquanto a rugosidade do terreno tinha um impacto menor sobre a “quantidade” de reflexões recebidas durante as medições.

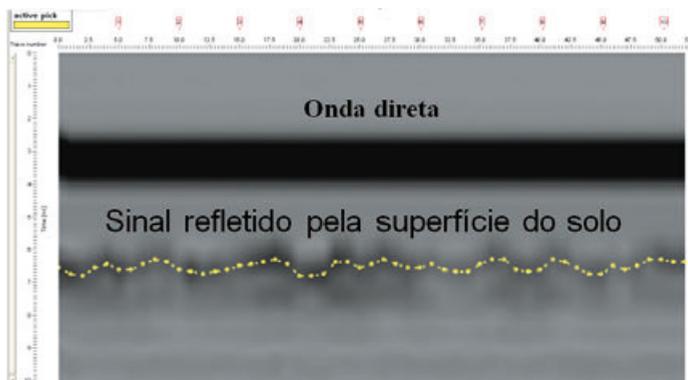
Depois de efetuada a calibração do equipamento, foi possível iniciar a aquisição de radar-gramas de forma sistemática, bem como a medição dos teores de humidade natural com o sensor *ThetaProbe*. A Fig. 2, ilustra um exemplo do tipo de dados de reflexão da superfície adquiridos com a antena de 800 MHz instalada no protótipo ilustrado na Fig. 1.



a)



b)



c)

Fig. 2 – Exemplos de radar-gramas registados com a antena de 800 MHz - a); após processamento através da filtragem de baixas frequências e determinação da “força de reflexão” - b); a linha amarela indica os picos de amplitude máxima do sinal - c).

O afastamento da antena relativamente ao solo permite diferenciar claramente o sinal da onda directa da onda reflectida (Fig. 2.a). Os dados do GPR foram processados utilizando dois filtros: *DC removal*, e *reflection strength* que traça, com precisão, as variações de amplitude ao longo das fronteiras de reflexão. A partir dos radar-gramas, e recorrendo a uma folha de cálculo, foi possível discriminar os valores de amplitude da onda reflectida pela superfície do solo.

Os resultados da amplitude da onda reflectida obtidos com a antena de 800 MHz demonstraram ser coerentes com os resultados medidos com o sensor de humidade apresentados na Tabela 1, ou seja, observa-se que em condições de solo mais húmido o valor da amplitude é maior do que em condições de solo mais seco (Fig 3). Verifica-se claramente uma diminuição do valor da amplitude do sinal sempre que há uma diminuição do teor de humidade medido com o sensor, sobretudo ao longo das três primeiras campanhas. Da mesma forma se verifica um incremento da amplitude do sinal obtido na última campanha em outubro. Nesse sentido, parece existir claramente uma relação entre o coeficiente de reflexão associado à interface ar-solo e humidade do solo. A relação aponta igualmente, que os coeficientes de reflexão expressos pela amplitude do sinal, são mais sensíveis às variações de humidade em intervalos menores (Fig. 4).

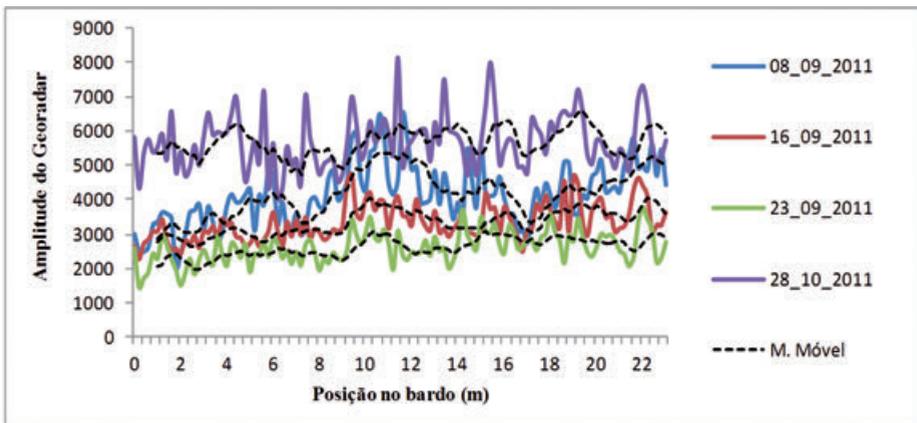


Fig. 3 – Variação espacial da amplitude do sinal da onda directa ao solo nas quatro campanhas efectuadas.

Adicionalmente, traçando o gráfico que relaciona todos os valores da taxa de humidade no solo obtidos com o sensor de humidade com o valor da amplitude do sinal registado por GPR, verifica-se que existe uma relação exponencial entre eles, o que sugere, como referido anteriormente, uma maior sensibilidade do equipamento GPR em relação a pequenas variações do conteúdo em humidade (Fig. 5). Esta conclusão é relevante pois estas pequenas variações de humidade são importantes para a evolução do fruto/da vinha, para além do facto que é precisamente na época estival que estas pequenas variações são importantes de identificar. Torna-se portanto promissora a aplicação desta metodologia (medições da humidade do solo a partir de reflexões da superfície).

Nesse sentido, parece possível atribuir a determinados valores de amplitude de sinal uma determinada percentagem de humidade. No entanto, verifica-se alguma dispersão nos dados, facto que resulta diretamente da sua escassez e do método de correlação ainda precisar de ser ajustado.

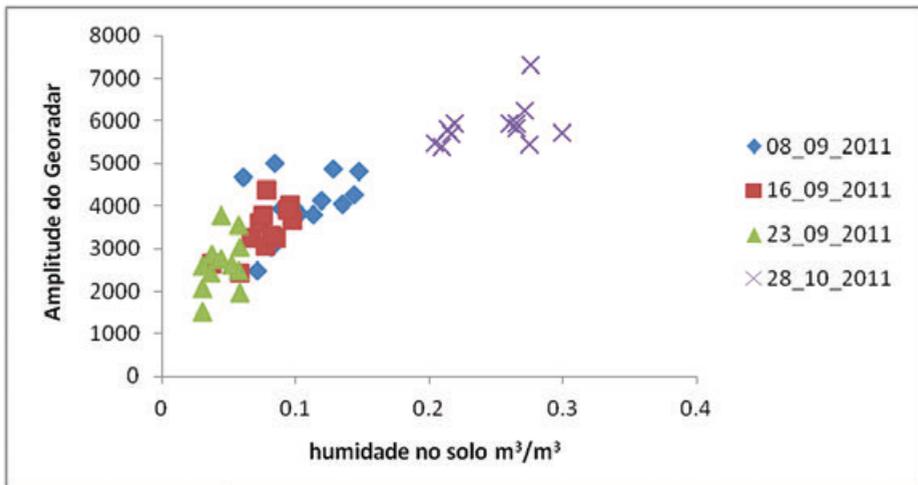


Fig. 4 – Relação entre a amplitude do Georadar e a humidade no solo.

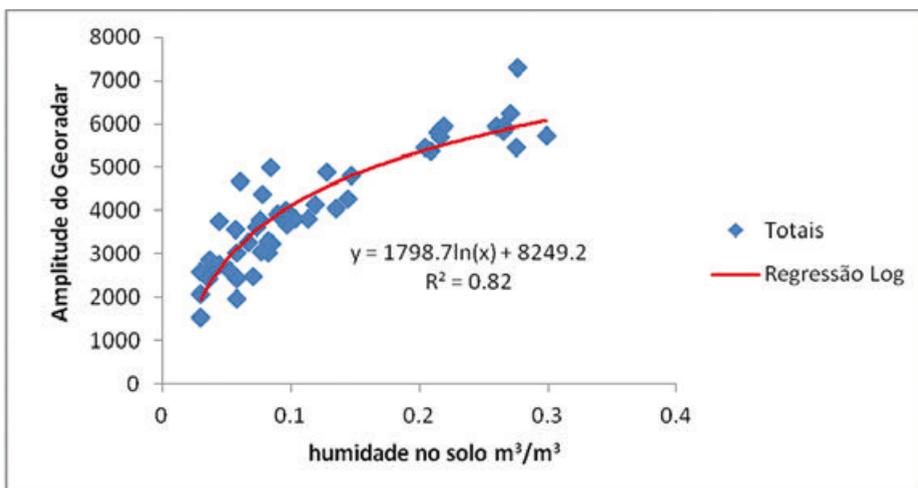


Fig. 5 – Relação exponencial entre a amplitude do Georadar e a humidade no solo.

#### 4 – Conclusões

Este estudo centrou-se na avaliação da utilidade e precisão do equipamento GPR na avaliação de variações superficiais de humidade a partir dos dados de amplitude das ondas reflectidas. Apesar de promissora, esta metodologia ainda não proporciona a precisão e robustez dos métodos tradicionais, que são muito morosos e posicionais em trabalho de campo. Os resultados mostram que foram obtidas importantes relações entre os valores registados pelo GPR através do método por reflexão à superfície e os valores obtidos pelo sensor de humidade *TethaProbe*. Verificou-se ainda existir uma diferença da

amplitude do sinal refletido, pela superfície do solo seco e solo molhado, mais acentuada quando o valor de humidade é baixo. Para estabelecer valores estatísticos mais fiáveis será necessário a realização de mais ensaios para obtenção de mais dados.

No entanto, ainda estão por aferir completamente alguns parâmetros, nomeadamente, qual a melhor altura para a realização deste ensaio tendo em conta o tipo de solo e a rapidez com que a água se evapora ou é absorvida, assim como a eficácia do equipamento em manter a reprodutibilidade de resultados em diferentes épocas do ano e para o mesmo tipo de solo. Mais estudos de campo serão necessários para determinar relações, sobretudo petrofísicas relacionadas com condições heterogêneas de campo, que atualmente limitam a adopção do GPR como ferramenta para determinação da taxa de humidade do solo.

### Referências Bibliográficas

- CHARLTON M. (2000) - Small Scale Soil-Moisture Variability Estimated Using Ground Penetrating Radar. *Proceedings of the Eighth International Conference on Ground Penetrating Radar, SPIE Vol. 4084*, p. 798-804.
- DANIELS, D.J. (2004) - "Ground Penetrating Radar – 2nd Edition." Radar, sonar, navigation and avionics series 15, IEE, London, UK, ISBN 0-86341-360-9, p. 726.
- HUISSMAN J., HUBBARD S., REDMAN J. & ANNAN A. (2003) - Measuring soil water content with ground penetrating radar: A review. *Vadose Zone Journal* Vol. 2, p. 476-491.
- LUNT I., HUBBARD S. & RUBIN Y. (2005) - Soil moisture content estimation using ground penetrating radar reflection data. *Journal of Hydrology* 307, p. 254-269.
- PAIXÃO M., PRADO M. & DIOGO L., (2006) - Análise do emprego do GPR para estimar o teor de humidade do solo a partir de um estudo na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geofísica*, p. 189-198.