

Espectrorradiometria laboratorial para estimativa da umidade de um Nitossolo

Magda Maria Zuleta Bonilla¹

Peterson Ricardo Fiorio¹

Juliano Araujo Martins¹

José Alexandre Melo Demattê¹

Jarbas Honório de Miranda¹

¹Universidade de São Paulo - USP/ESALQ

Avenida Padua Dias, 11, CEP: 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil

{magdazuleta, julianoaraujo3}@gmail.com, {fiorio, jamdemat, jhmirand}@usp.br

Abstract. Water constitutes the most important natural resource for the development of agriculture in the world, since new technologies to increase productivity of agricultural areas are dependent of their availability. There are various conventional methods for measuring soil moisture in the field, but some of them are destructive, time and personal consuming and most often do not allow the spatialisation of results. New technological tools have been used for characterization of soil properties quickly and inexpensively. Remote sensing is one where through equipment (sensors), we can assess and monitor soil moisture, and help in the areas of precision irrigation and precision agriculture. The aim of this study was to generate partial least squares regression models to access the soil moisture of a Nitosol using the spectral response, based on data measured by tensiometers in four depths. The experimental evaluation was performed in five periods, distributed into dry and wet period, realized every two months. With the present study it was possible to generate acceptable models for determination of soil moisture based on the field values measured by tensiometry, showing the potential of using techniques spectroradiometry in assessing soil moisture.

Palavras-chave: soil moisture, tensiometry, spectral curves, umidade do solo, tensiometria, curvas espectrais.

1. Introdução

A água constitui-se o recurso natural mais importante para o desenvolvimento da agricultura no mundo, uma vez que as novas tecnologias para aumento de produtividade das áreas agrícolas são dependentes da sua disponibilidade. O sistema água no solo é dinâmico, portanto, seu monitoramento é de importância fundamental na programação da irrigação, uma vez que o irrigador deve controlar o conteúdo de água no solo de modo a atender a necessidade das culturas.

Existem diferentes métodos convencionais para medir a umidade no solo em campo, entre os mais utilizados estão: amostragem gravimétrica, sonda de nêutrons, tensiômetros, psicrômetros. Segundo Vita Serman et al., (2006), os métodos atuais para determinação da umidade apresentam dificuldades do ponto de vista prático, principalmente em relação à dificuldade de automatização, alguns são métodos destrutivos, as leituras consomem tempo e pessoal e na maioria das vezes são métodos pontuais.

Atualmente, novas ferramentas tecnológicas vêm sendo utilizadas para a caracterização de propriedades do solo de forma rápida e com baixo custo, além de não ter limitações no número de amostras coletadas em relação ao tamanho da área de interesse. Técnicas de sensoriamento remoto vêm se tornando uma importante ferramenta para a avaliação e monitoramento dos recursos do solo em termos de informação de qualidade (MERMUT e ESWARAN, 2001). Esta tecnologia é capaz de estimar as propriedades do solo através de equipamentos (sensores) que registram a radiação refletida ou emitida por ele, gerando um novo dado que é interpretado, para fornecer informação útil (MOREIRA, 2011).

Esses registros podem ser coletados a nível terrestre (laboratório e campo), nível aéreo (aeronaves tripuladas ou não tripuladas) e orbital (satélites). Citando alguns exemplos, tem-se:

propriedades do solo (MELENDEZ-PASTOR et al., 2008; FIORIO e DEMATTÊ, 2009), umidade do solo (JACKSON e SCHMUGGE, 1989; JACKSON, 1984), óxidos de ferro (SELLITTO et al., 2009), teores de matéria orgânica (FOX e SABBAGH, 2002).

Nesse sentido, o sensoriamento remoto, pode auxiliar de maneira eficiente as áreas da irrigação de precisão e agricultura de precisão, onde conhecer a quantidade de água e sua variabilidade espacial é importante para incrementar de maneira eficientes as produções agrícolas. Com tudo, o objetivo do presente trabalho foi gerar modelos de regressão por mínimos quadrados parciais para determinação da umidade de um Nitossolo Vermelho Eutroférico a partir de dados obtidos por tensiômetros.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), 22°41’55’’ de latitude sul, 47°38’41’’ longitude oeste e altitude de 511m; na área experimental do Departamento de Engenharia Biossistemas, situada no município de Piracicaba-SP. O clima da região é classificado no sistema Koppen como Cwa, denominado subtropical úmido, com pluviosidade anual em torno de 1.257 mm, sendo o período seco o inverno, as médias de temperatura são 22° C no mês mais quente, 18° C no mês mais frio e média anual de 21,4° C. O solo estudado é um Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef) de acordo com a classificação brasileira de solos da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2006).

Foram instalados na área 24 tensiômetros para cada profundidade, instalados a cada 20cm de profundidade até a camada de 80cm, distribuídos numa área de 2112m², sendo que cada tensiômetro representava uma área de 88 m². Para calibração dos tensiômetros foram realizadas análises físico-hídricas do solo da área experimental para cada profundidade avaliada.

Foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo utilizando trado holandês em áreas próximas aos tensiômetros em cinco datas que foram: 19/08/2010, 20/10/2010, 15/12/2010, 20/02/2011 e 18/04/2011 onde nas mesmas datas foram realizadas as leituras dos tensiômetros. Inicialmente o banco de dados constava de 120 amostras para cada profundidade.

As amostras foram colocadas em sacolas plásticas e levadas o mais rápido possível ao laboratório para a leitura espectral, para isto foram acondicionadas em placas de petri com diâmetro de 9 cm. Os dados espectrais foram obtidos pelo aparelho FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo). Trata-se de um espectrorradiômetro com fibra ótica possuindo resolução espectral de 1 nm na faixa espectral de 350 a 1100 nm, e 2 nm de 1100 a 2500 nm.

O sensor foi colocado a 27 cm de altura das amostras de solo. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 650 W, com feixe não colimado para o plano visado, posicionada a 35 cm do recipiente amostral, com um ângulo zenital de 30 °. Como padrão de referência, foi utilizado uma placa branca de sulfato de bário considerada como padrão de 100% de reflectância. Dessa forma, a razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de uma amostra de solo e o fluxo radiante espectral refletido por um padrão de referência, iluminados e visados sob as mesmas condições geométricas, gera o “fator de reflectância bidirecional espectral”.

A partir do fator de reflectância bidirecional dos solos, são então obtidas as curvas espectrais dos solos. Para cada amostra analisada, foram efetuadas três leituras, sendo que o valor utilizado foi aquele obtido da média destas. No presente trabalho foram utilizados os

comprimentos de onda de 400 a 2440 nm, uma vez que as demais bandas apresentaram elevado grau de ruído, prejudicando a interpretação das curvas.

Para o tratamento dos dados e realização das análises estatísticas foi utilizado o software ParLes versão 3.1 (VISCARRA ROSSEL, 2008). Os dados foram pré-processados por metodologias consagradas em espectroscopia, visando corrigir possíveis erros e melhorar a estabilidade das análises. Primeiramente realizou-se a normalização do espectro com o processo de centralização em relação à média de reflectância das curvas. Posteriormente, para correção de possíveis erros devidos a não linearidade, os dados foram transformados em função da equação 1.

$$\text{Log} \frac{1}{R} \quad (1)$$

Em que:

R= reflectância

As novas curvas obtidas podem ser denominadas como absorbância aparente das amostras. As variações devido ao espalhamento da luz foram corrigidas utilizando a formula de variação normal padrão (SNV), para todos os atributos analisados.

Os modelos para predição da umidade do solo foram gerados por meio da análise de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). Esta metodologia é comumente utilizada em espectroscopia, por eliminar de forma mais eficiente erros devido a colinearidade entre variáveis, trabalhando com todos os comprimentos de onda, evitando desta maneira a perda de informações importantes. O método de regressão PLS é uma potente ferramenta de estimação do modelo de regressão linear, baseada na decomposição das matrizes de variáveis resposta e de covariáveis (MARTENS e NAES, 1989).

Foi utilizado o método de validação cruzada denominado “leave-one-out”, sendo selecionados os modelos que apresentaram o menor número de fatores (N.F), com maiores coeficientes de determinação (R^2), menores valores de raiz quadrada do erro médio (RMSE) definida pela equação 2 e maiores valores de desvio padrão do erro (RPD) definido pela equação 3 (WILLIAMS, 2001).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-m} \frac{(y_i' - y_i)^2}{n - m}} \quad (2)$$

Onde:

n = Número de amostras;

m = numero de amostras usadas para predição;

y_i' - y_i = Valores preditos e observados respectivamente.

$$\text{RPD} = \frac{\text{sd}}{\text{SEP}} \quad (3)$$

Sendo:

sd = taxa de desvio padrão dos dados analisados;

SEP = erro padrão da predição

Estes parâmetros são comumente utilizados para avaliação de técnicas de espectroscopia, na determinação da melhor correlação entre as variáveis independentes e respostas espectrais.

Os modelos gerados para determinação da umidade do solo foram posteriormente testados verificando sua capacidade de estimar o atributo para novas amostras, para isto foram selecionadas previamente 25% das amostras que não foram utilizadas na calibração do modelo sendo então comparados os dados preditos pelo modelo com os dados observados a campo através de tensiometria. Este processo, segundo Dardenne et al. (2000) fornece uma idéia mais otimista da real exatidão dos modelos criados.

A avaliação do desempenho dos modelos foi realizado com base no trabalho de Sayes et al. (2005), onde indicaram quatro faixas de satisfação para os valores de R^2 , sendo elas: 1. 0,50 e 0,65, com capacidade de discriminação entre altas e baixas concentrações do atributo; 2. 0,66 a 0,81, modelos de predição aceitáveis; 3. 0,82 a 0,90, modelos de predição bons; 4. Acima de 0,90 excelentes. Com relação aos valores de RPD Dunn et al. (2002) e Chang et al. (2001) sugerem que valores menores que 1,5 sejam insuficientes para a maioria das aplicações, valores entre 1,5 a 2,0 são considerados úteis e acima de 2,0 excelentes.

3. Resultados e discussão

A precipitação total ocorrida no período de avaliação do presente trabalho, totalizou 1.404 mm, sendo o primeiro decêndio de Janeiro o mais chuvoso com precipitação acima de 250 mm. Nos dois primeiros decêndios de Junho, três decêndios de Agosto e o segundo de Setembro, não ocorreram precipitações. As chuvas ocorridas nos meses de Dezembro de 2010 e Janeiro de 2011 corresponderam a 45% do total para todo o período de avaliação experimental (Figura 1). As avaliações de umidade foram realizadas durante o período de seca e o período chuvoso, o que permitiu observar variações significativas do teor de umidade do solo.

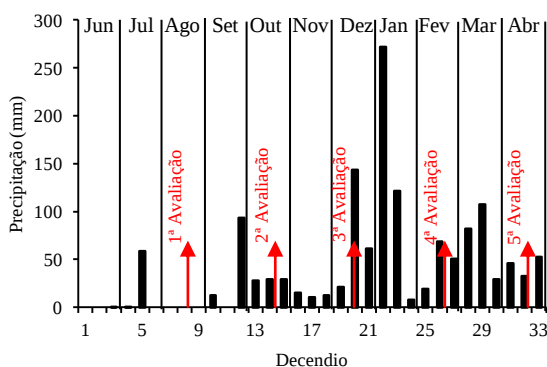


Figura 1. Precipitação decenal durante o período das avaliações experimentais.

Os modelos gerados para determinação da umidade do solo (Tabela 1) necessitaram em geral de baixo número de fatores PLS, variando de 5 a 7, este tipo de modelo é melhor aceito, por indicar que comprimentos de onda específicos estão sendo governados pela variação do atributo analisado (ZORNOSA et al., 2008). Neste caso específico as bandas que mais influenciaram na determinação da umidade do solo foram na região do visível e principalmente os comprimentos de onda próximos a 1900 nm.

Tabela 1. Parâmetro dos modelos gerados para determinação da umidade, utilizando a análise de regressão por mínimos quadrados parciais

Profundidade	N.F	RMSE	RPD	R²
0 a 20 cm	6	0.013	1.82	0.69
20 a 40 cm	7	0.011	1.88	0.71
40 a 60 cm	5	0.010	1.79	0.67
60 a 80 cm	5	0.011	1.74	0.66

N.F: número de fatores PLS; RMSE: raiz quadrada do erro médio; RPD: desvio padrão do erro; R²: coeficiente de determinação

A raiz quadrada do erro médio (RMSE) variou de 0.010 a 0.013 m³ de água; estes erros são pequenos, mas não representam a eficiência do modelo uma vez que as variações de umidade entre os tratamentos foram baixas. Mesmo assim os modelos gerados obtiveram valores de R² razoáveis, variando de 0.66 para a profundidade de 60 a 80 cm e 0.71 para a profundidade de 20 a 40 cm, o RPD alcançou valores entre 1,74 e 1,88 para as mesmas profundidades citadas anteriormente respectivamente. De acordo com os parâmetros encontrados na literatura para avaliação deste tipo de modelo, estes podem ser considerados como aceitáveis e úteis (SAYES et al., 2005; CHANG et al., 2001).

Na etapa de validação dos modelos (Figura 2), o desempenho destes foram muito próximos aos valores previamente observados na fase de calibração, com R² variando de 0.66 a 0.76 e RPD de 1.71 a 2.09. Estes valores são próximos aos encontrados por Ben-Dor e Banin (1995) utilizando análise de regressão múltipla para comprimentos de onda entre 1000 e 2500 nm com R² de 0,62; no entanto são inferiores a de estudos mais recentes, como pode ser citado o trabalho de Chang et al. (2001) com o emprego da análise de regressão por componentes principais para os mesmos comprimentos de onda utilizados neste trabalho alcançando R² 0,84.

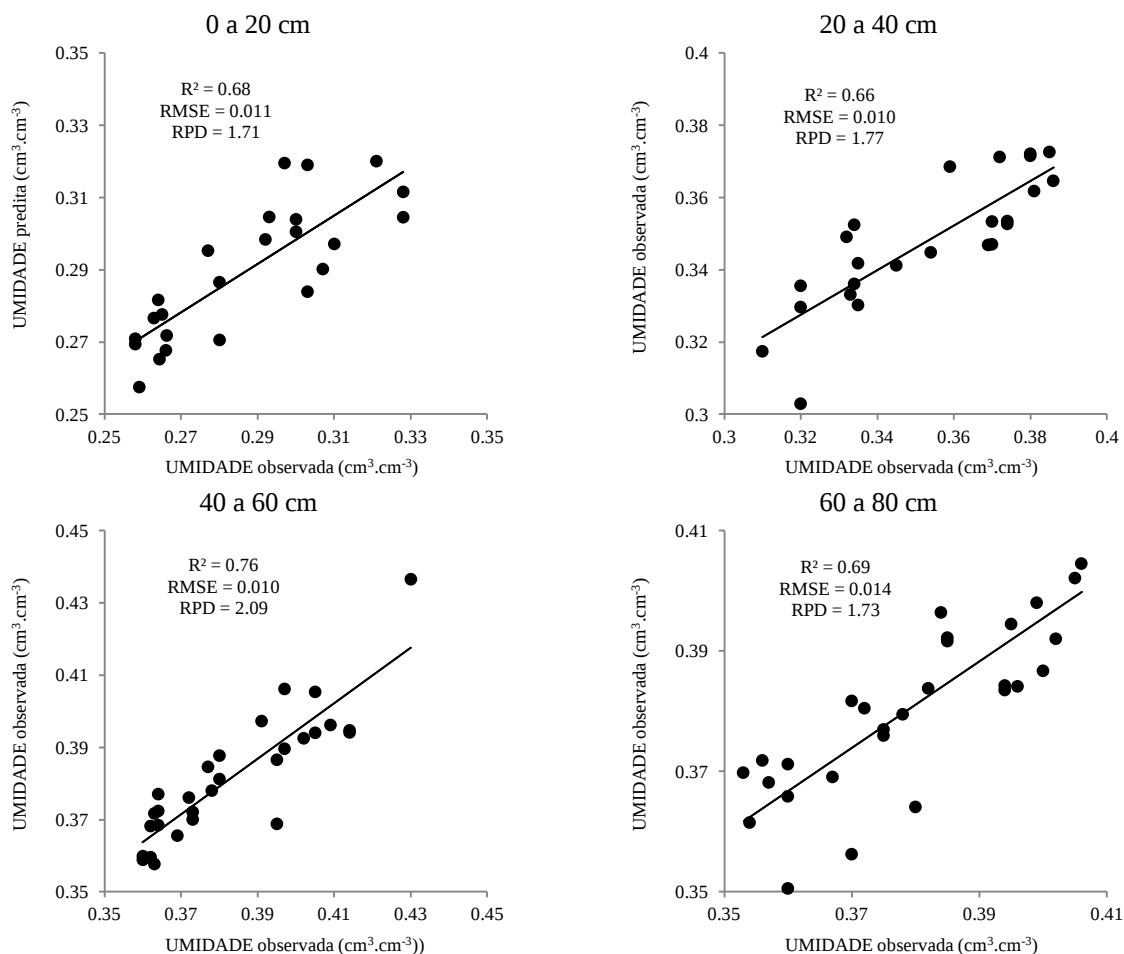


Figura 2. Validação dos modelos para determinação da umidade do solo nas diferentes profundidades

É evidente o potencial da utilização do sensoriamento remoto na determinação de umidade para o solo em estudo, uma vez que neste trabalho a calibração foi realizada com base em dados de umidade obtidos a campo por tensiômetros, podendo os erros para o modelo estar ligados neste caso, principalmente ao fato do local de leitura de umidade não ser o mesmo da coleta de solo, portanto novos estudos podem contribuir a melhoria destes modelos.

4. Conclusão

Foi possível a geração de modelos aceitáveis para determinação da umidade do solo tendo como base valores medidos a campo, por tensiometria, mostrando o potencial da utilização de técnicas de espectrorradiometria na avaliação da umidade do solo.

Agradecimentos

À FAPESP, pela concessão do auxílio à pesquisa (Processo nº 2010/16368-9 e 2010/00787-2) e aquisição do aparelho hiperespectral FieldSpec (Processo nº 2007-54976-8).

Referencias Bibliográficas

Ben-Dor, E.; Banin, A. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, v. 59, p. 364-372, 1995.

Chang, C.W.; Laird, D.A.; Mausbach, M.J.; Hurburgh, J.C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy principal components regression analysis of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 480-490, 2001.

Dunn, B.W.; Beecher, H.G.; Batten, G.D; Ciavarella, S. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine plain of south eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 42, p. 607-614, 2002.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

Fiorio, P.R.; Demattê, J.A.M. Orbital and laboratory Spectral data to optimize soil analysis. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 250-257, 2009.

Fox, G. A.; Sabbagh, G. J. Estimation of Soil Organic Matter from Red and Near-Infrared Remotely Sensed Data Using a Soil Line Euclidean Distance Technique. **Soil Science Societ of America Journal**, v. 66, 1922–1929.

Jackson, T. J. Passive Microwave Remote Sensing of Soft Moisture from an Aircraft Platform. **Remote Sensing of Environment**, v. 151, p. 135–151, 1984.

Jackson, T. J.; Schmugge, T. J. Passive Microwave Remote Sensing System for Soil Moisture: Some Supporting Research. **IEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 27, n. 2 p. 225-235, 1989.

Martens, H., Naes, T. **Multivariate calibration**. Chichester: John Wiley, 1989. 419 p.

Melendez-Pastor, I., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., & Koch, M. (2008). Identifying optimal spectral bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils. **Geoderma**, v. 147, 126–132, 2008.

Mermut, A.R.; Eswaran, H. Some major developments in soil science since the mid-1960s. **Geoderma**, v. 100, n 3, p. 403–426, 2001.

Moreira, A. M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Editora UFV. 2011. 422p.

Sayes, W.; Mouazem, A.M.; Ramon, H. Potential for onsite and online analyses of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. **Biosystems Engineering**, v. 91, p. 393-402, 2005.

Sellitto, V. M.; Fernandes, R. B.; Barrón, V.; Colombo, C. Comparing two different spectroscopic techniques for the characterization of soil iron oxides: Diffuse versus bi-directional reflectance. **Geoderma**, v. 149, p. 2–9, 2009.

VISCARRA ROSSEL, R.A. ParLeS: software for chemometric analysis of spectroscopic data. **Chemometrics Intelligent Laboratory Systems**, v. 90, p. 72-83, 2008.

Vita Serman, F.; Schugurensky, C.; Carrión, R.; Rodríguez, S. Evaluación del comportamiento de sensores de humedad de suelo del tipo (FDR) de desarrollo local, en relación al contenido de agua y a la textura de suelo. In: **Jornadas de actualización en riego y fertirriego**, 3., 2006, Mendoza. Anales... Mendoza: INTA, 2006.

Zornosa, R.; Guerrero, C.; Mataix-Solera, J.; Scow K. M.; Arcenegui, V.; Mataix-Beneyto, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 1923-1930, 2008.

Williams, P.C. Implementation of near-infrared technology. In: Williams, P.; Norris, K. **Near-infrared technology in the agricultural and food industries**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 2001. p. 145-169.