



Estimativa de atributos do solo por meio de espectrorradiometria difusa⁽¹⁾

Marcos Rafael Nanni⁽²⁾; Everson Cezar⁽³⁾; Marcelo Luiz Chicati⁽⁴⁾; Roney Berti de Oliveira⁽⁵⁾; Everton da Silva Neiro⁽⁶⁾; Carlos Antonio da Silva Júnior⁽⁷⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do CNPq.

⁽²⁾Professor; Universidade Estadual de Maringá - UEM; Maringá, Paraná; mrnanni@uem.br; ⁽³⁾Pós-doutorando; UEM; eversoncezar@yahoo.com.br; ⁽⁴⁾Professor; UEM; mlchicati@yahoo.com.br; ⁽⁵⁾Professor; UEM; roneyberti@yahoo.com.br;

⁽⁶⁾Estudante, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS; Mato Grosso do Sul; esneiro@gmail.com;

⁽⁷⁾Estudante; UEM; carlos-junior89@hotmail.com

RESUMO: Na área agrícola, a busca por métodos de quantificação de atributos físicos e químicos do ambiente de produção, baseados na reflectância do solo, tem sido pesquisada constantemente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de estimar os teores de silte, areia, argila, soma de bases (SB), matéria orgânica (MO) e ferro total em amostras de solo, a partir de sua energia refletida. As amostras foram coletadas em uma área de 2500 ha, localizada na região noroeste paranaense. As profundidades de amostragem foram de 0-0,2m e de 0,2 a 0,8m. Os pontos amostrados foram escolhidos com base em um grid de 500 m por 500 m, totalizando 100 pontos para ambos horizontes diagnósticos. As leituras espectrais foram obtidas em laboratório pelo sensor FieldSpec 3 JR. na faixa de 350 a 2500 nm. As curvas espectrais das amostras foram separadas em bandas e alturas, as quais relacionaram-se com cada atributo por meio de regressão linear múltipla. A espectrorradiometria difusa mostrou-se mais eficiente na estimação de areia, argila, soma de bases e ferro total e menos eficiente na estimação da matéria orgânica e do silte. Os resultados obtidos após a validação dos modelos mostraram que a espectrorradiometria difusa apresenta confiabilidade na estimativa de atributos dos solos.

Termos de indexação: Atributos dos solos, espectrorradiometria, regressão linear múltipla.

INTRODUÇÃO

O estudo dos solos, de um modo geral, tem como objetivo dar suporte ao uso mais eficaz dos mesmos tendo, como premissa básica, a manutenção da qualidade do ambiente. Assim, a determinação de seus atributos apresenta-se como base para o manejo em uma agricultura cada vez mais moderna e eficaz. No entanto, as técnicas atuais aplicadas em tais determinações são onerosas e demoradas, assim como descritas por Fiorio & Demattê (2009), além de gerarem um problema de ordem ambiental, uma vez que reagentes químicos utilizados nos tratamentos analíticos apresentam problemas de descarte tornando-se, desta maneira, um grande

problema para os laboratórios de análise. Desta forma, novas metodologias de determinação dos atributos do solo são necessárias. Neste contexto, insere-se o sensoriamento remoto, o qual tem sido considerado uma importante ferramenta nos mais diversos estudos relacionados à agronomia e, em particular, com a avaliação dos solos (Demattê et al., 2007).

A possibilidade de quantificação de atributos do solo por meio da curva espectral baseia-se na intensidade da curva, assim como nas absorções de energia eletromagnética em pontos específicos ou em intervalos da curva, uma vez que diferentes quantidades de certos atributos presentes no solo podem aumentar ou diminuir a reflectância espectral em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de estimação dos atributos silte, areia, argila, soma de bases, matéria orgânica e ferro total por meio de espectrorradiometria difusa. Embora a área de estudo esteja localizada em uma região de transição geológica arenito/basalto, acredita-se que seja possível quantificar tais elementos a partir da energia refletida pelo solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudos localiza-se delimitada pelas coordenadas 22°57'19.34" a 22°53'32.87" S e 52°3'12.30" a 52°0'15.08" W, apresentando dimensão de 2500 ha. Sua geologia é composta por duas unidades dominantes constituídas por rochas vulcânicas assim como arenitos friáveis ambos da Era Mesozóica (ITCG, 2006). As classes de solo encontradas constituem-se de Latossolos Vermelhos (LV), Nitossolos Vermelhos (NV), Argissolos Vermelhos (PV), Cambissolos Háplicos (CX) e Neossolos Quartzarênicos (RQ) segundo Embrapa (2006).

Amostragens e tratamentos

Foram coletadas 200 amostras de solo (100 para cada horizonte diagnóstico) em um grid de 500 x 500 m, em 2500 ha. Após a coleta, cada amostra foi subdividida para análise granulométrica e química



(Embrapa, 1997), e leitura espectral (Cezar et al., 2012).

O intervalo de leitura espectral foi de 350 a 2500 nm sendo que das curvas foi separado 31 bandas e 13 alturas, como descrito por Nanni & Demattê (2006). As bandas foram escolhidas com base nos intervalos entre as inflexões e nas porções côncavas presentes nas curvas de todos os solos estudados. As alturas foram escolhidas tomando-se como base, a diferença entre o maior e o menor valor de reflectância em uma banda de absorção.

Análise estatística

Os modelos de regressão linear múltipla foram realizados pelo SAS, utilizando o procedimento de regressão stepwise, tendo-se os atributos como variáveis dependentes e bandas e alturas como variáveis independentes. Além do coeficiente de determinação, este procedimento serviu para testar os coeficientes do modelo de regressão por meio do teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Para comprovar a eficácia dos modelos foi realizado teste de validação, como descrito por Nanni & Demattê (2006). As 100 amostras de subsuperfície foram utilizadas para testar os modelos de superfície e vice-versa. Os resultados obtidos foram confrontados com os determinados em laboratório, por meio de teste t ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativa de atributos do solo por meio de sua energia refletida

A maioria dos atributos dos horizontes superficiais apresentou coeficiente de determinação acima de 0,7 e coeficiente de variabilidade relativamente baixo, exceto para o silte e matéria orgânica (**Tabela 1**).

Com relação ao silte, o valor elevado do coeficiente de variação ocorreu em função da diferença na concentração de óxido de ferro em cada classe de solo. Os resultados laboratoriais mostraram que o teor médio de Fe_2O_3 foi igual a 100,8 g kg^{-1} para o LV, 172,1 g kg^{-1} para o PV, 214,7 g kg^{-1} para o NV, 187,2 g kg^{-1} para o CX e 28,2 g kg^{-1} para o RQ. Os óxidos de ferro atuaram como agente cimentantes, fazendo com que grãos de argila assumissem dimensão de grãos de silte, influenciando na resposta espectral deste atributo.

No entanto, apesar do R^2 igual a 0,71, para o silte o valor foi superior ao encontrado por Fiorio & Demattê (2009) (0,56). Para a MO, o R^2 (0,48) foi baixo, uma vez que nesta área, 28% dos pontos amostrados encontravam-se dentro de matas e próximos a rios, enquanto os 72% restantes,

encontravam-se em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

Os resultados da **tabela 2** assemelham-se com aqueles obtidos por Demattê & Garcia (1999). Por outro lado, quando comparado com Nanni & Demattê (2006) observa-se que, para alguns atributos como argila, MO, SB e ferro total os coeficientes de determinação obtidos foram pouco menores, significando pior ajuste dos modelos ao conjunto de dados. Os resultados alcançados para argila, silte e óxidos de ferro, foram bem próximos aos obtidos por Viscarra Rossel et al. (2009).

Os resultados obtidos para subsuperfície apresentaram a mesma tendência dos resultados para superfície. Pode-se observar que todos os coeficientes de determinação foram superiores a 0,8 com coeficiente de variação relativamente baixo (**Tabela 3**). No entanto, tal fato não é constatado novamente para a MO e a fração silte, as quais apresentaram R^2 igual a 0,54 e 0,62 e coeficiente de variação igual a 24,20 e 49,66, respectivamente.

A maior capacidade de estimação dos atributos areia e soma de bases no horizonte subsuperficial encontra-se ligada ao fato de que nesta porção do perfil (0,80 - 1,0 m) a quantidade de MO encontrada foi em média menor que 20 g kg^{-1} (**Tabela 4**) para todas as classes de solo estudadas. Desta forma, outros constituintes passaram a ter maior influência sobre a curva espectral (Demattê et al., 2007).

O modelo obtido para o Fe_2O_3 apresentou menor capacidade de predição quando comparado ao modelo do horizonte superficial. Observa-se que o número de variáveis correlacionadas com o atributo ferro, foram maiores no horizonte superficial (10 variáveis) quando comparadas ao horizonte subsuperficial (6 variáveis), mostrando desta forma que embora o horizonte superficial apresentasse maior teor de matéria orgânica, a mesma não foi capaz de mascarar as bandas características da presença de ferro.

Portanto, é provável que os resultados estejam relacionados à forma do ferro e não a quantidade de matéria orgânica, conforme Demattê et al. (2003). Considerando que todas as classes de solo investigadas apresentaram teores de ferro extraível pelo ataque sulfúrico maiores nos horizontes subsuperficiais em relação aos superficiais, era de se esperar que houvesse maior absorção de energia nesta porção do perfil, o que de fato ocorreu. Desta maneira, supõe-se que o horizonte subsuperficial possui quantidade mais elevada de ferro amorfo e cristalino quando comparado ao horizonte superficial, interferindo na diferença de reflectância entre os horizontes e no número de variáveis preditivas.



O teste t aplicado nos resultados durante a validação mostrou que a média estimada para areia, argila, soma de bases e Fe_2O_3 pelos modelos de superfície não diferiram estatisticamente daquelas determinadas em laboratório por métodos analíticos. Por outro lado, as médias para fração silte e MO, estimadas por espectrorradiometria, diferiram-se estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, quando comparadas com os resultados de laboratório (**Tabela 4**).

Os resultados obtidos mediante o uso dos modelos de subsuperfície mostraram que somente a fração areia não apresentou diferença significativa quando utilizadas as 31 bandas e 13 alturas advindas de amostras de superfície. Apesar da concentração média de matéria orgânica ser acima de 20 g kg^{-1} , o modelo mostrou-se eficiente e capaz de estimar o atributo areia. Por outro lado, a média dos atributos silte, argila, MO, SB e Fe_2O_3 apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% quando comparadas pelo “teste t” (**Tabela 4**).

A existência de diferença entre os valores observados e estimados, provavelmente encontra-se relacionada à interação energia-matéria. Esta afirmação se deve ao fato de que, como a resposta espectral do solo é resultante da interação entre a energia radiante e as propriedades do mesmo, poderia se utilizar equações de regressão linear múltipla somente para amostras de solo advindas de horizontes semelhantes aos utilizados no estabelecimento da equação, concordando com Nanni & Demattê (2006).

Portanto, neste estudo, como se trata de uma transição arenito/basalto com diferentes classes de solo e diferentes quantidades de atributos distribuídos ao longo do perfil, os modelos foram gerados de acordo com suas características espectrais. Desta forma, as equações ajustadas para o horizonte superficial, são equações que contemplam o forte efeito da matéria orgânica, uma vez que esta se encontra em maior concentração nesta porção do perfil.

Esta diferença entre os horizontes influenciou na resposta espectral das amostras, as quais por sua vez influenciaram na geração dos modelos. Assim, quando os modelos ajustados com as amostras provenientes do horizonte superficial foram testados pelas 31 bandas e 13 alturas obtidas das amostras advindas do horizonte subsuperficial, erros de subestimação ou superestimação foram gerados prejudicando, desta maneira, melhor estimativa dos atributos. O mesmo ocorreu quando os modelos ajustados com as amostras de subsuperfície foram testados pelas 31 bandas e 13 alturas obtidas das amostras de superfície.

CONCLUSÕES

A espectrorradiometria difusa mostrou ser capaz de estimar os atributos areia, argila, soma de bases e Fe_2O_3 , da área de transição arenito/basalto do noroeste do estado do Paraná sendo alcançados melhores resultados para os horizontes superficiais;

A matéria orgânica e o silte apresentaram menor capacidade de estimativa com o uso da espectrorradiometria difusa, tendo sido obtido resultados não satisfatórios;

REFERÊNCIAS

- CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L. et al. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas respectivas reflectâncias. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1157-1165, 2012.
- DEMATTÊ, J. A. M. & GARCIA, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:327-342, 1999.
- DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R.; FORMAGGIO, A. R. et al. Spectral reflectance for the mineralogical evaluation of Brazilian low clay activity soils. In: *J. Remote Sens*, 28:4537-4559, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, 2006. 412p.
- FIORIO, P. R. & DEMATTÊ, J. A. M. Orbital and laboratory spectral data to optimize soil analysis. *Sci. Agric.*, 66:250-275, 2009.
- NANNI, M. R. Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos. Piracicaba, Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000. 366p. (Tese de Doutorado).
- NANNI, M. R. & DEMATTÊ, J. A. M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70:393-407, 2006.
- VISCARRA ROSSEL, R. A.; CATTLE, S. R.; ORTEGA, A. et al. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150:253-266, 2009.

Tabela 1 – Equações de regressão linear múltipla obtidas pelo uso das 31 bandas e 13 alturas, para estimação dos atributos do solo nos horizontes superficiais

Atributo	Equação de regressão linear múltipla	R ²⁽¹⁾	CV ²	RMSE ³
Argila	Argila = 236,56 - 21253*B ₀₁ + 141049*B ₀₂ - 115299*B ₀₄ - 26625*B ₁₀ + 37283*B ₁₁ - 13532*B ₁₄ - 22644*B ₁₈ + 33808*B ₁₉ - 9430,99*B ₂₂	0,81*	21,23	6,20
Silte	Silte = 53,01 + 5257*B ₀₈ - 6020*B ₀₉ + 23823*B ₁₃ - 24292*B ₁₄ + 2967*H ₀₄ - 549*H ₁₃	0,71*	40,36	1,47
Areia	Areia = 706,8 - 18528*B ₁₂ + 18366*B ₁₄ - 13248*B ₁₉ + 11515*B ₂₂	0,76*	11,44	7,62
MO	MO = 21,54 + 181,2*B ₂₀ - 473,4*B ₂₃ + 789,8*B ₂₆ - 517,1*H ₁₃	0,48*	29,96	0,49
SB	SB = 6,302 - 69,28*B ₀₈ + 596,1*B ₂₅ + 182,3*H ₀₇ - 468,0*H ₀₈ - 304,0*H ₁₃	0,77*	23,79	1,01
Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ = 92,460 + 10947*B ₀₂ - 11745*B ₀₈ + 1486,515*B ₁₀ + 88828*B ₂₂ + 38033*B ₂₃ + 35833*B ₂₅ - 5954,848*B ₂₆ - 122361*H ₀₇ - 18356*H ₀₈ - 15815*H ₁₃	0,90*	18,84	18,0

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ¹Coeficiente de determinação; ²Coeficiente de variação; ³Raiz quadrada do erro quadrado médio; B – bandas; H – altura.

Tabela 2 – Equações de regressão linear múltipla obtidas pelo uso das 31 bandas e 13 alturas, para estimação dos atributos do solo nos horizontes subsuperficiais

Atributo	Equação de regressão linear múltipla	R ²⁽¹⁾	CV ²	RMSE ³
Argila	Argila = 454,11 + 15835*B ₀₈ - 32470*B ₀₉ + 27326*B ₁₁ - 12528*B ₁₆ + 30544*B ₂₀ - 7704,2*B ₂₈ - 20544*H ₀₅	0,80*	15,23	6,32
Silte	Silte = 16,58 + 14479*B ₁₈ - 12360*B ₁₉ - 1982,2*H ₀₆	0,62*	49,66	1,50
Areia	Areia = 530,83 - 16009*B ₀₈ + 26635*B ₀₉ - 22919*B ₁₁ + 32825*B ₁₆ + 42077*B ₁₈ - 43720*B ₁₉ - 15050*B ₂₇ + 67430*B ₂₈ - 24050*H ₀₄ - 82977*H ₁₁ + 35491*H ₁₃	0,90*	9,02	4,97
MO	MO = 15,39 - 103,5*B ₁₁ + 374,1*B ₂₆ - 319,9*B ₃₀	0,54*	24,20	0,18
SB	SB = 1,186 + 72,35*B ₁₀ - 169,50*B ₁₅ + 956,40*B ₁₇ + 845,0*B ₁₈ - 193,8*B ₂₃ + 424,90*B ₂₅ - 1590,0*H ₀₅ - 324,60*H ₁₃	0,82*	29,34	0,97
Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ = 125,3 - 7879*B ₁₀ + 10354*B ₁₁ - 4711*B ₁₆ + 3526*B ₁₉ - 16670*B ₂₈ + 15235*H ₁₀	0,88*	16,87	18,74

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ¹Coeficiente de determinação; ²Coeficiente de variação; ³Raiz quadrada do erro quadrado médio; B – bandas; H – altura.

Tabela 3 – Comparação de médias determinadas em laboratório por métodos analíticos e estimadas pela equação de regressão linear múltipla para o horizonte superficial utilizando o “teste t”

	AREIA	SILTE	ARGILA	M.O ³	SB ⁴	Fe ₂ O ₃ ⁵
	g kg ⁻¹				cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹
OBS ¹	551,50a	33,20a	415,30a	7,75a	3,49a	111,92a
EST ²	546,88a	42,82b	410,30a	9,40b	3,59a	116,15a

¹valor médio dos atributos determinados em laboratório; ²valor médio dos atributos determinados pelas equações de regressão múltipla; ³matéria orgânica; ⁴soma de bases; ⁵ferro total; médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferenciam-se pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Comparação de médias determinadas em laboratório por métodos analíticos e estimadas pela equação de regressão linear múltipla para o horizonte subsuperficial utilizando o “teste t”

	AREIA	SILTE	ARGILA	M.O ³	SB ⁴	Fe ₂ O ₃ ⁵
	g kg ⁻¹				cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹
OBS ¹	666,80a	38,2a	295,00a	16,58a	4,20a	95,62a
EST ²	655,37a	24,95b	319,68b	9,40b	3,07b	115,41b

¹valor médio dos atributos determinados em laboratório; ²valor médio dos atributos determinados pelas equações de regressão múltipla; ³matéria orgânica; ⁴soma de bases; ⁵ferro total; médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferenciam-se pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.