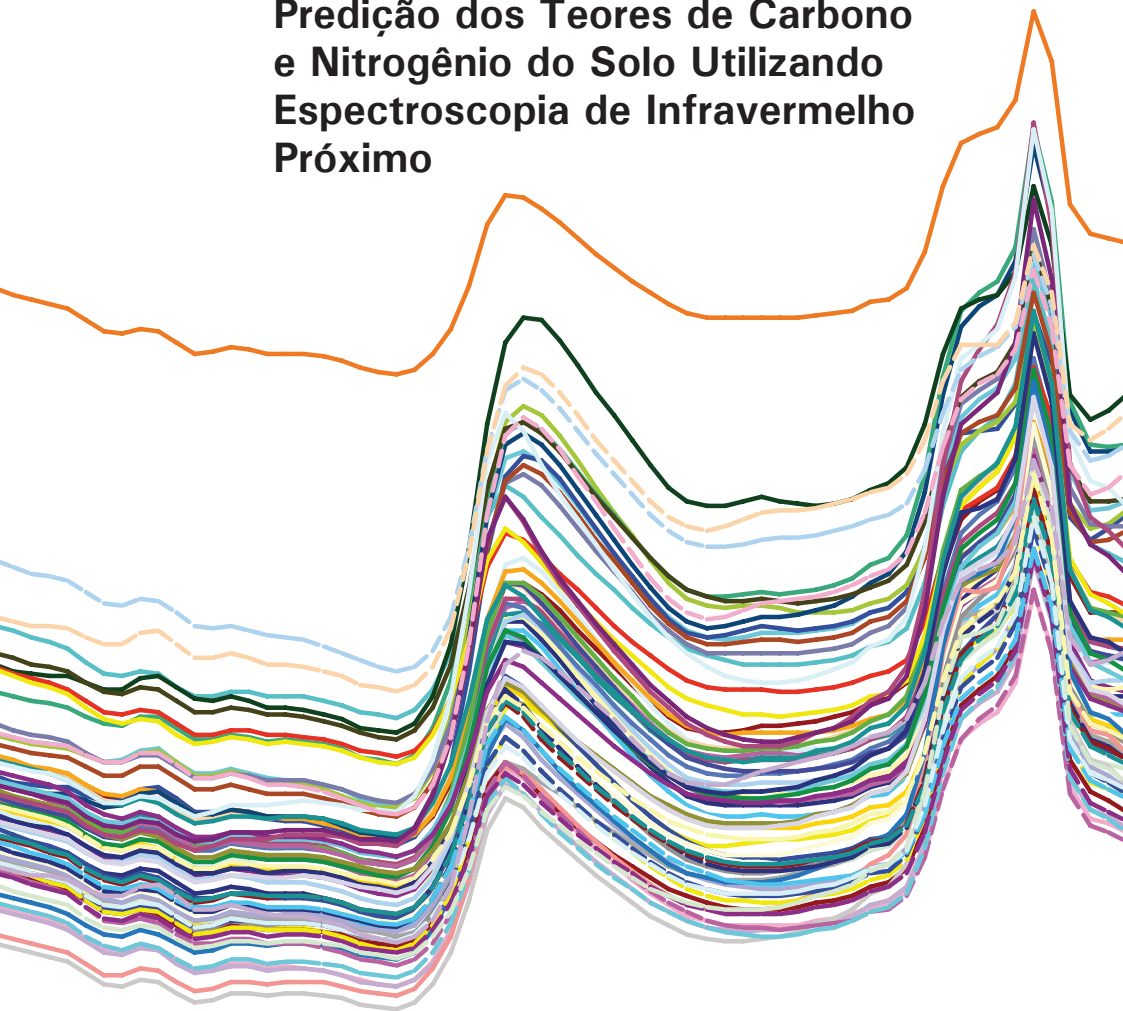


Predição dos Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo Utilizando Espectroscopia de Infravermelho Próximo



ISSN 1676-918X
ISSN online 2176-509X
Março, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 304

Predição dos Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo Utilizando Espectroscopia de Infravermelho Próximo

*Robélio Leandro Marchão
Thierry Becquer
Didier Brunet*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Claudio Takao Karia*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

Jussara Flores de Oliveira Arbués

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufé*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*

Divino Batista de Souza

1ª edição

1ª impressão (2011): tiragem 100 exemplares

Edição online (2011)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Cerrados**

M318p Marchão, Robélio Leandro.

Predição dos teores de carbono e nitrogênio do solo utilizando espectroscopia de infravermelho próximo / Robélio Leandro Marchão, Thierry Becquer, Didier Brunet. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2011.

21 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X ; 304).

1. Solo. 2. Análise do solo. 3. Química do solo. 4. Matéria orgânica. 5. Latossolo vermelho. 6. Espectro. I. Becquer, Thierry. II. Brunet, Didier. III. Título. IV. Série.

631.41 - CDD-21

© Embrapa 2011

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Amostragem do solo	8
Obtenção dos espectros NIR	9
Criação do modelo a partir de análises de referência	10
Resultados e Discussão	11
Conclusões	16
Agradecimentos	16
Referências	17

Predição dos Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo Utilizando Espectroscopia de Infravermelho Próximo

Robélio Leandro Marchão¹

Thierry Becquer²

Didier Brunet³

Resumo

A espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo (NIRS) foi utilizada para prever os teores totais de carbono e nitrogênio do solo. Amostras de solo foram escaneadas em um instrumento monocromador (NIRSystems 5000). Uma regressão pelo método dos mínimos quadrados parciais modificada (mPLS) foi utilizada para desenvolver os modelos de calibração. Análises de referência foram feitas usando o método de combustão a seco (CHNS). Os coeficientes de determinação da calibração (R^2 cal) foram 0,91 e 0,94 para os teores de carbono e nitrogênio, respectivamente, com um erro padrão de calibração (SEC) de 1,64 g kg⁻¹ e 0,11 g kg⁻¹. A metodologia NIR foi considerada capaz de quantificar indiretamente o carbono e o nitrogênio. A técnica reduz o tempo e custos de análise.

Termos para indexação: matéria orgânica do solo, calibração multivariada, m-PLS, NIRS.

¹ Engenheiro-agrônomo, D.Sc., pesquisador da Embrapa Cerrados, robelio.leandro@cpac.embrapa.br

² Engenheiro-agrônomo, Ph.D., pesquisador do Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR 210 Eco&Sols, 2 place Viala, Bâtiment 12, 34060 Montpellier Cedex 1, France.

³ Engenheiro, Analista do Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Prediction of Soil Carbon and Nitrogen Contents Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy

Abstract

Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) was used to predict soil carbon and nitrogen contents. Soil samples were scanned in a monochromator instrument (NIRSystems 5000). Modified partial least squares (mPLS) were used to develop the calibration models. Reference analysis was done using dry combustion. The coefficients of determination of calibration (R^2_{cal}) were 0.91 and 0.94 for carbon and nitrogen contents, respectively, with a standard error of calibration (SEC) of 1.64 g kg⁻¹ and 0.11 g kg⁻¹. The NIR methodology was considered able to quantify soil carbon and nitrogen. It reduces time-consuming and costs of analysis.

Index terms: soil organic matter, multivariate calibration, m-PLS, NIRS.

Introdução

Historicamente os conhecimentos obtidos sobre o funcionamento do solo e a sua qualidade foram obtidos por meio de análises de rotina em laboratório (VISCARRA ROSSEL et al., 2006), contudo a caracterização dos atributos do solo baseados em métodos analíticos apresentam elevados custos e necessidade de mão de obra.

Técnicas espectroscópicas têm sido utilizadas como métodos rápidos e não destrutivos para avaliação das propriedades do solo e são consideradas potenciais alternativas para reforçar ou mesmo substituir parcialmente os métodos convencionais de análises de solo (JANIK et al., 1998; MCBRATNEY et al., 2006). Entre as técnicas espectroscópicas, a Espectroscopia de Reflectância no Infravermelho Próximo (NIRS – do inglês *Near Infrared Reflectance Spectroscopy*) está sendo rapidamente adaptada e, desde que modelos satisfatórios de calibração sejam desenvolvidos, tal técnica pode simultaneamente analisar diversos atributos do solo a partir do seu espectro (MORÓN; COZZOLINO, 2002). Entre as grandes vantagens dos métodos espectroscópicos, estão a rapidez das análises, o baixo custo relativo e a ausência de resíduos após a análise, além de não requerer o uso de reagentes químicos contaminantes (VISCARRA ROSSEL et al., 2006; SØRENSEN; DALSGAARD, 2006).

A espectroscopia NIRS permite simultaneamente caracterizar vários atributos químicos do solo, a exemplo dos teores de C, N, P, K, Ca, Mg, S e vários outros nutrientes (BEN-DOR; BANIN, 1995; CHANG et al., 2001; SHEPHERD; WALSH, 2002; VISCARRA ROSSEL et al., 2006). Mais recentemente, a espectroscopia tem sido amplamente utilizada para predição dos teores de carbono orgânico do solo em estudos orientados pelo crescente interesse na quantificação do sequestro de carbono pelo solo em sistemas agropecuários (MARCHÃO et al., 2009; FONTÁN et al., 2010).

Uma vez que a matéria orgânica do solo (MOS) é um elemento-chave e ainda por ser um compartimento essencial do carbono da

biosfera, mudanças no uso do solo podem, substancialmente, alterar a sua dinâmica e afetar os fluxos de gases de efeito estufa (GEEs). Considerando o atual cenário de mudanças climáticas globais, identificar sistemas agrícolas que sejam capazes de minimizar as emissões de GEEs tem uma fundamental importância, logo esse cenário demandará cada vez mais metodologias mais rápidas e eficientes para quantificar o sequestro de carbono pelos solos cultivados. As limitações dos métodos tradicionais tornam-se mais graves em estudos ou experimentos com um elevado número de tratamentos, repetidos no tempo ou ainda manejados em cronossequência. Tais estudos necessitam de um elevado número de amostras para caracterização das diversas camadas do perfil do solo até uma profundidade tal onde não haja mais efeito significativo do tipo de uso empregado na sua superfície. Ademais, a aquisição de bases de dados mais complexas requer técnicas sofisticadas para caracterização dos atributos do solo com resolução e acurácia satisfatórias. Nesse sentido, é necessário ainda desenvolver e aprimorar métodos ou técnicas de análise dos teores de C e N que sejam capazes de determinar de forma mais rápida e eficaz o impacto da adoção de sistemas de uso alternativos que preservem a matéria orgânica do solo e contribuam para a mitigação do aquecimento global.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um protocolo de predição, baseado na espectroscopia na faixa do infravermelho próximo, para quantificação dos teores totais de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de uso e profundidades.

Material e Métodos

Amostragem do solo

Amostras de solo foram coletadas em um experimento de longa duração da Embrapa Cerrados em Planaltina, Distrito Federal (15° 39' S e 47° 44' W), em um Latossolo Vermelho de textura argilosa. Os tratamentos são compostos por diversas combinações de sistemas de uso da terra (pastagem ou lavoura contínua, rotação lavoura/pastagem e testemunha

cerrado nativo), tipos de preparo do solo (sistema de plantio direto e convencional) e níveis de fertilização das culturas (adubação corretiva e de manutenção). As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 cm a 2 cm, 2 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, 20 cm a 30 cm com o objetivo de avaliar a variação dos teores de C e N existente ao longo dos primeiros 30 cm do perfil, conforme recomendações do IPCC (1997). Para cada sistema de uso do solo, as amostras foram tomadas em três pontos ao longo de um transecto no sentido de maior comprimento das parcelas, totalizando 390 amostras. Outras descrições acerca da área experimental podem ser consultadas em Marchão et al. (2009). As amostras foram secadas ao ar e peneiradas em peneira de 2 mm. Uma alíquota de cada amostra foi moída e peneirada em peneira de 0,2 mm e analisada por combustão a seco em um analisador elementar CHNS/O (modelo PE 2400 Series II CHNS/O, Perkin Elmer, Norwalk, CT, USA) para determinar os teores totais de C e N que foram utilizados como valores de referência. O método da combustão a seco utilizando o analisador elementar foi escolhido por ser considerado como o método padrão internacional Swift (1996).

Obtenção dos espectros NIR

As amostras foram analisadas em um espectrômetro Foss NIRSystems 5000 (Silver Spring, MD, USA) para obtenção dos espectros de absorção na região do infravermelho que compreendeu os comprimentos de ondas entre 1.100 nm e 2.500 nm. As amostras de solo de aproximadamente 5 g de terra fina (< 2 mm) foram escaneadas em uma cubeta cilíndrica de 50 mm de diâmetro com uma janela de quartzo. Os dados espectrais foram registrados no modo de reflectância (R) do equipamento para compor um espectro com 700 pontos com intervalo espectral de 2 nm. Os resultados obtidos foram expressos em absorbância (A), expressos como logaritmo do inverso da reflectância ($A = \log [1/R]$).

Criação do modelo a partir de análises de referência

Os espectros foram analisados utilizando o software WinISI III v. 1.50e (Foss NIRSystems/Tecator Infrasoft International, LLC, Silver Spring, MD, USA). Um tratamento matemático foi aplicado nos dados espectrais visando melhorar a qualidade do sinal calculando-se a primeira derivada em combinação com um algoritmo de correção normal padronizada dos desvios (*standard normal variate correction* – SNV) para reduzir o efeito da granulometria. Um outro procedimento de padronização (detrend correction) foi também aplicado para remover as distorções associadas à tendência linear ou curvilínea de cada espectro (BARNES et al., 1989).

O método de seleção do conjunto de calibração foi baseado na representatividade espectral (BARTHÈS et al., 2006; BRUNET et al., 2007). Para isso uma análise de componentes principais (PCA) foi aplicada em todas as 390 amostras e as componentes principais resultantes foram utilizadas para medir a distância de Mahalanobis (H). O valor de H permitiu testar a homogeneidade dos dados, e as amostras que apresentaram um valor de H superior a três foram consideradas *outliers* e eliminadas do modelo (SHENK; WESTERHAUS, 1991a). Por meio do software, foi selecionado um conjunto de 92 amostras mais representativas de toda a população, utilizado para construir o modelo de calibração. Posteriormente, um conjunto de validação composto por 30 amostras foi também selecionado aleatoriamente entre as outras 298 para avaliação da acurácia de predição do modelo. O modelo assim gerado a partir do conjunto de calibração permitiu determinar os teores de C e N das amostras restantes, a partir de seu próprio espectro (dados não apresentados).

A regressão por quadrados mínimos parciais modificada (*modified partial least square regression* – mPLS) foi utilizada para correlacionar os valores de referência com os dados espectrais do conjunto de calibração. Shenk e Westerhaus (1991b) propuseram modificar a

regressão por quadrados mínimos parciais com o objetivo de padronizar os resultados obtidos entre o método de referência e os dados de reflectância para cada comprimento de onda, considerando o valor de um desvio padrão para cada termo da regressão. A mPLS foi escolhida por apresentar resultados superiores quando comparada à PLS e à regressão por componentes principais (*principal component regression* – PCR). Aplicou-se um procedimento de validação cruzada (*cross validation*) para determinar o número ótimo de termos no qual o erro de predição para o modelo de regressão é minimizado. Os *outliers* de calibração (i.e. amostras com $t > 2.5$; em que $t =$ teste de Student e $p < 0,05$) foram removidos e novamente uma validação cruzada foi realizada, procedimento este repetido duas vezes. O desempenho do modelo de calibração foi expresso pelo erro padrão da calibração (*standard error of calibration* – SEC), pelo coeficiente de determinação da calibração (R^2_{cal}), pelo erro padrão da validação cruzada (*standard error of cross validation* – SECV) e ainda pela taxa de desvio de performance (*ratio performance deviation* – RPD), que expressa a relação entre o desvio padrão e o valor de SECV. Posteriormente, a acurácia do modelo foi avaliada pelo erro padrão da predição (*standard error of prediction* – SEP), pelo R^2_{val} da validação e pelo coeficiente de variação (CV), que é a relação de SEP com a média dos valores de referência expresso em percentual (MORRA et al., 1991).

Resultados e Discussão

Na Figura 1a, apresentam-se os espectros NIR de amostras da camada superficial de três sistemas de uso da terra (pastagem, lavoura e cerrado). Não foram observadas diferenças espectrais entre os três sistemas, exceto pelo valor de base de cada espectro. A aplicação da primeira derivada foi utilizada (Figura 1b) para amplificar as características espectrais das amostras eliminando o ruído de base e a influência do tamanho das partículas de solo. Analisando a Figura 1a, observa-se que o pico de absorção a 1.400 nm ocorreu devido às vibrações das moléculas de água e dos grupos OH. Da mesma forma, a absorção a 1.900 nm ocorreu devido à presença de água. Os picos

mais amplos na faixa 2.200 nm a 2.300 nm ocorreram em função da composição mineralógica dos solos. A absorção característica na região de 2.200 nm indica a presença de caulinita (HLAVAY et al., 1977) e aquela a 2.265 nm deve-se à presença da gibbsita (HUNT et al., 1971). As bandas de absorção estão associadas com os padrões de alongamento ou vibração das ligações químicas específicas dos grupos OH, CH, NH e CO e assim podem ser utilizadas para caracterizar as diferenças entre os teores de matéria orgânica do solo em cada amostra. Além disso, a absorção de energia por esses componentes provocam uma redução na intensidade da reflectância ao longo de todo o espectro analisado.

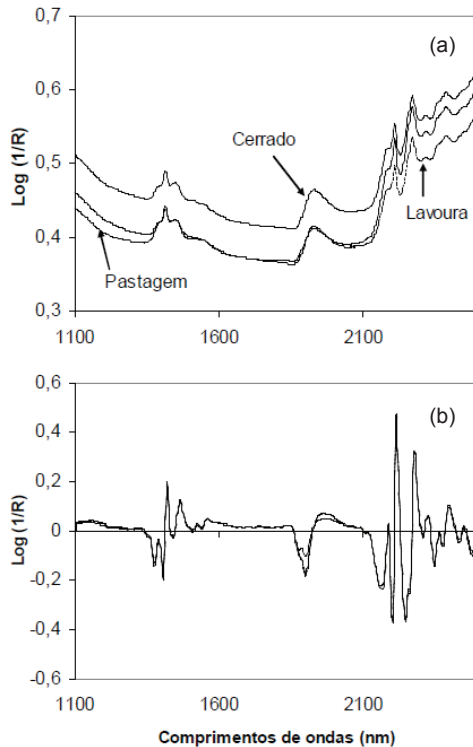


Figura 1. Espectros de absorbância na faixa do infravermelho próximo (a) e da primeira derivada (b), no intervalo de comprimentos de ondas de 1.100 nm a 2.500 nm, para amostras da camada superficial (2 cm a 5 cm) selecionados sob vários sistemas de uso da terra (pastagem, lavoura e cerrado nativo).

A partir da análise dos espectros de todas as amostras coletadas, o software selecionou um total de sete amostras fora do padrão da população espectral que foram consideradas *outliers*, valor este que representa menos de 2% da população total. O número de *outliers* dos conjuntos de calibração foi de cinco e sete para C e N, respectivamente, ou seja, 5% e 8% do total de amostras pertencentes a estes conjuntos que inicialmente eram compostos por 92 amostras cada. Os teores totais de C e N dos conjuntos de calibração e validação, medidos pelo método referência, apresentaram amplitudes de valores entre 12,4 g kg⁻¹ a 43,3 g kg⁻¹ e 0,8 g kg⁻¹ a 3,0 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 1). O erro padrão da calibração foi de 1,64 g kg⁻¹ e 0,11 g kg⁻¹ para C e N, com um coeficiente de determinação de 0,91 e 0,94, respectivamente. O RPD foi 2,9 tanto para o C quanto para o N com um SECV de 1,92 g kg⁻¹ e 0,16 g kg⁻¹ (Tabela 2). O modelo de calibração foi considerado robusto, pois está acima do valor mínimo de dois, proposto na literatura como referência (CHANG et al., 2001). Em termos de validação do modelo, os valores do coeficiente de determinação da validação R²val foram relativamente baixos (0,69 e 0,58 para C e N, respectivamente), contudo o valor de R²val para o C ficou dentro de uma amplitude relatada em diversos trabalhos, que é de 0,66 a 0,87 (CHANG et al., 2001; SØRENSEN; DALSGAARD, 2006; MADARI et al., 2005).

Tabela 1. Médias, desvios e amplitude dos teores totais de carbono e nitrogênio determinados pelo método de referência (analisador elementar), das amostras selecionadas para os conjuntos de calibração e validação.

Variáveis (g kg ⁻¹)	n	Média	Desvio padrão	Amplitude
Ct	117	21,8	5,5	12,4-43,3
Nt	115	1,48	0,46	0,80-3,00

Tabela 2. Estatísticas de calibração e validação do modelo de regressão para predição dos teores totais de carbono e nitrogênio por espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS).

Variáveis (g kg ⁻¹)	Conjunto de calibração					Conjunto de validação			
	n	SEC	R ² _{cal}	SECV	RPD	n	SEP	R ² _{val}	CV(%)
Ct	87	1,64	0,91	1.92	2,9	30	2,12	0,69	10
Nt	85	0,11	0,94	0.16	2,9	30	0,23	0,58	17

n = número de amostras de cada conjunto após eliminação dos *outliers*; DP = desvio padrão; SEC = erro padrão da calibração; R²_{cal} = coeficiente de determinação da calibração; SECV = erro padrão da validação cruzada; RPD = taxa de desvio de performance (DP/SECV); SEP = erro padrão da predição; R²_{val} = coeficiente de determinação da validação; CV = relação do SEP com a média dos valores de referência do conjunto de validação.

Na Figura 2, observa-se a correlação entre os valores medidos e preditos para o C com um coeficiente de determinação da calibração (R²_{cal}) de 0,91 e um R²_{val} de 0,69. Tanto para o C quanto para o N, as correlações foram altamente significativas ($p < 0,01$), demonstrando a robustez do modelo. De acordo com Barthès et al. (2006), o valor relativamente baixo do coeficiente de determinação da validação pode ser devido à heterogeneidade das amostras que foram peneiradas a 2 mm, porém sem passar por uma moagem ou maceração prévia. Os autores relatam ainda que, após o processo de moagem e peneiramento em malha fina (0,2 mm), o R²_{val} sofreu acréscimo entre 0,04 e 0,05. Deve-se considerar que o processo de moagem e peneiramento fino, recomendado para a análise pelo método referência, é demasiadamente trabalhoso e, para um número elevado de amostras, pode inviabilizar a análise. O CV de 10% para C e de 17% para o N são considerados baixos e estão de acordo com resultados observados por Brunet et al. (2007), que também analisaram solos do Brasil.

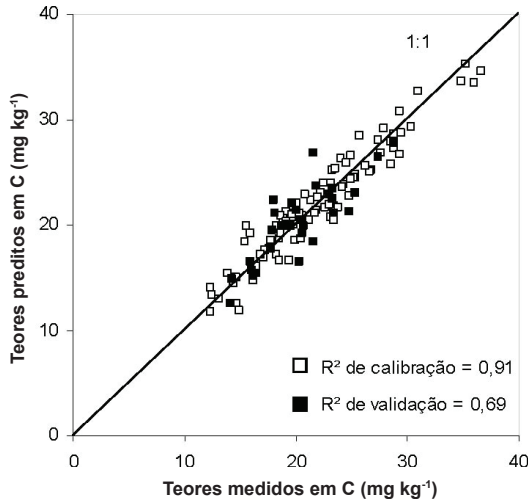


Figura 2. Comparação dos teores totais de carbono do solo medidos pelo método referência (combustão a seco) e os valores preditos pelo modelo gerado a partir da espectroscopia NIR.

Considerando o princípio de que matéria orgânica do solo reduz a intensidade da refletância ao longo de todo o espectro, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) sobre os 700 pontos correspondentes aos vários comprimentos de onda. A PCA permite separar as amostras em função de suas características específicas tais como as variações nos teores de matéria orgânica decorrentes do sistema de uso do solo. Como exemplo, na Figura 3, são apresentadas as coordenadas relativas aos dois primeiros eixos (componentes principais) da PCA relativos a amostras de solo na camada 0 cm a 5 cm em três sistemas de uso (pastagem, lavoura e cerrado). Os dois primeiros fatores explicaram 93% da variabilidade total (63% e 30%, para o primeiro e segundo eixo, respectivamente) dos dados. A PCA revelou ainda que, em relação ao primeiro eixo (primeira componente principal), ocorreu a formação de dois grupos distintos de amostras em função dos teores de carbono e nitrogênio. Houve um agrupamento predominante de amostras de Cerrado, pastagem e alguns pontos de lavoura (com plantio direto e convencional) do lado esquerdo do gráfico e um segundo grupo, com predominância de amostras de lavoura do lado direito (Figura 3). Esses resultados demonstram ainda que a técnica

tem potencial para análises qualitativas e pode ser aplicada a estudos de qualidade do solo. Resultados semelhantes foram apresentados também por Velasquez et al. (2006), que utilizaram a técnica para avaliar a qualidade de solos sob diferentes tipos de uso e concluíram que o NIRS é uma ferramenta que tem potencial para avaliação da qualidade do solo de forma rápida, eficaz e econômica, facilitando o monitoramento e a tomada de decisão sobre o tipo de uso mais adequado para a conservação e a manutenção da qualidade do solo.

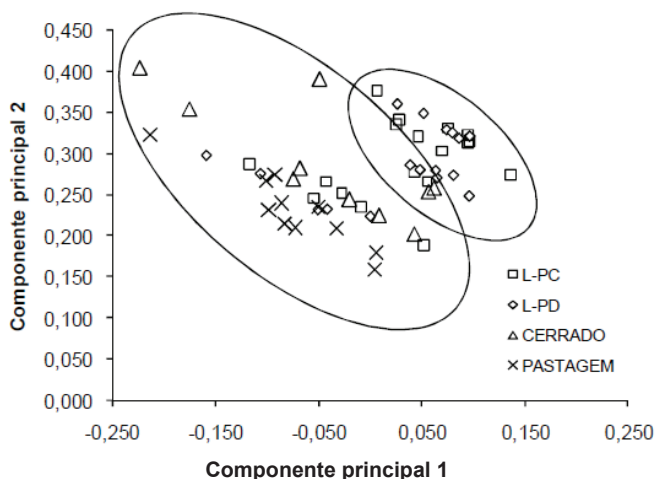


Figura 3. Coordenadas dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP) dos teores de carbono e nitrogênio da camada 0 cm a 5 cm para os diferentes tipos de uso e preparo do solo.

Conclusões

Os resultados obtidos com o protocolo de predição da espectroscopia NIR demonstraram que a técnica é viável e permite prever de forma satisfatória os teores totais de carbono e nitrogênio do solo.

A utilização da espectroscopia NIR para prever os teores de carbono e nitrogênio do solo pode reduzir significativamente o número e o custo das análises pelo método de análise padrão, trazendo benefícios econômicos e ambientais para os laboratórios de análises de solos.

Agradecimentos

À Embrapa pelo financiamento do projeto 03.07.09.019 e à FAP – DF pelo apoio financeiro ao Projeto Monitoramento dos Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo no Distrito Federal e Entorno Utilizando Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS).

Referências

- BARNES, R. J.; DHANOA, M. S.; LISTER, S. J.; Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. **Applied Spectroscopy**, v. 43, n. 5, p. 772-777, 1989.
- BARTHÈS, B. G.; BRUNET, D.; FERRER, H.; CHOTTE, J. L.; FELLER, C. Determination of total carbon and nitrogen content in a range of tropical soils using near infrared spectroscopy: influence of replication and sample grinding and drying. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 14, n. 5, p. 341-348, 2006.
- 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, n. 2, p. 364-372, 1995.
- BRUNET, D.; BARTHÈS, B. G.; CHOTTE, J. L.; FELLER, C. Determination of carbon and nitrogen contents in Alfisols, Oxisols and Ultisols from Africa and Brazil using NIRS analysis: Effects of sample grinding and set heterogeneity. **Geoderma**, v. 139, n. 1-2, p. 106-117, 2007.
- CHANG, C. W.; LAIRD, D. A.; MAUSBACH, M. J.; HURBURGH, C. R. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy-Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 480-490, 2001.
- FONTÁN, J. M.; CALVACHE, S.; LÓPEZ-BELLIDO, R. J.; LÓPEZ-BELLIDO, L. Soil carbon measurement in clods and sieved samples in a Mediterranean Vertisol by visible and near-infrared reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v. 156, p. 93-98, 2010.
- HLAVAY, H.; JONAS, K.; ELEK, S.; INCZEDY, J. Characterization of the particle size and the crystallinity of certain minerals by infrared spectrophotometry and other instrumental methods, I. Investigation on clay minerals. **Clays and Clay Minerals**, v. 25, p. 451-456, 1977.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. **Modern Geology**, v. 2, p. 195-205, 1971.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Bracknell: Meteorological Office, 1997. Editor J. T. Houghton.

JANIK, L. J.; MERRY, R. H.; SKJEMSTAD, J. O. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38, p. 681-696, 1998.

MADARI, B. E.; REEVES III, J. B.; COELHO, M. R.; MACHADO, P. L. O. A.; DE-POLLI, H.; COELHO, R. M.; BENITES, V. M.; SOUZA, L. F.; MCCARTY, G. W. Mid-and Near-Infrared Spectroscopic Determination of Carbon in a Diverse Set of Soils from the Brazilian National Soil Collection. **Spectroscopy Letters**, v. 38, n. 6, p. 721-740, 2005.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 442-450, 2009.

MCBRATNEY, A. B.; MINASNYA, M. L.; ROSSEL, R. V. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. **Geoderma**, v. 136, p. 272-278, 2006.

MORÓN, A.; COZZOLINO, D. Application of near infrared reflectance spectroscopy for the analysis of organic C, total N and pH in soils of Uruguay. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 10, p. 215-221, 2002.

MORRA, M. J.; HALL, M. H.; FREEBORN, L. L. Carbon and nitrogen analysis of soil fractions using near-infrared reflectance spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 288-291, 1991.

SHENK, J. S.; WESTERHAUS, M. O. Population definition, sample selection, and calibration procedures for near-infrared reflectance spectroscopy. **Crop Science**, v. 31, n. 2, p. 469-474, 1991a.

SHENK, J. S.; WESTERHAUS, M. O. Populations Structuring of Near Infrared Spectra and Modified Partial Least Squares Regression. **Crop Science**, v. 31, p. 1548-1555, 1991b.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 988-998, 2002.

SØRENSEN, L. K.; DALSGAARD, S. Spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 131, p. 59-75, 2006.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**: part 3: chemical methods. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. (Soil Science Society of America Book Series, 5). Managing Editor: J. M. Bartels; Editor-in-Chief SSSA: J. M. Biggam. p. 1011-1069.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; BARRIOS, E.; JOFFRE, R.; REVERSAT, F. Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 889-898, 2006.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J. O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, v. 131, n. 1-2, p. 59-75, Mar. 2006.

Embrapa

Cerrados

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 9998