

## Sensoriamento remoto espectral na aplicação de corretivos em solos

Suzana Romeiro Araújo<sup>1</sup>  
José Alexandre Melo Demattê<sup>1</sup>  
Leonardo Ramirez Lopez<sup>1</sup>  
Henrique Bellinaso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” –ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).  
srraraujo@esalq.usp.br, jamdemat@carpa.ciagri.usp.br, lrlopez@esalq.usp.br,  
hbellina@carpa.ciagri.usp.br

**Abstract:** One of the most important areas which precision agriculture has been commercially applied is in the soil fertility management. The objective of this work was to predict the content of soil chemical attributes related to lime recommendation, from its spectral curve obtained in laboratory to contribute for the development of a methodology that comes to automate this calculus to support precision agriculture. It was realized in a green house. The treatments, disposed completely random, with four replications, consisted in three lime rates, calculated to raise the bases saturation to 40, 60 and 80 %, besides the control treatment. Soil analyses were realized to determine pH, organic matter, phosphorus, calcium, magnesium, potash, aluminum, hydrogen plus aluminum, and the CEC and V % were calculated. The data were correlated by multivariate statistics using the software ParLeS (VISCARRA-ROSSELL, 2008). With a random selection of samples were generated the calibration models through the method of partial least square regression. The model was validated with rest of soil samples. Good estimated models were found for CTC ( $R^2 = 0,79$ ) and V % ( $R^2 = 0,80$ ) in the Arenosols. Determinate coefficients higher than 0,50 were obtained for these attributes in the Oxisol. There was correlation between the NC determined and the NC estimated with a  $R^2$  of 0,99. The radiometric data could determine the quantity of lime to be applied in the experiment soils. The utilization of V % and CEC results obtained by spectral data is an auxiliary tool in lime recommendations and can be applied in Precision Agriculture.

**Palavras-chave:** lime recommendation, FieldSpec sensor, ParLeS, necessidade de calagem, sensor FieldSpec, ParLeS.

### 1) Introdução

Uma das primeiras e mais importantes áreas na qual a Agricultura de Precisão (AP) tem sido aplicada comercialmente é no manejo da fertilidade do solo. A aplicação de fertilizantes é, sem dúvida, um dos maiores custos na produção agrícola e por isso, a determinação da melhor relação custo-benefício na utilização deste insumo é de grande importância (Bullock et al., 2000). Neste sentido o sensoriamento remoto vem se mostrando uma fonte de informação valiosa no manejo da variabilidade da fertilidade do solo, especialmente com a implantação da AP. A coleta de amostras para fins de fertilidade é de uma amostra composta de 20 subamostras para uma área não maior do que 20 ha (Raij et al., 1996), gerando uma considerável margem de erro. Para a prática da AP, onde a variabilidade espacial é considerada, a coleta de 1 a 2,5 pontos por hectare proporciona um alto custo (Fraisse, 1998). Demattê et al. (2000) verificaram que os custos com análises de solo foram superiores no processo de agricultura pontual comparada com a convencional. Portanto, a racionalização no estabelecimento de locais para a amostragem de terra, ou a diminuição do valor gasto com as mesmas torna-se imprescindível.

Desta forma, são necessários métodos práticos que estimem rapidamente e de maneira eficiente as propriedades do solo para melhorar a avaliação quantitativa dos problemas de manejo da terra (SHEPHERD E WALSH, 2002). A aplicação da espectroscopia como método para análise de solos teve início após Bower e Hanks (1965) mostrarem que é possível quantificar atributos do solo através da energia refletida. A utilização de dados de sensores em

geral, para o estudo do solo, é um desafio que vem sendo buscado por pesquisadores, dentre outras razões, por ser uma tecnologia alternativa para avaliação dos atributos do solo e que resulta em um menor impacto ambiental.

Portanto, este trabalho objetiva quantificar atributos químicos do solo relacionados à sua acidez através de dados espectrais obtidos em laboratório. Com isso, espera-se contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia que venha automatizar este cálculo como apoio a AP. Espera-se que a avaliação dos dados espectrais tenha relação com os atributos químicos do solo utilizados no cálculo da CTC e saturação por bases, sendo possível a quantificação da necessidade de calagem.

## 2) Metodologia de trabalho

O experimento foi conduzido em Piracicaba, São Paulo, em casa de vegetação. Foram realizados quatro ciclos de cultivo de milho em vasos de 4 dm<sup>3</sup>. Os solos utilizados no ensaio foram o Latossolo Vermelho textura argilosa com 22 % de areia, 9 % de silte e 69 % de argila (22° 26' 59" S, 47° 24' 18" W), e o Neossolo Quartzarênico (21° 35' 09" S, 47° 04' 22" W), com 94 % de areia, 2% de silte e 4 % de argila (Embrapa, 2006). Estes solos foram coletados na camada arável (0-20 cm) e apresentavam, originalmente, as seguintes características químicas: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 3,9; MO = 31 g.dm<sup>-3</sup>; P = 3 mg.dm<sup>-3</sup>; Ca = 7 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Mg = 3 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; K = 0,6 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; H+AL = 88 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Al = 13 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; SB = 10,6 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; CTC = 98,6 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; V = 10,8 % no Latossolo Vermelho textura argilosa e, pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,1; MO = 12 g.dm<sup>-3</sup>; P = 11 mg.dm<sup>-3</sup>; Ca = 1 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Mg = 1 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; K = 0,07 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; H+AL = 28 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Al = 5 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; SB = 2,07 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; CTC = 30,07 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; V = 6,9 % no Neossolo Quartzarênico.

Foi realizada a calagem com posterior incorporação do calcário apenas no primeiro ciclo da cultura. Entretanto, a adubação NPK foi aplicada nos quatro cultivos utilizando as mesmas doses em todos os tratamentos. Para a calagem foram utilizados três produtos comerciais, todos calcários dolomíticos, identificados como **A**, **B** e **C**, sendo produtos de média, baixa e alta reatividade, respectivamente (Tabela 1). As doses utilizadas foram baseadas na elevação da saturação por bases (V%) para 40%, 60% e 80%, correspondendo respectivamente à 3,26 t.ha<sup>-1</sup>, 5,50 t.ha<sup>-1</sup>, 7,73 t.ha<sup>-1</sup> para o calcário **A** no solo argiloso e 1,13 t.ha<sup>-1</sup>, 1,80 t.ha<sup>-1</sup> e 2,49 t.ha<sup>-1</sup> no solo arenoso; 3,78 t.ha<sup>-1</sup>, 6,37 t.ha<sup>-1</sup>, 8,95 t.ha<sup>-1</sup> para o **B** em solo argiloso e 1,29 t.ha<sup>-1</sup>, 2,10 t.ha<sup>-1</sup> e 2,89 t.ha<sup>-1</sup> em solo arenoso; 2,74 t.ha<sup>-1</sup>, 4,61 t.ha<sup>-1</sup>, 6,48 t.ha<sup>-1</sup> para o **C** em solo argiloso e 0,95 t.ha<sup>-1</sup>, 1,52 t.ha<sup>-1</sup> e 2,09 t.ha<sup>-1</sup> em solo arenoso, além da testemunha, sem calcário.

Tabela 1 – Caracterização química dos calcários utilizados no experimento

Calcários	CaO	MgO	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	Sílica e Insolúveis	Tyler (Mesh) / Abertura (mm)			PRNT	PN	RE
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	10/2,000	20/0,840	50/0,297	(%)	(%)	(%)
<b>A</b>	30,77	20,92	55,09	51,88	3,99	99,72	91,43	73,00	88,29	104,44	85,72
<b>B</b>	28,89	17,18	51,71	42,62	14,83	99,82	91,44	67,94	76,21	91,03	83,72
<b>C</b>	32,54	18,9	58,26	46,86	2,14	100	99,98	97,77	105,26	106,21	99,1

Trinta dias após a calagem foram adicionados adubos minerais, sendo as doses calculadas conforme a necessidade da cultura. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos tiveram dois solos, três doses além da testemunha e três fontes de calcário, totalizando 80 vasos. Sendo assim, os tratamentos são esquematizados da seguinte forma para os dois tipos de solo: **T1**: Testemunha; **T2**: Calcário **A**, V% = 40; **T3**: Calcário **A**, V% = 60; **T4**: Calcário **A**, V% = 80; **T5**: Calcário **C**, V% = 40; **T6**: Calcário **C**, V%

= 60; **T7**: Calcário **C**, V% = 80; **T8**: Calcário **B**, V% = 40; **T9**: Calcário **B**, V% = 60; **T10**: Calcário **B**, V% = 80. Aos 57 dias após emergência, as plantas foram colhidas em pleno florescimento, ou seja, no pico de acúmulo de matéria seca e máximo crescimento vegetativo.

Foram realizadas as análises dos solos determinando-se pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 Mol  $\text{L}^{-1}$ , C-orgânico (método colorimétrico), fósforo, cálcio, magnésio e potássio, extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ B. et al., 1986), alumínio (usando extrator  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ) e  $\text{H} + \text{Al}$  (usando SMP solução tamponada de acetato de cálcio 1 N pH 7,0) de acordo com Raij et al. (1987).

Os dados espectrais dos solos foram obtidos em laboratório com o espectrômetro FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.). É um espectrorradiômetro com fibra ótica com resolução espectral de 1 nm até 1100 nm e 2 nm até 2500 nm. Para a coleta dos dados de reflectância, as amostras foram preparadas segundo Henderson et.al, 1992. O sensor foi colocado em posição vertical a 8 cm de distância da amostra, onde foi medida a luz refletida numa área aproximada de 2  $\text{cm}^2$  no centro da amostra. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, sendo posicionada a 35 cm da amostra e com um ângulo zenital de 30°. Foi utilizada como padrão de referência, uma placa cinza a qual reflete 50% de uma placa branca. Os dados espectrais desta placa foram armazenados pelo sistema para posterior determinação do *fator de reflectância* das amostras, o qual foi multiplicado pelas leituras obtidas de cada uma delas. No total, foram obtidas 160 leituras espectrais do solo argiloso e 160 do arenoso. Com tal fator em mãos, foram criadas representações gráficas, ou seja, curvas de reflectância espectral.

A análise estatística foi realizada entre os dados de reflectância obtidos em laboratório com os atributos químicos dos solos através do programa ParLeS versão 3.1 (Viscarra ROSSEL, 2008). Para tal foi utilizada a técnica de regressão pelo método de mínimos quadrados parciais (PLS) inserida neste programa. Esta técnica é mais precisa que a de regressão linear múltipla já que o efeito de colinearidade dos dados do modelo pode ser reduzido com maior eficiência, além de levar em consideração toda a informação espectral. Das 160 amostras iniciais do solo argiloso, foram selecionadas aleatoriamente 120 curvas espectrais junto com seus respectivos valores de CTC potencial e V%, para posteriormente realizar a regressão (PLS) e a validação cruzada. O mesmo procedimento foi realizado para o solo arenoso. As amostras utilizadas para calibração e validação dos modelos foram representativas de todos os tratamentos realizados neste experimento. Foi realizada a validação cruzada a fim de se obter um número de componentes para gerar um modelo com maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), menores valores da raiz quadrada do erro médio (RMSE) e maiores valores de desvio padrão do erro (RPD), descritos pelas eq. (1) e eq. (2).

$$RPD = \frac{sd}{SEP} \quad (1)$$

Em que:

sd = taxa do desvio padrão dos dados analisados;

SEP = erro padrão da predição.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-m} \frac{(\hat{\gamma}_i - \gamma_i)^2}{n-m}} \quad (2)$$

Em que:

n = número de amostras;

m = número de amostras usadas para predição;

$\hat{\gamma}_i - \gamma_i$  = valores das propriedades do solo preditos e medidos, respectivamente.

Os modelos gerados são séries de coeficientes denominados “b” que apresentam uma informação interpretável da composição, estrutura e concentração dos diversos atributos da amostra (Min e Lee, 2005) e que foram utilizados para o cálculo da CTC potencial e saturação por bases estimadas. Os modelos de regressão obtidos pelo método PLS para a estimativa da CTC potencial e V% nos dois solos, foram testados aplicando-os às 40 amostras restantes das 160 iniciais, correspondentes ao solo argiloso e arenoso. A fim de representar o desempenho real de cada modelo sobre cada tipo de solo na predição dos atributos avaliados, foi feita uma validação cruzada.

Para o cálculo da necessidade de calagem (NC) utilizou-se método baseado na elevação da saturação por bases dado pela eq. (3). O cálculo foi feito para elevação da saturação por bases para 40, 60 e 80 % para a cultura do milho com a utilização de três calcários com diferentes reatividades (Tabela 5.1).

$$NC = CTC \cdot \frac{(V2 - V1)}{10 \cdot PRNT} \quad (3)$$

Em que:

CTC = Capacidade de troca catiônica;

V2 = Saturação por bases desejada;

V1 = Saturação por bases atual;

PRNT = Poder reativo de neutralização total do calcário comercial.

### 3) Resultados e discussão

Para as características químicas avaliadas, os melhores resultados da calibração foram encontrados no solo de textura arenosa, que obtiveram menores valores de RMSE e maiores  $R^2$ , além de fazerem uso de um menor número de variáveis latentes ou fatores PLS para descrever a variação das curvas espectrais em relação à variação da CTC potencial e saturação por bases. Além disso, os modelos de calibração obtidos para o solo arenoso, alcançaram valores de RPD maiores que 2, sendo considerados excelentes (DUNN et al., 2002; CHANG et al., 2001).

O modelo gerado para CTC no solo arenoso apresentou  $R^2 = 0,75$ , RMSE = 3,60, RPD = 2,0 com o uso de 10 fatores PLS. Para o solo de textura argilosa estes valores foram de  $R^2 = 0,71$ , RMSE = 11,20 e RPD = 1,84 com 9 fatores PLS. Já os modelos gerados para saturação por bases nos dois solos obtiveram valores de  $R^2 = 0,62$ , RMSE = 10,90, RPD = 1,59 no solo de textura argilosa e  $R^2 = 0,72$ , RMSE = 6,01, RPD = 2,07 no arenoso. Logo são modelos de calibração aceitáveis ( $0,66 < R^2 < 0,81$ ) a úteis ( $1,5 < RPD < 2,0$ ) e excelentes ( $RPD > 2,0$ ), segundo DUNN et al. (2002) e CHANG et al. (2001). Islam et al. (2003) em um experimento com diferentes solos de regiões agricultáveis da Austrália, obtiveram resultados semelhantes na calibração de modelos CTC ( $R^2 = 0,75$ ; RPD = 1,6).

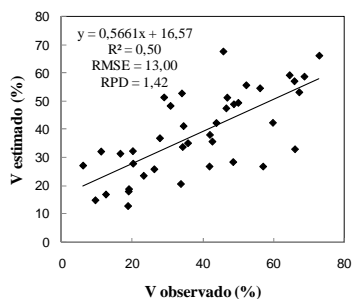
A CTC potencial é um atributo determinado pela soma das bases trocáveis, H e Al. Muitos trabalhos de literatura vêm obtendo correlações razoáveis com a energia refletida. Portanto, a energia que incide sobre esses elementos que compõem a CTC, reflete a capacidade de retenção. No solo arenoso, a CTC foi baixa para a maioria das amostras de terra (na faixa de 40  $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ). Ou seja, mesmo com dados sem alta variação, a correlação foi razoável ( $R^2 = 0,79$ ;  $\text{RPD} = 2,09$ ) (Figura 1), indicando que o que compõe a CTC está influenciando diretamente na energia refletida. Chang et al. (2001) encontraram para a CTC valores de  $R^2$  em torno de 0,81 e Demattê e Garcia (1999a) obtiveram 0,71. Entretanto, Demattê e Garcia (1999b) encontraram coeficientes menores que 0,5 para CTC e SB.

No solo de textura argilosa, para a saturação por bases, não foi obtida equação com resultados satisfatórios, apresentando coeficiente de determinação em torno de 0,50 (Figura1) mais baixos do que os verificados Genú (2002) com 0,77 para V %. Porém, este resultado foi semelhante ao encontrado por Demattê e Garcia (1999b) com coeficientes de determinação menores que 0,50 para V%.

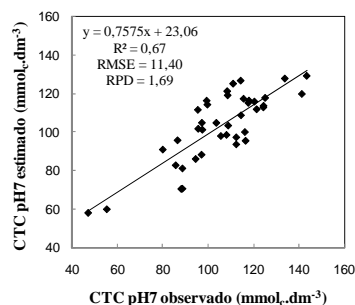
Foi realizada a comparação entre a NC usando os resultados analíticos e os teores estimados pela equação de regressão afim de elevar a saturação por bases para 70 % durante os quatro ciclos avaliados. A figura 5.2 mostra que houve correlação entre a NC determinada e a NC estimada com  $R^2$  de até 0,99, ou seja, os dados radiométricos permitiram estimar a quantidade de calcário a ser aplicada nestes solos do experimento. Este estudo concorda com autores como Janik et al. (1998), que obtiveram excelente predição da NC com  $R^2$  de 0,85 quando comparou a necessidade medida e predita na faixa no infravermelho médio.

#### 4) Conclusões

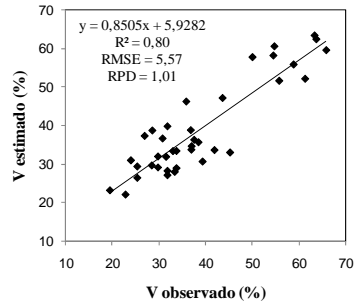
É possível estimar CTC e V % a partir da resposta espectral de solo para os referidos solos e modelos específicos. A metodologia utilizada tem potencial para auxiliar métodos convencionais de análise de solo, assim como ajudar na determinação da necessidade de calagem para utilização na Agricultura de Precisão, visando a redução de gastos com esta prática. Além da obtenção de resultados rápidos e precisos, esta técnica é menos prejudicial ao ambiente, uma vez que não produz resíduo.



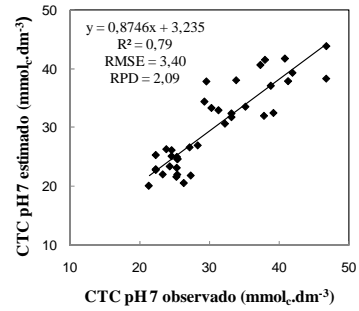
(a)



(a)

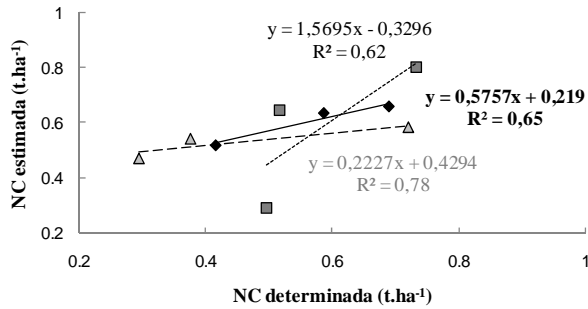


(b)

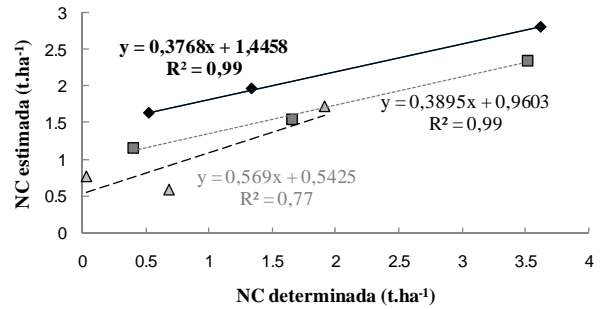


(b)

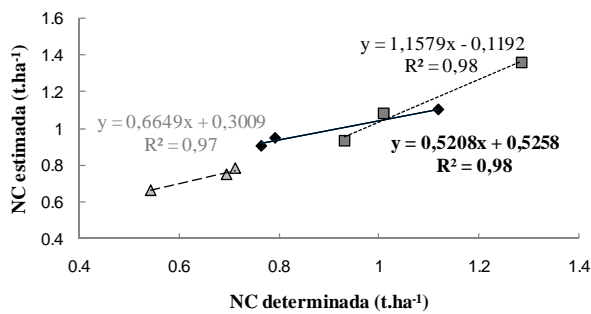
Figura 1 – Validação cruzada para avaliação do modelo PLSR da estimativa dos atributos avaliados no solo argiloso (a) e arenoso (b);  $R^2$ : coeficiente de determinação; RMSE: raiz quadrada do erro médio; RPD: desvio padrão do erro



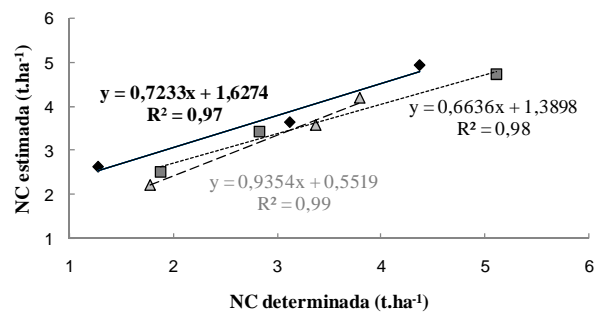
◆ Calcário A   ■ Calcário B   △ Calcário C



◆ Calcário A   ■ Calcário B   △ Calcário C



◆ Calcário A   ■ Calcário B   △ Calcário C



◆ Calcário A   ■ Calcário B   △ Calcário C

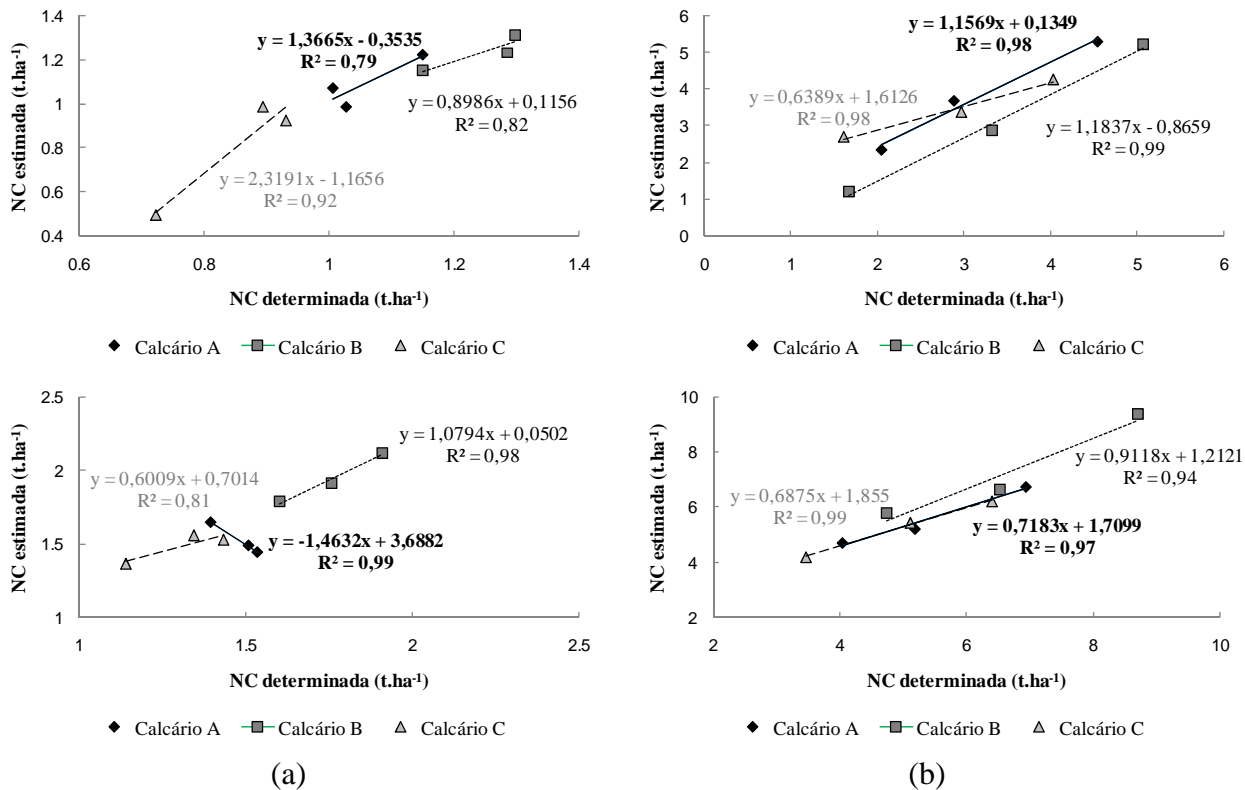


Figura 2 – Gráfico de correlação entre a necessidade de calagem (NC) determinada a partir dos resultados da análise de laboratório e da estimada através dos dados radiométricos do solo arenoso (a) e argiloso (b) para os quatro ciclos de cultivo

#### Referências

- ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; S.K, UPADHYAYA. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.44, p.71–91, 2007.
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. *Soil Science*, Baltimore, v.100, n.2, p.130-138, 1964-65.
- BULLOCK, P.; BRISCO, B.; HIROSE, T. Remote sensing for improving crop management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY. Lake Buena Vista, 200. Proceedings, Florida: Erim, 2000.p. II-487-494.
- CAMARGO, A.O.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- 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*, Baltimore, v. 65, p. 480-490, 2001.
- CHRISTY, C.D.; DRUMMOND, P.; D.A, LAIRD. An on-the-go Spectral Reflectance Sensor for Soil. ASAE Paper No. 031044. St. Joseph, Mich.:ASAE, 2003.
- DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Avaliação da atributos de Latossolo Bruno e de Terra Bruna Estruturada da região de Guarapuava, Paraná, por meio de sua energia refletida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.343-355, 1999b.
- DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. *Soil Science of America Journal*, Madison, v. 63, n. 2, p.327-342, Mar./Apr. 1999a.

- DEMATTÊ, J.A.M.; HUETE, A.R.; FERREIRA JUNIOR, L.G.; ALVEZ, M.C.; NANNI, M.R.; CERRI, C.E. Evaluation of tropical soils through ground and orbital sensors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000, Lake Buena Vista. **Proceedings**...Lake Buena Vista: Erim, 2000. p.34-41.
- DUNN, B.W.; BEECHER, H.G.; BATTEN, G.D.; CIAVARELLA, S. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Camberra, v.42, p.607-614, 2002.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. p217.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. p306.
- FIORIO, P.R. Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solo. Piracicaba, 2002. 198p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GE, Y.; THOMASSON, J. A.; SUI, R. Remote Sensing of Soil Properties in Precision Agriculture: A Review. 2006 ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon 9 - 12 July 2006. Paper Number: 061176. 2006.
- GENÚ, A.M. **Avaliação e quantificação de atributos do solo através de dados radiométricos obtidos em laboratório**. 2002. 64p. (Dissertação de Mestrado na área de Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F.; FRANZMEIER, D.P.; STOTT, D.E.; COSTER, D.C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, 865-872, 1992.
- ISLAM, K.; SINGH, B.; McBRATNEY, A. Simultaneous estimation of several properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 41, p. 1101-1114, 2003.
- JANIK, L.J., MERRY, R.H., SKJEMSTAD, J.O. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Camberra, v. 38, p.681-96, 1998.
- MALEKI, M.R. ; MOUAZEN, A.M. ; RAMON, H. ; BAERDEMAEKER, J. DE. Optimisation of soil VIS–NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil E Tillage Research*, n.94, p.239-250. 2007.
- MIN, M.; LEE, W.S. Determination of significant wavelengths and prediction of nitrogen content for citrus. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 48, n.2, p.455-461, 2005.
- NANNI, M.R. **Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos**. 2000. 366p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2000.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, C.O. **Análise química do solo para fins de fertilidade** – Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- SAYES, W.; MOUAZEN, A. M.; RAMON, H. Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. **Biosystems Engineering**, Cambridge, v.91, p.393-402, 2005.
- SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, , p.988-998, May-June 2002.
- VISCARRA-ROSSEL, R.A.; JEON, Y.S.; ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. Using a legacy soil sample to develop a mid-IR spectral library. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.46, p. 1-16, 2008.
- VISCARRA ROSSEL, R.A. ParLeS: Software for chemometric analysis of spectroscopic data. **Chemometrics Intelligent Laboratory. Systems**, cidade, v.90, p.72-83, 2008.
- WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; SODERSTROM, M. The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. **Precision Agriculture**, New York, v.9, p.57–69, 2007.



WORKMAN, J. J. NIR spectroscopy calibrations basics. In: BURNS, D.A.; CIUREZAK, E.W. (Ed.) **Handbook of near infrared analysis** New York:Editora , 1992. p. 247-280.