



## Análise multivariada de atributos físicos na camada superficial de Latossolos cultivados com cana-de-açúcar<sup>(1)</sup>.

Francisco Carlos Almeida de Souza<sup>(2)</sup>; Carolina Fernandes<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Projeto financiado pela FAPESP (Processo nº 2011/06491-0);

<sup>(2)</sup> Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo); Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Departamento de Solos e Adubos; UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal; São Paulo; E-mail: carlos.agrofertil@outlook.com;

<sup>(3)</sup> Professora Assistente Doutora do Departamento de Solos e Adubos; UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal; São Paulo.

**RESUMO:** Atributos físicos do solo são excelentes indicativos quando se pretende avaliar sistemas de manejo e uso do solo. Objetivou-se neste trabalho estudar alguns atributos físicos de dois Latossolos Vermelhos submetidos a diferentes usos do solo no período de reforma do canavial. O estudo foi conduzido em duas áreas localizadas no município de Jaboticabal-SP (21°14'05" S, 48°17'09" W e altitude média de 615 metros): uma com Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) de textura muito argilosa e outra com Latossolo Vermelho ácrico (LVw) de textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos diferentes usos do solo: soja/milheto/soja (SMS), soja/crotalária/soja (SCS), soja/pousio/soja (SPS) e soja (S). Foram avaliados os seguintes atributos do solo: diâmetro médio ponderado dos agregados, índice de estabilidade dos agregados em água, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, resistência do solo à penetração e teor de matéria orgânica. Os dados foram submetidos a análises estatísticas multivariadas, a fim de verificar semelhanças entre os tipos de solos através da análise de agrupamentos e componentes principais. A divisão mostrou que os solos LVw e LVef possuem características que os ordenam conforme os atributos físicos. O uso das técnicas de análises multivariadas foi eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos físicos do solo em cada área estudada.

**Termos de indexação:** *Saccharum officinarum*, usos do solo, reforma de canavial.

### INTRODUÇÃO

O solo é o recurso responsável pela produtividade agropecuária, manutenção da qualidade do meio ambiente e, conseqüentemente, pela sustentação de plantas, animais e seres humanos. No entanto, o uso inadequado do solo tem ocasionado a degradação de seus atributos físicos, químicos e biológicos como, por exemplo, a desestruturação, a compactação, a redução da

fertilidade e a perda da matéria orgânica (Leite et al., 2010).

No Brasil, a expansão de cultivos com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) tem ganhando destaque no cenário agrícola, devido principalmente a sua utilização como matéria prima para a produção de duas commodities de grande importância para a balança comercial brasileira: o açúcar e o etanol.

Esta cultura é considerada semi-perene e pode permanecer no campo por um período médio entre seis e oito anos, ou mais, dependendo das condições edafoclimáticas de cultivo e do manejo adotado (Silva & Fernandes, 2014).

Dessa forma, essa característica da cana-de-açúcar acaba restringindo o uso da diversificação de culturas apenas ao período de reforma do canavial. É possível a utilização de espécies nesse período, que contribuam para melhorar a qualidade do solo, tanto para gerar receita para o produtor, quanto para melhorar os atributos físicos do solo. Algumas espécies que se destacam são a soja (*Glycine Max*), o milheto (*Pennisetum americanum*) e a crotalária (*Crotalaria juncea*).

Os atributos físicos do solo são modificados no decorrer do ciclo da cultura devido a pressão que recebe durante as operações agrícolas, justificando a utilização dessas plantas no momento de reforma de canavial, que melhoram tais atributos.

Nesse sentido a hipótese testada neste trabalho foi de que a diversificação de culturas durante a reforma do canavial melhora os atributos físicos do solo cultivado com a cana-de-açúcar no 2º corte.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes usos do solo no período de reforma do canavial em atributos físicos de Latossolos, Vermelho eutroférico (LVef) e Vermelho ácrico (LVw) na camada de 0,0-0,1 m de profundidade, com auxílio da análise estatística multivariada.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas áreas localizadas no município de Jaboticabal-SP (21°14'05" S, 48°17'09" W e altitude média de 615 metros): uma com Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) de textura muito argilosa, caracterizada como



ambiente A de produção de cana-de-açúcar, e outra com Latossolo Vermelho ácrico (LVw) de textura argilosa, caracterizada como ambiente C de produção de cana-de-açúcar. A granulometria e o atributos químicos na camada de 0,0-0,1 m foram:

LVef: areia 140 g kg<sup>-1</sup>; silte 180 g kg<sup>-1</sup>; argila 680 g kg<sup>-1</sup>; MO 37,8 g kg<sup>-1</sup>; pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,4; P<sub>(res)</sub> 41 mg dm<sup>-3</sup>; k<sup>+</sup> 5,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> 66 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> 25 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al 39 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC 135,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V% 71.

LVw: areia 440 g kg<sup>-1</sup>; silte 120 g kg<sup>-1</sup>; argila 440 g kg<sup>-1</sup>; MO 30,0 g kg<sup>-1</sup>; pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,7; P<sub>(res)</sub> 45 mg dm<sup>-3</sup>; k<sup>+</sup> 3,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> 68 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> 24 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al 27 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC 122,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V% 78.

O clima foi caracterizado de acordo com a classificação climática de Köppen como Aw, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio superior a 18°C e precipitação média anual de 1400 mm. As chuvas se concentram no período de outubro a março, podendo haver relativo período de seca de abril a setembro.

Os tratamentos foram constituídos pelos diferentes usos do solo no período de reforma do canavial. Os usos foram: soja/milheto/soja (SMS), soja/crotalária/soja (SCS), soja/pousio/soja (SPS) e soja (S). Nos tratamentos SMS, SCS e SPS, a soja (*Glycine max*) foi cultivada nos períodos de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 e outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

O plantio da cana-de-açúcar ocorreu após a reforma do canavial, em fevereiro de 2010, no sistema semi-mecanizado. Foi utilizada a variedade SP87365 e RB835054 no LVef e no LVw, respectivamente.

Foram coletadas amostras de solo na camada 0,0-0,1 m.

As amostras deformadas de solo foram coletadas em três pontos da área útil da parcela, constituindo uma amostra composta. Nessas amostras foram determinados o índice de estabilidade de agregados (IEA) (Nimmo & Perkins, 2002), o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) (Nimmo & Perkins, 2002) e o teor de matéria orgânica (MO) (Raij, 2001).

As amostras indeformadas de solo foram coletadas com cilindros volumétricos (0,05 x 0,0475 m) em três pontos da área útil de cada parcela. Nessas amostras foi determinada a densidade do solo (Ds) (Grossman & Reinsch 2002), a porosidade total (PT), a macroporosidade (MAC) e a microporosidade (Micro) (Embrapa, 1997) e resistência do solo à penetração (RP) (Tormena et al., 1998).

Os dados foram submetidos a análises estatísticas multivariadas, a fim de verificar

semelhanças entre os tipos de solos de acordo os usos, na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos físicos. Realizou-se análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Para reduzir os erros, devido às escalas e às unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1.

Foi realizada análise de componentes principais e determinado autovalores das componentes principais que, segundo o critério de KMO, foram excluídas as componentes que não se enquadraram nesses parâmetros.

O critério adotado para a escolha do número de componentes foi selecionar aquelas que apresentaram autovalores acima de 1,00 e conseguiram sintetizar uma variância acumulada acima de 70% (Hair Junior, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a análise de agrupamento hierárquico para o conjunto de variáveis estudadas, foi possível a divisão de dois grandes grupos que se assemelharam devido aos atributos físicos do solo (**Figura 1**).

A divisão mostrou que os solos Latossolo Vermelho (LVw) e Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) possuem características que os ordenam conforme os atributos físicos do solo. Sendo assim, foi admitido um corte na distância euclidiana de 5, favorecendo desta forma uma divisão em que todos os usos do solo (SPS, SMS, S e SCS) ficaram agrupados conforme o tipo de solo (**Figura 1**).

A diferenciação dos grupos foi marcante, pois as características dos atributos do solo de um mesmo grupo são semelhantes e quando comparadas com as características do outro grupo apresentam comportamento diferente (Valladares et al., 2008).

Então, para confirmar a análise de agrupamentos e verificar quais os atributos físicos do solo que discriminam mais o uso e o tipo de solo durante a reforma do canavial foi realizada a análise de componente principais (ACP) (**Figura 2**).

Na ACP foi possível identificar que o tipo de solo LVw e LVef apresentaram bastante dissimilaridade. Mas os atributos físicos do solo avaliados neste trabalho ficaram em grande parte ligados ao LVef, distribuído da seguinte forma conforme o uso do solo na reforma do canavial: diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) ficaram ligados ao LVef\_SMS e LVef\_SPS e os atributos microporosidade (Micro) e porosidade total (PT) ficaram ligados ao LVef\_SCS e o estoque de carbono (Est C) ficou ligado ao LVef\_S.

Os atributos Ds e RP ficaram no mesmo quadrante (**Figura 2**), demonstrando a forte ligação



entre eles, que apresentaram forte correlação com os solos sob uso de LVw\_SCS e LVw\_S.

Os autovetores apresentados na **tabela 1** correspondem às duas principais componentes e podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável, em relação às componentes principais, sendo os sinais, positivos ou negativos, indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente.

**Tabela 1** – Correlação entre cada componente principal e atributos físicos do solo na profundidade de 0,0-0,1 m.

ATRIBUTOS	Componente principal	
	CP 1	CP 2
DMP	0,791011	0,422008
IEA	0,939621	0,281153
PT	0,986997	-0,103855
MACRO	-0,637954	-0,081996
MICRO	0,990321	-0,066745
Ds	-0,979294	0,111497
RP	-0,173192	0,965696
Est C	0,934265	-0,219698

A correlação entre as variáveis e as componentes principais permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram no uso e diferenciação dos solos. Quanto ao percentual de variância explicado pelas componentes principais (CPs), verifica-se que, na profundidade 0,0-0,1 m, a primeira e a segunda componentes são responsáveis por 87,55% da variância total, sendo 72,65% na CP1 e 15,90% na CP2.

As variáveis mais fortemente relacionadas com a área sob LVef (680 g kg<sup>-1</sup> de argila), foram Est C, microporosidade, porosidade total, IEA e DMP (**Figura 2**), apresentando-se, no segundo e terceiro quadrantes, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas. Quanto aos maiores valores de MO, Genu et al. (2013) afirmam que elevados teores de matéria orgânica estão relacionados a maiores teores de argila nos solos.

## CONCLUSÕES

O Latossolo Vermelho ácrico (LVw) apresenta maior relação com a densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP), enquanto o Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) está mais relacionado com a porosidade total (PT), índice de

estabilidade de agregados (IEA) e estoque de carbono (Est C).

As técnicas de análises multivariadas mostraram que os principais atributos físicos do solo para distinção entre as áreas são RP, Ds, Est C, microporosidade e IEA.

O uso das técnicas de análises multivariadas é eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos físicos do solo nas áreas estudadas.

## REFERÊNCIAS

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual e métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1).
- GENU, A. M. et al. Caracterização e comparação do comportamento espectral de atributos do solo obtidos por sensores orbitais (ASTER e TM) e terrestre (IRIS). *Ambiência*, 9:279-288, 2013.
- GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (eds.). *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America, 2002. Part 4, p.201-228. (Book-Series, 5).
- HAIR JUNIOR, J. F. et al. *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 688.
- LEITE, L. F. C. et al. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, 48: 258-265, 2010.
- NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C.; eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Soil Science Society of America, 2002. Part 4, p.317-328 (SSSA, Book-Series, 5).
- RAIJ, B. V. et al. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 284p.
- SILVA, R. P; FERNANDES, C. Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:575-584, 2014.
- TORMENA, C. A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 573-581, 1998.
- VALLADARES, G. S. et al. *Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:285-296, 2008.

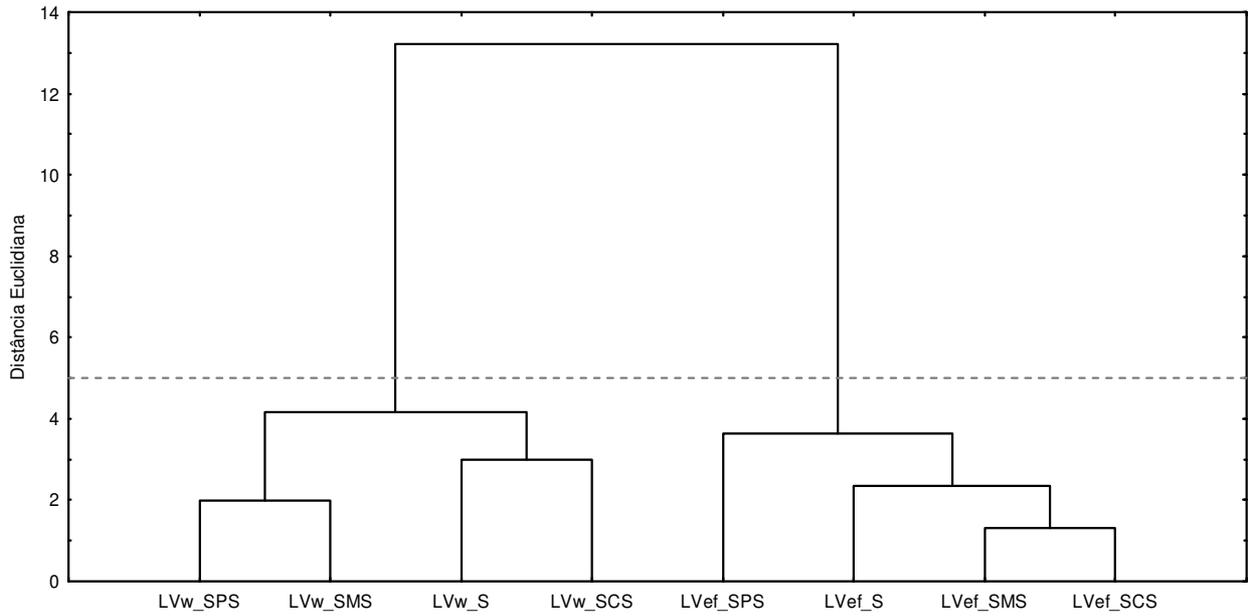


Figura 1 – Dendrograma das inter-relações referentes aos atributos físicos do solo pela distância euclidiana média na profundidade de 0,0-0,1 m.

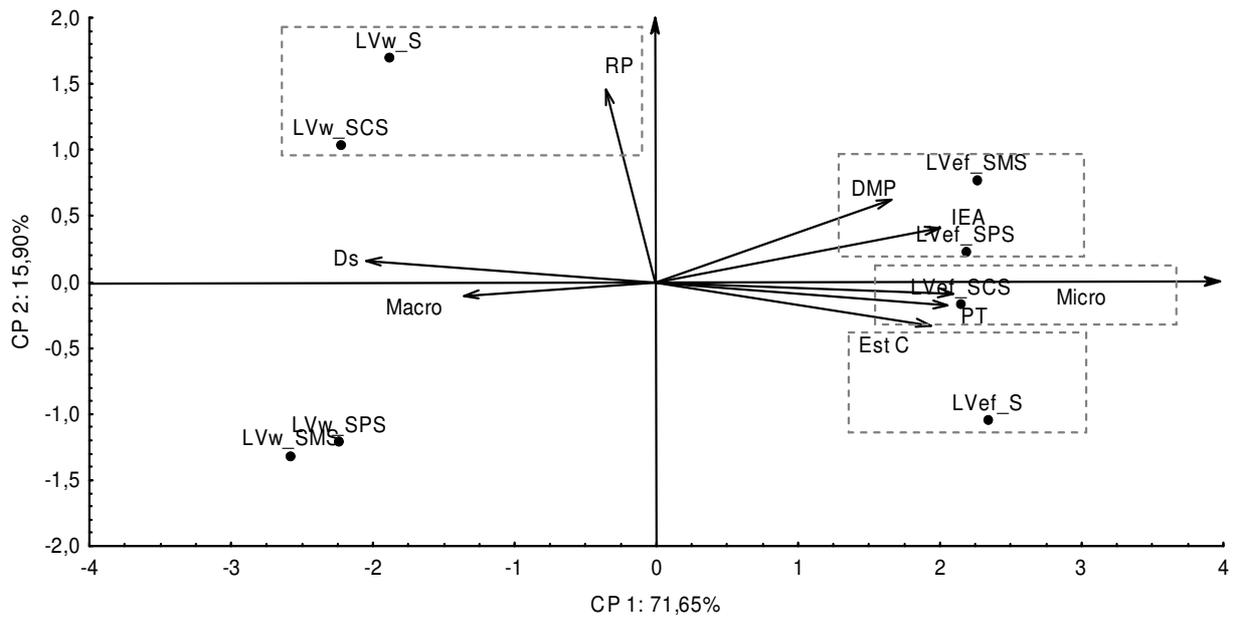


Figura 2 – Biplot dos componentes principais dos atributos físicos do solo na profundidade de 0,0-0,1 m.