

Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos

Ludmila de Freitas¹, José Carlos Casagrande², Ivanildo Amorim de Oliveira¹,
Milton Cesar Costa Campos³, Laércio Santos Silva¹

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Zona Rural, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: ludmilafreitas84@gmail.com; ivanildoufam@gmail.com; laerciosantos18@gmail.com

² Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Rodovia Anhanguera, km 174, Zona Rural, CEP 13600-970, Araras-SP, Brasil. Caixa Postal 153. E-mail: bighouse@cca.ufscar.br

³ Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Rua 29 de Agosto, 786, Bairro Divino Pranto, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil. E-mail: mcesarsolos@gmail.com

RESUMO

A conversão de ambientes naturais em sistemas agropecuários, especialmente sistemas de monocultivo, provoca alterações nos atributos do solo, em geral, desfavoráveis ao crescimento do vegetal. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos (cana-de-açúcar, floresta e reflorestamento), com o uso de técnicas de estatística multivariada. Em cada área foram coletadas, aleatoriamente, quatro amostras (compostas por quinze subamostras), nas camadas de 0,0-0,1, e 0,1-0,2 m e avaliados os atributos químicos: pH, matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, além dos atributos físicos: macro e microporosidade, densidade do solo, areia, silte e argila. Em seguida os dados foram submetidos às análises estatísticas multivariadas. As análises de agrupamentos e componentes principais permitiram identificar a formação de três grupos, um formado pela mata nativa, o segundo pela área em reflorestamento e o terceiro pela área cultivada com cana-de-açúcar. O uso das técnicas multivariadas foi eficiente para verificar as similaridades e/ou diferenças, com base nos atributos químicos e físicos do solo dos ambientes estudados.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, mata nativa, reflorestamento

Multivariate techniques in the evaluation of attributes of an Red Latossol under different managements

ABSTRACT

The conversion of natural environments in livestock systems, especially systems of monoculture, causing changes in soil attributes. The objective of this study was to evaluate changes in chemical and physical attributes of an red Latossol under different managements (sugarcane, native forest and reforested area), with the use of multivariate statistical techniques. In each area, were collected, randomly, four samples (composed by 15 points), in the layers of 0.0-0.1, and 0.1-0.2 m. Were evaluated chemical attributes: pH, organic matter, potassium, calcium, magnesium, total acidity, aluminum, available concentrations of sulfur, boron, copper, iron, manganese and zinc, and the physical attributes: macro and microporosity, bulk density, sand, silt and clay concentrations. The data were performed to multivariate statistical analyzes. The cluster analyses and principal components have allowed to identify the formation of three groups formed by native forest, the second by area in reforestation and the third by the area cultivated with sugar-cane. The use of techniques of multivariate analysis was efficient to check the similarities and/or differences, based on chemical and physical attributes of the soil of the environments studied.

Key words: sugarcane, native forest, reforestation

Introdução

O solo é um recurso responsável pela produtividade agropecuária, pela manutenção da qualidade do meio ambiente e, conseqüentemente, pela sanidade de plantas, animais e seres humanos (Sharma et al., 2005). No entanto, o uso inadequado do solo tem ocasionado a degradação de seus atributos físicos, químicos e biológicos como, por exemplo, a desestruturação e compactação, redução da fertilidade, perda da matéria orgânica e diminuição da diversidade e quantidade de organismos no solo (Leite et al., 2010).

No Brasil, a expansão de cultivos com cana-de-açúcar tem ocupado grandes áreas, principalmente no sistema de cultivo convencional. No estado de São Paulo, áreas cobertas por floresta natural vêm sendo gradativamente substituídas por canaviais e mantidas por períodos superiores a 60 anos (Freitas, 2009), causando alterações nos atributos do solo. Em se tratando da qualidade química, muitos estudos mostram que as modificações desses atributos são decorrentes dos diferentes sistemas de manejo agrícola (Freitas et al., 2012; Oliveira, 2013). Devido às alterações nos teores de nutrientes do solo e o conhecimento da fertilidade dos solos, é um dos fatores primordiais para a obtenção de sucesso na atividade agrícola (Frazão et al., 2008).

Segundo Collares et al. (2008), a conversão de áreas naturais em sistemas agrícolas provoca mudanças significativas nos atributos físicos do solo. Em razão do revolvimento do solo, tráfego contínuo de máquinas e equipamentos agrícolas, há alteração estrutural, aumentos da densidade do solo, resistência do solo à penetração e redução da macroporosidade (Raper, 2005).

O estudo do comportamento dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo, conforme destacam Reichert et al., (2009) segundo os quais, por serem parâmetros sensíveis, essas propriedades são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo, em referência a um sistema de manejo determinado.

O uso de técnicas estatísticas favorece o conhecimento dos atributos do solo permitindo, assim, o estabelecimento de práticas de manejo adequadas. Desta forma, as análises estatísticas convencionais não são, muitas vezes, suficientes para descrever as interações neste sistema (Silva et al., 2010b). Uma das soluções propostas é a utilização da estatística multivariada por possuir maior capacidade de descrever as relações de intra e interdependência nos sistemas agrícolas (Marques Júnior, 2009).

Apesar da grande importância dos métodos estatísticos multivariados para interpretações das variações dos atributos do solo, poucos são os trabalhos que fazem uso desta ferramenta pois a maioria utiliza métodos estatísticos univariados (Silva et al., 2010a). No entanto, alguns estudos têm aplicado técnicas multivariadas para avaliação das variáveis do solo e encontrado resultados satisfatórios (Campos et al., 2012; Pragrana et al., 2012; Oliveira, 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho

distrófico submetido a diferentes manejos, com o uso de técnicas de estatística multivariada.

Material e Métodos

As áreas estudadas se localizam no nordeste do Estado de São Paulo, no município de Santa Ernestina (SP), cuja localização geográfica da área cultivada com cana-de-açúcar (C.A) é 21° 27' 39" S e 48° 19' 71" W, área com floresta (F) é 21° 27' 44" S e 48° 19' 29" W e área com reflorestamento (R) é 21° 31' 29" S e 48° 19' 27" W. Os locais apresentam altitude aproximadamente de 600 m e o clima é o Cwa, segundo a classificação de Köppen, do tipo mesotérmico com inverno seco, precipitação pluvial média de 1.400 mm e chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. O solo das áreas foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, segundo SiBCS (Embrapa, 2013), com relevo plano.

Foram escolhidas três áreas contíguas com os seguintes manejos: a) área com floresta, caracterizada como floresta estacional semidecidual tropical subcaducifólia, área sem histórico de perturbação antrópica com 18 hectares de extensão; b) área sob cultivo de cana-de-açúcar, cultivada há 60 anos, com extensão de 50 hectares, com preparo convencional utilizando-se apenas torta de filtro e, c) área com reflorestamento com espécies nativas, implantada há oito anos sendo que anteriormente, foi explorada com a monocultura de cana-de-açúcar por 40 anos na qual foram introduzidas algumas espécies nativas, tais como o Ipê-amarelo, pau-jacaré, canafistula, teca, jambolão etc. (Figura 1). A composição média da torta de filtro, segundo Ferreira et al. (1986), expressa em % da matéria seca sendo 77 a 85 de MO; 1,1 a 1,4 de N; 1,04 a 2,55 de P₂O₅; 0,3 a 0,96 de K₂O; 4,07 a 5,46 de CaO; 0,15 a 0,56 de MgO e 2,70 a 2,96 de S. Nunes Júnior (2008) completa esta composição mostrando que a torta de filtro também é rica em micronutrientes sendo 0,8% a 1,2% de Fe, 500 a 800 mg dm⁻³ de Mn, 40 a 80 mg dm⁻³ de Cu e 150 a 220 mg dm⁻³ de Zn.

Cada área foi subdividida em quatro subáreas, sendo coletada uma amostra composta de 15 subamostras aleatórias em cada subárea, totalizando 4 repetições em cada área nas

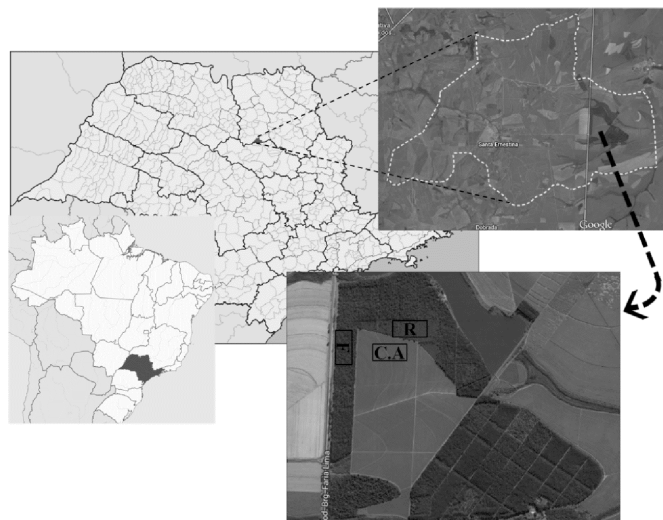


Figura 1. Localização das áreas: C.A= área cultivada com cana de açúcar; R= Área com reflorestamento; F= Área com Floresta

profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, no total de oito amostras por área.

Foram determinados os atributos químicos do solo, de acordo com os métodos propostos pela Embrapa (2011): pH (CaCl₂), matéria orgânica do solo, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, disponibilidade de P resina, a acidez potencial (H+Al), B, S, Fe, Mn e Zn. A caracterização química dos solos e as diferentes áreas, estão na Tabela 1.

Foram coletadas amostras indeformadas na forma de anel cilíndrico, coletadas nas minitrincheiras, nas profundidades de 0,0-0,10 m e de 0,10-0,20 m. A densidade do solo foi medida de acordo com o método proposto por Grossman & Reinsch (2002). A porosidade total, macroporosidade e microporosidade, foram avaliadas através do método proposto pela Embrapa (2011).

Nas amostras deformadas coletadas nas profundidades 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, foi determinada a análise granulométrica realizada pelo método da pipeta utilizando-se uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia total por tamisação e o silte foi calculado por diferença. Os baixos teores de silte indicam que são solos bastante intemperizados já que a reduzida relação silte/argila, segundo Embrapa (2013), é um indicador do grau de intemperização do solo. A caracterização física dos solos e as diferentes áreas, estão na Tabela 2.

Os dados foram submetidos à estatística descritiva para a obtenção das médias de cada atributo por uso do solo e à análise estatística multivariada. A fim de identificar a similaridade das áreas estudadas utilizou-se, como ferramenta, a análise de agrupamento (análise de cluster) e o algoritmo de Ward. Os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, em que se encontram as maiores distâncias cujos grupos foram formados. O dendrograma obtido pela análise de agrupamento apresenta, no eixo vertical, o nível de similaridade e, no eixo horizontal, as áreas, formando as classes homogêneas. À medida que o nível de fusão aumenta, o nível de similaridade decresce. Então, traçar uma linha horizontal no dendrograma significa traçar a Linha Fenon, como é chamada, o que delimitará o número de grupos a se formar. Além de buscar o menor nível de distorção que o processo aglomerativo possa trazer, segundo Freitas et al. (2014) é preciso ter conhecimento, pelo pesquisador, de seu objeto de pesquisa, ao decidir o ponto a ser efetuado o 'corte'.

Tabela 2. Atributos físicos do solo nas diferentes áreas estudadas na região de Santa Ernestina, SP

Áreas	Ds g cm ⁻³	Atributos Físicos				
		Micro	Macro	Argila	Areia	Silte
%						
Camada de 0,0 - 0,1 m						
Cana-de-açúcar	1,7	15,5	24,0	30,2	69,7	0,0
Reflorestamento	1,5	16,1	31,0	29,2	70,2	0,0
Floresta	1,2	16,4	39,2	31,0	68,7	0,0
Camada de 0,1 - 0,2 m						
Cana-de-açúcar	1,73	15,4	22,2	29,2	70,7	0,0
Reflorestamento	1,48	15,2	30,7	31,2	68,7	0,0
Floresta	1,23	16,2	39,1	31,2	68,7	0,0

Micro=microporosidade, Macro= macroporosidade, Ds=densidade do solo, areia, silte e argila.

Para determinar quantos componentes devem ser excluídos da análise, foram determinados os autovalores e o gráfico de scree-plot, que é um gráfico dos autovalores em função da ordem das componentes principais representando, graficamente, a porcentagem de variância explicada por cada atributo. Quando esta porcentagem se reduz e a curva passa a ser quase paralela ao eixo das abscissas, os componentes correspondentes podem ser excluídos. O critério adotado para a escolha do número de componentes foi selecionar aqueles que apresentaram autovalores acima de 1,00 e conseguiram sintetizar uma variância acumulada acima de 70 % (Hair et al., 2005).

A análise de agrupamento foi complementada com a de componentes principais, visando obter um conjunto menor de combinações lineares das variáveis que preservassem a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais (Silva et al., 2010b). Esta análise possibilita avaliar qualitativamente as características de cada área e verificar as variáveis que mais estão relacionadas com cada uma delas. Segundo Pragana et al. (2012), para reduzir os erros devidos às escalas e as unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1 para assegurar que todas as variáveis contribuíssem igualmente para o modelo, independente da escala.

O efeito do manejo do solo e sua interação sobre cada variável original e fator extraído foram testados pelo General Linear Model (GLM), utilizado como análise de variância (MANOVA), no qual este procedimento analisou as áreas (com três usos diferentes) com os atributos estudados. O objetivo desta análise foi verificar se os valores de F formados pelas médias das variáveis analisadas conjuntamente diferiram quando os ambientes foram contrastados entre si. Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software Statistica[®] versão 7.0 (Statsoft, 2004).

Tabela 1. Atributos químicos do solo nas áreas estudadas, região de Santa Ernestina, SP

Áreas	Atributos Químicos												
	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mmol dm ⁻³													
Camada de 0,0 - 0,1 m													
C.A ⁽¹⁾	15,0	6,2	2,8	24,3	10,3	22,0	0,8	9,5	0,6	0,9	77,7	47,5	1,1
R ⁽²⁾	15,2	4,7	1,3	16,5	5,5	42,5	2,4	7,5	0,7	1,1	81,3	60,2	1,2
F ⁽²⁾	20,0	3,8	1,4	2,0	2,5	84,0	16,6	9,3	0,6	0,8	140,5	46,7	0,4
Camada de 0,1 - 0,2 m													
C.A ⁽¹⁾	13,5	5,9	2,4	22,7	9,2	27,5	0,8	8,5	0,5	0,9	68,7	36,5	0,9
R ⁽²⁾	14,3	4,6	2,3	16,2	5,5	44,2	2,2	8,0	0,6	1,1	80,5	53,5	1,2
F ⁽²⁾	18,5	3,8	2,5	1,75	2,5	74,2	16,3	11,2	0,4	0,8	136,3	46,7	0,4

Médias de quatro repetições; ⁽¹⁾ cana-de-açúcar; ⁽²⁾ reflorestamento; ⁽³⁾ floresta. pH, MO=matéria orgânica; K=potássio; Ca= cálcio, Mg=magnésio, H+Al=acidez potencial, Al=alumínio; S= enxofre, B= boro; Cu=cobre; Fe=ferro; Mn= manganês; Zn= zinco.

Resultados e Discussão

Com a análise de agrupamento hierárquico (Figura 2), obtido da matriz de dados padronizados, objetivou-se avaliar a semelhança das áreas de estudo. Cada vez que se obtém variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas, é possível fazer uma divisão de grupos. A referida divisão mostrou uma ordenação dos acessos, segundo a qualidade do solo. Nesta análise as áreas (C.A, R e F) foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos (Figuras 2A e 2B).

Observa-se que tanto na profundidade de 0,0-0,1 m quanto na profundidade de 0,1-0,2 m, que as áreas de cana-de-açúcar e com reflorestamento apresentaram maior semelhança por possuírem a menor distância euclidiana. Nas profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m (Figuras 2A e 2B) foi admitido um corte na distância euclidiana de 5,0 e 4,8 permitindo uma divisão clara de dois grupos: o G1, englobando os dados formados pela área da floresta e o G2, formado pela área reflorestada e cana-de-açúcar evidenciando, assim, que a área de floresta possui diferença em relação às demais áreas aos atributos analisados.

Pode-se, também, observar a formação de outros dois grupos admitindo-se um corte na distância euclidiana de 4,6, e 4,3 no qual o G1 é composto pela floresta e o G2 pela área com cana-de-açúcar e a área com reflorestamento, apresentando maior similaridade entre eles e o outro grupo somente pela mata nativa (Figuras 2A e 2B).

Esta separação dos pontos da floresta com a área cultivada e com reflorestamento, salienta o fato de que o cultivo de cana-de-açúcar deve produzir uma modificação acentuada no solo fazendo com que o mesmo se torne diferente do solo originalmente coberto por floresta. Segundo Spera et al. (2004), sempre que essas áreas vão sendo incorporados ao processo produtivo, os atributos do solo sofrem alterações. As diferenças são devidas às variações de fertilidade natural da mata e aquelas decorrentes de diferentes aportes de fertilizantes na cana-de-açúcar, além de ser influenciada pelo manejo do solo na implantação e manutenção da cultura e também pelo uso de implementos agrícolas.

Os agrupamentos formados pela análise de cluster confirmam a diferença de ambientes, visto que os três ambientes estudados estão nitidamente separados. A diferenciação dos grupos foi marcante, sobremaneira no grupo formado pela

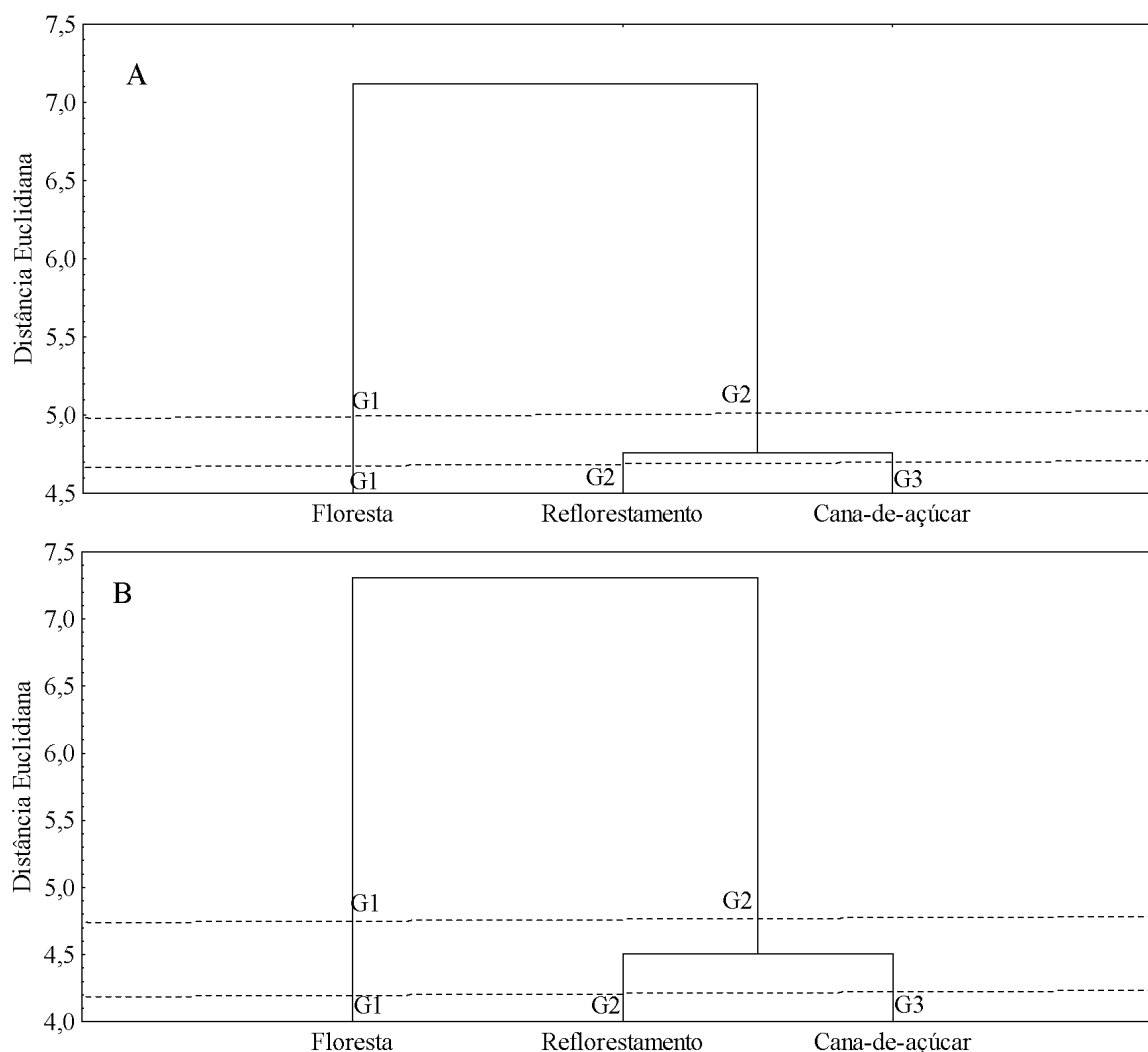


Figura 2. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos, segundo os atributos analisados na região de Santa Ernestina. A = profundidade 0,0-0,1 m; B = profundidade 0,1-0,2 m

mata nativa e o outro formado por cana-de-açúcar e área com reflorestamento, mostrando as particularidades de cada ambiente visto que as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos (Valladares et al., 2008).

Essas diferenças de agrupamento resultam, portanto, das diferenças dos atributos observadas possibilitando uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas. Os atributos que promoveram a ausência de similaridade da floresta com as demais áreas e, contrariamente, a grande proximidade do ambiente cultivado com cana-de-açúcar e área com reflorestamento, podem ser evidenciados nos resultados

do gráfico de scree-plot (Figura 3) e análise de componentes principais (Figura 4).

A análise de componentes principais vem confirmar a análise de agrupamento para os ambientes estudados (Figura 2), com a formação de três grupos que correspondem à diferenciação de três tipos de ambientes. Pragana et al. (2012), avaliaram o efeito do plantio direto na alteração das características físicas de Latossolos Amarelos cultivados com soja. Estes mesmos autores observaram, ao submeter os dados à análise de agrupamento, que os tratamentos com solos sob plantio direto formaram grupos distintos do campo natural, o que demonstra a alteração dos atributos físicos do solo em relação à mata nativa.

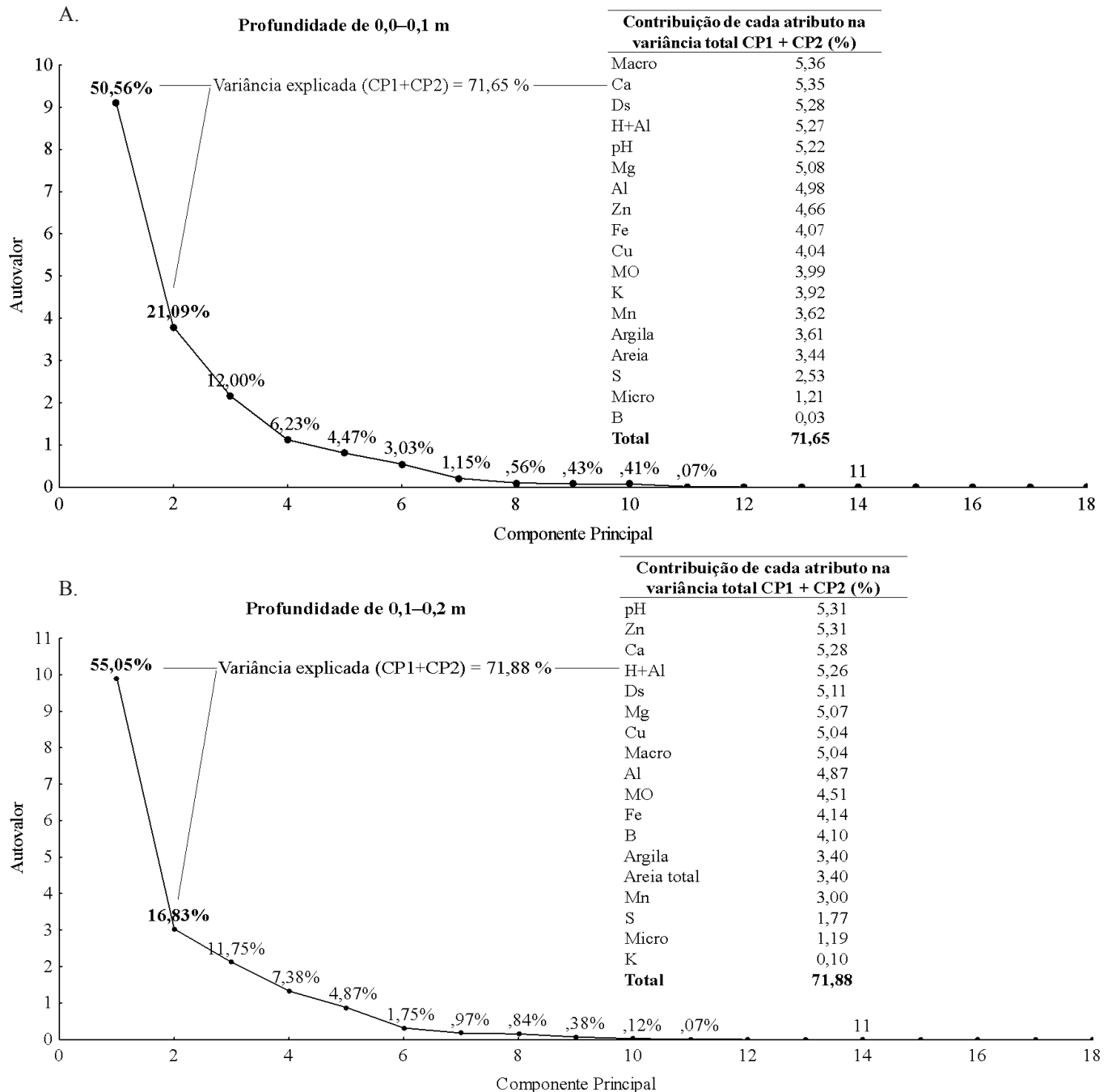


Figura 3. Proporção da variação no conjunto de dados explicada pelo componente principal (PC) e contribuição de cada variável para explicação da variância total pelo método "scree-plot" para as análises dos atributos do solo de diferentes manejos na região de Santa Ernestina, SP. A = profundidade 0,0 – 0,10 m; B = profundidade 0,10 – 0,20 m

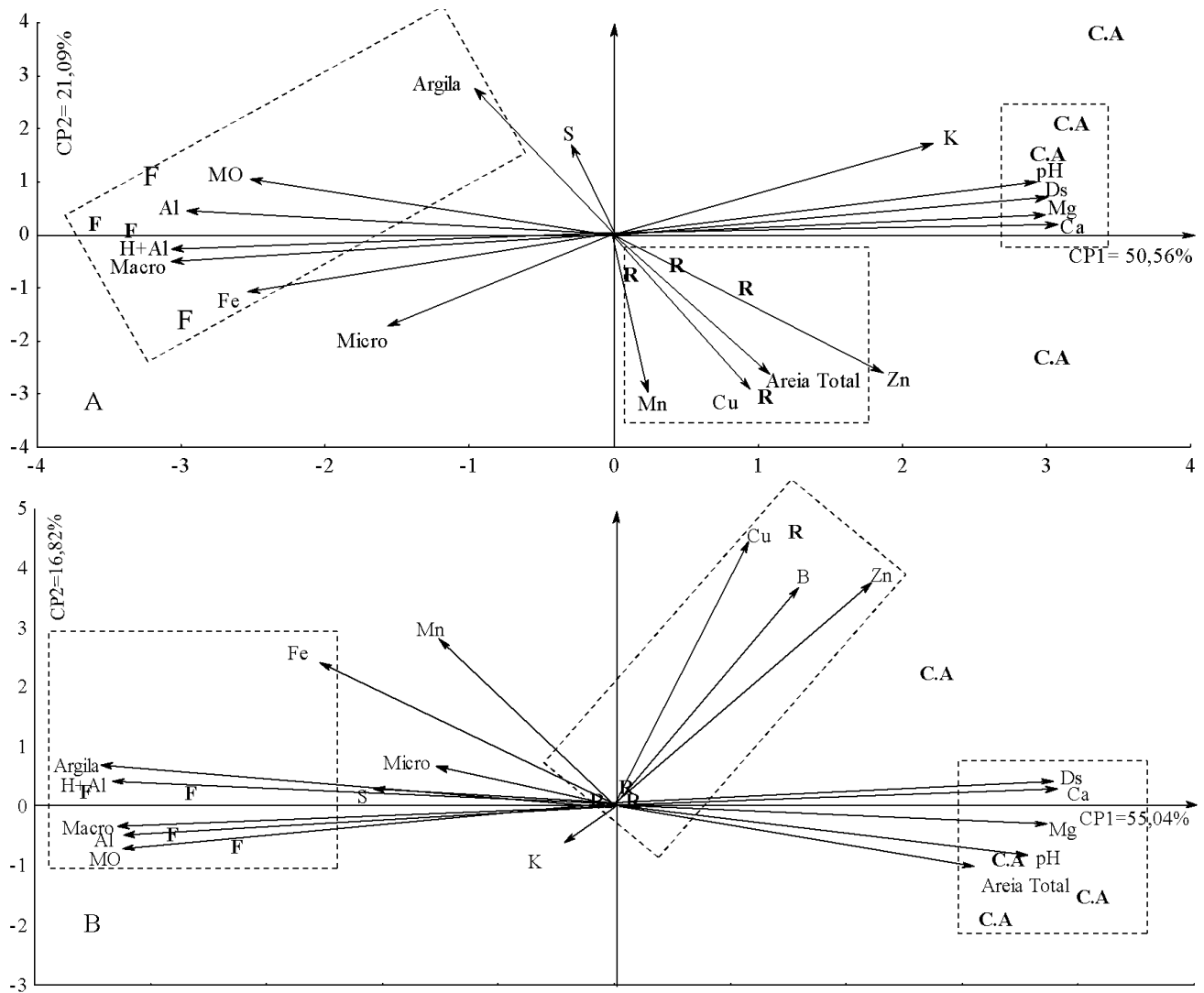


Figura 4. Análise de componentes principais (ACP) com base nas variáveis do solo nos diferentes ecossistemas estudados na região de Santa Ernestina. C.A.= cana-de-açúcar; AR= Reflorestamento; F= Floresta. A = profundidade 0,0-0,1 m; B = profundidade 0,1-0,2 m

O gráfico do “scree-plot” (Figura 3) pode ser usado para a verificação da importância e contribuição de cada variável na explicação da variância total. Este gráfico, em conjunto com os autovalores, é útil na tomada de decisão de quantos componentes devem ser retidos para posterior aplicação da análise de componentes principais (ACP).

Os pesos dos atributos de cada ambiente retidos no primeiro e no segundo componente, mostram que os atributos mais significativos, para os 71,65% e 71,88% da variabilidade explicada nas profundidades 0,0–0,1 m e 0,1–0,2 m respectivamente, foram a macroporosidade (5,36%), Ca (5,35%), Ds (densidade do solo) (5,28%), H+Al (5,27%) e pH (5,22%) na profundidade de 0,0–0,1 m (Figura 3 A) e pH (5,31%), Zn (5,31%), Ca (5,28%), H+Al (5,26%) e Ds (5,11%), na profundidade de 0,10 – 0,20 m (Figura 3 B). É provável que nesses atributos ocorra maior impacto ou alteração quando submetidos a alguma forma de manejo (Oliveira, 2013). Essas variáveis se destacam das demais avaliadas no estudo, uma vez que o gráfico screeplot (Figura 3) e o gráfico de componentes principais (componente 1 e componente 2) são os principais atributos responsáveis visto que separaram os ambientes e os

caracterizam de acordo com o manejo utilizado, como pode ser observado na Figura 4.

As duas componentes principais foram necessárias para explicar a variância total dos dados, visto que as mesmas apresentam elevados autovalores (9,10 e 3,79 na profundidade 0,0-0,1 m, 9,9 e 3,02 na profundidade 0,1-0,2 m), justificando o uso da CP1 e da CP2. A quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos dois componentes principais, foi de 71,65% na profundidade de 0,0-0,1 m. A CP1 apresentou 50,55% da variância e o CP2 compôs 21,09% (Tabela 3). Para a profundidade de 0,1-0,2 m a somatória da CP1 e da CP2 foi 71,87%, sendo que a CP1 apresentou 55,04% e a CP2 16,82%. Freitas et al (2012) avaliaram, em seu trabalho, os atributos físicos, como a densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total nessas mesmas características de solos e encontraram valores de 89,5% da variância total dos dados na componente principal 1. Loss et al. (2009), avaliaram os atributos químicos e físicos, como pH, Al, Ca+Mg, K, H+Al, P, densidade do solo e volume total de poros e obtiveram valores de variância de 72,97%, valores esses atribuídos à variabilidade desses atributos.

A correlação das variáveis e a representação gráfica nos componentes principais (Tabela 3 e Figura 4A e 4B) permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação dos ambientes.

As variáveis mais fortemente correlacionadas com a área de floresta na profundidade 0,0-0,1 m foram MO, Fe, Al, H+Al e macroporosidade (Tabela 3 e Figura 4A) apresentando-se, no segundo e no terceiro quadrantes, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas. Solos com mata apresentam maior teor de MO, o que lhe confere maior fertilidade em que, segundo Moraes et al. (2012), os maiores teores de matéria orgânica em área de vegetação nativa são explicados em virtude do maior aporte de resíduos orgânicos. A maior relação com a MO também pode estar relacionada com o fato de se encontrar associada diretamente com a não interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratos culturais, não degradando a estabilidade dos agregados do solo.

Os altos teores de alumínio trocável são previstos em solos sob vegetação nativa que sustenta a vegetação altamente adaptada ao efeito tóxico do Al e às condições de oligotrofia (Soares et al., 2011). Como observado para as variações de pH, os teores de Al trocável são menores nos ambientes cultivados em função do efeito das práticas corretivas. Segundo Campos et al. (2012), os valores de H+Al na área de mata foram maiores entre os ambientes provavelmente em consequência da maior lixiviação promovida pelo intenso regime hídrico associado às melhores condições de drenagem. A maior relação de acidez potencial (H+Al) é devida à decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais, o que leva à liberação de compostos orgânicos na superfície do solo, favorecendo a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis, entre Ca e Mg com ligantes orgânicos (Miyazawa et al., 1993), facilitando a descida desses cátions no perfil do solo (Franchini et al., 1999), o que ocasiona a acidificação do solo. Além disso, a acidez potencial nesta área se deve ao maior valor de H, o que se explica pelo maior teor de MO observado visto que, a MO apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H que irá compor

os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (Rangel & Silva, 2007).

O ambiente cultivado com cana-de-açúcar é caracterizado por apresentar forte correlação com Ca, Mg, Ds e pH (Tabela 4 e Figura 4A), no qual a maior influência dessas variáveis é caracterizada em virtude das aplicações contínuas de calcário e insumos que contribuíram para resultados mais elevados de bases trocáveis.

Na área com reflorestamento se encontram valores intermediários aos demais, com forte relação com Cu, Mn e areia total evidenciando que o pH na faixa de 4,7 encontrado neste ambiente, influenciou diretamente na disponibilidade de micronutrientes. Segundo Abreu et al. (2007), fica evidente que a disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn é afetada pelo pH, sendo que na faixa de 5,0 favorece a disponibilidade de micronutrientes, diminuindo abaixo e acima desta faixa de pH. Porém nota-se uma proximidade maior ao ambiente cultivado justificando que as alterações de seus atributos são devidas ao ambiente do solo. A área em recuperação apresentou baixo teor de MO em relação às demais áreas. Trata-se de área degradada em regeneração e que ainda não alcançou produção expressiva de biomassa vegetal para resultar em acúmulos de matéria orgânica no solo.

Na profundidade 0,1-0,2 m, pode-se observar um comportamento similar ao da profundidade 0,0-0,1 m. As variáveis mais fortemente correlacionadas com floresta foram a MO, Fe, Al, H+Al, macroporosidade e argila (Tabela 3 e Figura 4B). Em contrapartida, a área com cana-de-açúcar se caracterizou por apresentar maior ligação a Ds, areia total, Ca, Mg e pH (Figura 4B), de acordo com o menor ângulo em relação ao eixo das abscissas. A área com reflorestamento indicou forte ligação entre os atributos B, Cu e Zn, evidenciando que o menor pH neste ambiente, influenciou diretamente da disponibilidade de micronutrientes. Segundo Raji et al. (2011), o pH baixo ou mais ácido no solo, favorece o aumento dos níveis de micronutrientes no solo.

No ambiente com floresta é possível verificar uma influência maior de MO indicando que a retirada da mata e a utilização agrícola reduziram os teores de C orgânico no solo, como se observa por meio da Figura 4 para o ambiente cultivado. Devido ao revolvimento dos solos sob cultivo, a aeração é maior sendo a mineralização de M.O favorecida, o que explica os resultados observados e também um acúmulo maior de restos vegetais, proporcionando o acúmulo de M.O no solo. Esses resultados também estão de acordo com Portugal et al. (2010), segundo os quais há um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas. De acordo com esses autores, tal redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica do solo e a menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas o que, provavelmente, está ocorrendo em maior intensidade nas áreas com o cultivo de cana-de-açúcar.

Os baixos teores de Ca, Mg, K na floresta demonstram um ambiente natural sem adição de calagem ou qualquer outro tipo de base introduzida artificialmente; assim, à medida que os teores de base diminuem, a acidez aumenta

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal para as análises dos atributos do solo de diferentes manejos na região de Santa Ernestina, SP

Atributos	Componente Principal			
	0,0-0,1 m		0,1-0,2 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2
MO	-0,797871*	0,285076	-0,870425*	-0,233246
pH em H ₂ O	0,928184*	0,278752	0,957333*	-0,196684
K	0,696790	0,468963	-0,089741	-0,097121
Ca	0,979936*	0,046590	0,973875*	0,041787
Mg	0,950195*	0,107591	0,952315*	-0,074499
H+Al	-0,971576*	-0,067379	-0,962694*	0,138685
Al	-0,939150*	0,122140	-0,926430*	-0,132818
S	-0,092730	0,458284	-0,555316	0,100179
B	0,078268	0,011903	0,265047	0,816994*
Cu	0,299629	-0,798466*	0,191675	0,933136*
Fe	-0,803192*	-0,294828	-0,752873*	0,421878
Mn	0,076051	-0,803797*	-0,472632	0,561942
Zn	0,591102	-0,699901	0,475004	0,854867*
Ds	0,955891*	0,190164	0,954998*	0,084567
Micro	-0,495869	-0,458867	-0,431401	0,169901
Macro	-0,972924*	-0,132480	-0,944974*	-0,117574
Argila	-0,306896	0,745142*	-0,762728*	0,173012
Areia	0,349688	-0,704563*	0,762728*	-0,173012

* Valores mais significativos CP1: componente principal1; CP2: componente principal 2.

e, conseqüentemente, maior quantidade de H⁺ disponível na solução do solo o que caracteriza uma acidez elevada. O contrário se observa no ambiente cultivado, no qual uma influência maior dessas variáveis se caracteriza devido às contínuas aplicações de calcário e insumos que contribuíram para resultados mais elevados de bases.

No ambiente reflorestado se encontram valores intermediários aos demais, o que salienta o fato de que este solo está em recuperação possuindo características do ambiente cultivado e da mata nativa. Porém, nota-se maior proximidade ao ambiente cultivado justificando que as alterações de seus atributos se devem ao manejo do solo. Resultados semelhantes foram observados por Braz et al. (2013), ao estudar as alterações de floresta nativa e diferentes tempos de uso de pastagem, podendo observar que as características físicas do solo, densidade e porosidade do solo, foram diferentes quando comparadas entre si, significando que o solo foi afetado devido ao uso e que a conversão de floresta em pastagem causou um aumento do pH, Ca, K e Mg, e diminuição de Al.

Em seu trabalho, Lourente et al. (2011) observaram, avaliando o efeito do uso e o manejo de solo sobre seus atributos químicos, físicos e microbiológicos, em 5 sistemas de manejo: área em reflorestamento, sistema convencional de preparo do solo, sistema de semeadura direta, pastagem degradada e mata nativa, que a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo pode causar importantes alterações nos atributos químicos do solo, fato não observado nos atributos físicos visto que os diferentes sistemas de cultivo do solo não influenciaram significativamente os atributos físicos do solo, quando comparados com a vegetação nativa.

Com o objetivo de melhor entender as relações entre os três ambientes analisados, foi possível verificar, contrastando os ambientes estudados por meio da Tabela 4, que os maiores valores de F são encontrados quando a área com cana-de-açúcar é comparada com a floresta. Por outro lado, as demais áreas, apesar de serem diferentes, possuem atributos mais semelhantes, devido aos seus menores valores de F. Uma provável explicação para este resultado pode ser atribuída ao fato do cultivo da cana-de-açúcar promover degradação da MO em função do preparo intensivo do solo. Nota-se que a área com reflorestamento ainda está mais próxima do ambiente cultivado que o da floresta, talvez por esta área se manter em fase inicial da sua recuperação e ainda não tenha atingido a adequada qualidade química e física do solo.

Conforme Correia et al. (2009), a variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando comparadas a dos solos de usos agrícolas e assim a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas. Nesta comparação pode-se observar as alterações

de atributos do solo após a utilização agrícola e comparar os usos agrícolas, verificando-se qual deles apresenta maior sustentabilidade. Nesta comparação é possível observar as alterações de atributos do solo após a utilização agrícola verificando-se, assim, maior sustentabilidade da mata. É possível observar também que a área reflorestada está entre os demais ambientes, o que significa um ambiente intermediário quanto à qualidade do solo em relação aos seus atributos físicos e químicos demonstrando uma recuperação da qualidade do solo na área em reflorestamento; logo, pode-se afirmar, com base nas análises exploratórias de dados, que houve separação dos três ambientes, resultantes das diferenças do uso e do manejo das áreas o que determinou diferenças nos atributos físicos e químicos do solo nas áreas estudadas.

Conclusões

A substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo pode favorecer alterações nos atributos químicos e físicos do solo;

A área de floresta apresentou comportamento diferenciado da área de reflorestamento e cultivada com cana-de-açúcar sendo que área com cana-de-açúcar e com reflorestamento apresentaram comportamento similar

O uso das técnicas de multivariadas foi eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos químicos e físicos do solo, em cada ambiente estudado.

Literatura Citada

- Abreu, C. A.; Lopes, A. S.; Santos, G. C. G. Micronutrientes. In: Novais, R. F.; Alvarez V, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Orgs.). Fertilidade do solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.1, p.645-736.
- Braz, A. M. S.; Fernandes, A. R.; Alleoni, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. *Land Degradation & Development*, v.24, n.1. p.33-38, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1100>>.
- Campos, M. C. C.; Ribeiro, M. R.; Souza Júnior, V. S.; Ribeiro Filho, M. R.; Almeida, M. C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazônica*, v.42, n.3, p.387-398, 2012b. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011>>.
- Collares, G. L.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M.; Kaiser, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.3, p.933-942, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200028>>.
- Correia, R. M.; Freire, M. B. G.; Ferreira, R. L. C.; Freire, F. J.; Pessoa, L. G. M.; Miranda, M. A.; Melo, D. V. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.33, n.2, pp. 305-314, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000200008>>.

Tabela 4. Resultado da MANOVA contrastando as áreas estudadas na região de Santa Ernestina, SP

Contrastes entre as áreas	Valor F	
	Camada de 0,0 - 0,1 m	Camada de 0,1 - 0,2 m
C.A x R	189,52***	142,65***
C.A x F	768,23***	659,31***
F x R	575,12***	454,86***

(***) Valores são significativos para p<0,001. C.A- cana-de-açúcar; R- reflorestamento; F- Floresta.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Ferreira, E. S.; Zotarelli, E. M. M.; Salviati, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. In: Seminário de tecnologia agrônômica, 4., 1986, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331.
- Franchini, J. C.; Miyasawa, M.; Pavan, M. A. & Malavolta, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.12, p. 2267-2276, 1999. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200014>>.
- Frazão, L. A. Piccolo, M. C.; Feigl, B. J.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.2, p.641-648, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500012>>.
- Freitas, L. Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2011. 112p. Dissertação Mestrado. <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/87858>>. 14 Set. 2014
- Freitas, L.; Casagrande, J. C.; Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 57, n. 3, p. 224-233, 2014. <<http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1357>>.
- Freitas, L.; Casagrande, J. C.; Oliveira, I. O, Aquino, R.E. Análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes ambientes. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.15, 126-139. 2012. <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/analises%20multivariadas.pdf>> 14 Set. 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. (SSSA Book Series, 5).
- Hair J. R.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.
- Leite, L. F. C.; Oliveira, F. C.; Araújo, A. S. F.; Galvão, S. R. S; Lemos, J. O; Elzane, F. L.; Silva, E.F.L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, v.48, n.3, p.258-265, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1071/SR09122>>.
- Loss, A.; Pereira, M. G.; Schultz, N.; Anjos, L. H. C.; Silva, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.1, p. 68-75, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100010>>.
- Lourente, E. R. P; Fábio, M.M; Alovisei, A. M. T; Gomes, C. F; Gasparini, A. S; Nunes, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.1, p.20-28, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8459>>.
- Marques Júnior, J. Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2009. 113p. Tese Livre-Docência.
- Miyazawa, M.; Pavan, M. A; Calegari, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 17, n.3, p. 411-416, 1993.
- Morais, T. P. S.; Pissarra, T. C. T.; Reis, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.15, p.213-223, 2012. <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/atributos%20fisicos%20e%20matéria.pdf>> 10 Set 2013.
- Nunes Júnior, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. *Idea News*, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.
- Oliveira, I. A. Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região Sul do Amazonas. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2013. 105p. Dissertação Mestrado. <<http://hdl.handle.net/11449/88238>>.
- Portugal, A. F.; Costa, O. D. V.; Costa, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.34, n.2, p.575-585, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200032>>.
- Pragana, R. B; Ribeiro, M.R; Nóbrega, J. C. A; Ribeiro filho, M.R; Costa, J. A. Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na região do cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.36, n.5,1591-1600, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500023>>.
- Raij, B. Van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- Rangel, O. J. P.; Silva, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n.6, p.1609-1623, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>>.
- Raper, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics*, v.42, n.3-4, p.259-280, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.010>>.
- Reichert, J. M.; Kaiser, D. R.; Reinert, D. J.; Riquelme, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de ambiente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.3, p.310-319. 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>>.

- Sharma, K. L.; Mandal, U. K.; Srinivas, K.; Vittal, K. P. R.; Mandal, B.; Grace, J. K.; Ramesh, V. Longterm soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil & Tillage Research*, v.83, n.2, p.246-259, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.08.002>>.
- Silva, M. O.; Freire, M. B. G. S.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Campos, M. C. C.; Amorim, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró, RN, com o uso de análise multivariada. *Ambiência*, v. 6, n. 2, p. 261-270, 2010 b. <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/752/1032>>. 08 Set. 2013.
- Silva, S. A.; Lima, J. S. S.; Xavier, A. C.; Teixeira, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n.1, p.15-22, 2010a. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100002>>.
- Soares, M. R.; Casagrande, J. C.; Oliveira, M. S.; Moraes, M. I. M. Nutrição mineral de espécies nativas em solos do Cerrado. In: Barbosa, L. M. (Ed.). *Restauração ecológica - desafios atuais e futuros*. São Paulo: Instituto de Botânica; SMA, 2011. p.147-154
- Spera, S. T.; Santos, H. P.; Fontaneli, R. S.; Tomm, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n.3, p. 533-542, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300014>>.
- Statsoft. *Statistica (data analysis software system)*, version 7. 2004. <<http://www.statsoft.com>>. 08 Set. 2013.
- Valladares, G. S.; Gomes, E. G.; Mello, J. C. C. B. S.; Pereira, M. G.; Anjos, L. H. C.; Ebeling, A. G.; Benites, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.285-296, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100027>>.