



Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes

Multivariate analyzes of soil chemical attributes for characterization of environments

Ludmila de Freitas*¹, José Carlos Casagrande², Ivanildo Amorim de Oliveira³,
Paulo Roberto de Souza Júnior⁴, Milton César Costa Campos⁵

Resumo - As alterações da cobertura vegetal e uso do solo promovem mudanças na quantidade e qualidade dos atributos químicos do solo e, conseqüentemente, no carbono orgânico do solo. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos, utilizando a análise multivariada. Foram estudadas três áreas adjacentes (mata, cana-de-açúcar e área reflorestada), no município de Santa Ernestina (SP). Em cada área foram coletadas aleatoriamente quatro amostras de solo nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade. Foram avaliados os atributos químicos: pH, matéria orgânica, cálcio, potássio, magnésio, alumínio, acidez potencial, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, e zinco. Em seguida os dados foram submetidos a análises estatísticas multivariadas. A classificação dos acessos em grupos foi feita por dois métodos: método de agrupamentos hierárquico e análise de componentes principais. As análises de agrupamentos e componentes principais permitiram identificar a formação de dois grupos, um formado pela mata nativa e o outro pela área em reflorestamento e a área cultivada com cana-de-açúcar. O uso das técnicas de multivariadas foi eficiente para verificar as similaridades e/ou diferenças das áreas estudadas. Os resultados indicam que o uso intensivo do solo diminui sua qualidade tendo como referência a vegetação nativa.

Palavras-chave - Mata nativa. Área reflorestada. Cultura da cana-de-açúcar.

Abstract - Changes in land cover and land use changes promote the quantity and quality of soil chemical properties and consequently on soil organic carbon. In this context, the aim of this work was to evaluate the changes of chemical properties of an Oxisol under different managements, using multivariate analysis. We selected three adjacent areas (forest, sugar cane and reforested area), in the municipality of Jaboticabal (SP). In each area, were collected, randomly, four samples, in layers of 0.0-0.10 m and 0.10-0.20 m. We evaluated the chemical attributes, such as: pH, organic matter content, potassium, calcium, magnesium, aluminum, potential acidity, sulfur, boron, copper, iron, manganese, zinc, of each sample in the two studied depths. The cluster analysis and principal components allowed identifying the formation of two groups, one formed by native forest, and the other by area in reforestation and the area planted with sugar cane. The cluster analyzes and principal component identify the native forest behaved differently and the reforested area planted to sugar cane, and area with cane sugar and reforested provided similar and different from the forest area native. The use of multivariate techniques was efficient to check for similarities or differences based on soil chemical properties in each environment studied.

Key words - Native forest. Reforested area. Sugarcane culture.

*Autor para correspondência

¹Enviado para publicação em 17/09/2013 e aprovado em 08/08/2014

Pós-Doutoranda, Bolsista PDJ/CNPq, Depto. de Solos e Adubos- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP/Campus de Jaboticabal, Jaboticabal (SP), ludmilafreitas84@gmail.com*.

²Professor Associado II da Universidade Federal de São Carlos-UFSCAR/Campus de Araras, Araras (SP), bighouse@cca.ufscar.br.

³Doutorando em Ciência do Solo, Depto. de Solos e Adubos- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP/Campus de Jaboticabal, Jaboticabal (SP), ivanildoufam@gmail.com.

⁴Mestrando em Produção Vegetal, Depto. de Engenharia Rural - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP/Campus de Jaboticabal, Jaboticabal (SP), paulo_peixe@yahoo.com.br

⁵Professor Adjunto III, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, UFAM, Humaitá (AM), mcesarsolos@gmail.com

Introdução

O aumento da intensidade do uso do solo e a diminuição da cobertura vegetal nativa têm levado à degradação dos recursos naturais e, em especial, à diminuição da fertilidade do solo. No Brasil a expansão de cultivos homogêneos com cana-de-açúcar em larga escala tem ocupado grandes áreas, como por exemplo, no estado de São Paulo, onde áreas cobertas por mata natural foram gradativamente substituídas por canaviais e mantidas com monoculturas por períodos de mais de 60 anos (FREITAS, 2011), com intensas atividades antrópicas, o que causa a alteração nos atributos do solo e na maioria das vezes sofrendo modificações negativas.

As propriedades químicas dos solos são afetadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, em virtude da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas. As principais modificações químicas nos solos cultivados em relação às condições originais decorreram da variação do pH e dos teores de cátions, os quais são dependentes da fertilidade inicial, ou seja, solos eutróficos diminuem a fertilidade e os álicos aumentam, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio (MAIA; RIBEIRO, 2004).

Quando a área natural é substituída por uma cultura submetida a um ambiente intensivo, como a cana-de-açúcar, o estoque de C do solo decresce substancialmente em relação ao sistema natural, não sendo recuperado (MAIA; RIBEIRO, 2004). Esses mesmos autores afirmam que mais de 50% da matéria orgânica previamente acumulada é perdida por diversos processos nos primeiros anos de cultivo, entre eles, a decomposição microbiana e a erosão.

A matéria orgânica é componente fundamental da capacidade produtiva dos solos, sendo amplamente citada como indicadora-chave da qualidade do solo em áreas agrícolas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005), agindo em sua estrutura pelo fornecimento de substâncias agregantes, no suprimento de macro e micronutrientes, na capacidade de troca catiônica e tamponamento do pH. A matéria orgânica também atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo. Solos tropicais, intensamente intemperizados, apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa CTC (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

O estudo dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e duração das alterações provocadas por diferentes modelos de ambiente. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade

do solo em relação ao ambiente *climax* (REICHERT *et al.*, 2009). Dessa forma, o conhecimento das modificações químicas do solo, causadas pelo cultivo contínuo, pode fornecer subsídios para adoção de práticas de ambiente que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a sustentabilidade e a conservação do agroecossistema.

O solo é considerado um sistema complexo, resultante da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos, entre outros, que juntos formam indicadores (variáveis) que o caracterizam. Com a técnica da análise multivariada é possível explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e, ou, alteração do solo. Diversas pesquisas têm aplicado a técnica multivariada para análise de dados de solos (PRAGANA *et al.*, 2012).

Objetivou-se com este trabalho avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos, a fim de identificar os atributos químicos relacionados com qualidade do solo, empregando análise multivariada.

Material e métodos

As áreas estudadas localizam-se no nordeste do Estado de São Paulo, no município de Guariba (SP), com altitude 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 foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, segundo critérios da Embrapa (2006), com textura franco-argilo-arenosa, situado em relevo plano (Figura 1).

A qualidade do solo foi avaliada em três áreas amostrais adjacentes e homogêneas: a) área com mata em condição natural (AM), localização geográfica 21° 27' 44" S e 48° 19' 29" W, caracterizada como floresta estacional semidecidual tropical subcaducifolia, sem intervenção humana nem histórico de cultivo agrícola com cerca de 60 anos, com 18 ha de extensão; b) área com cultivo de cana-de-açúcar (AC), localização geográfica 21° 27' 39" S e 48° 19' 71" W, cultivada há 60 anos, com extensão de 50 ha; o preparo do solo para o plantio foi realizado com arado de discos e grade pesada; em seguida, foi realizada subsolagem; a adubação utilizada foi somente torta de filtro, não havendo aplicação de qualquer outro tipo de fertilizante; e, c) área reflorestada com espécies nativas (AR), localização geográfica 21° 31' 29" S e 48° 19' 27" W, implantada há oito anos, sendo anteriormente explorada com a monocultura de cana-de-açúcar por 40 anos. Nesta área foram introduzidas algumas espécies nativas pelos próprios trabalhadores locais, sem base científica.

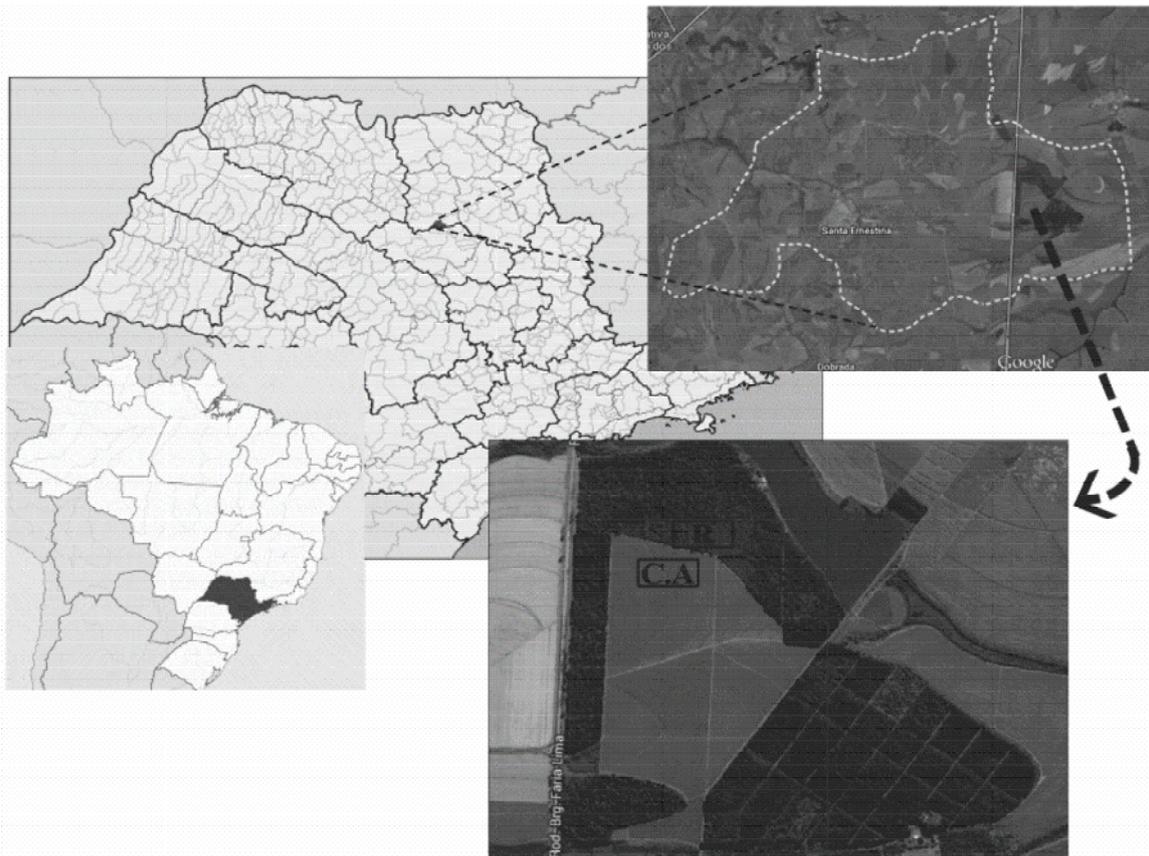


Figura 1 - Localização das áreas: C.A= área cultivada com cana de açúcar; R= Área reflorestada; F= Floresta.

Figure 1 - Location of areas: CA = Area cultivated with sugar cane; R = reforestation Area; F = Area with Forest.

Cada área foi subdividida em quatro subáreas, correspondendo cada uma a quatro repetições. Para realizar análises químicas foi coletada uma amostra composta deformada em cada subárea, na camada de 0,0–0,1 m e 0,10-0,20 m, sendo um total de oito amostras por área, totalizando 24 amostras coletadas. Cada amostra composta deformada foi formada por quinze subamostras, coletadas aleatoriamente por meio de zig zag em cada subárea. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas, processadas conduzidas ao laboratório para serem analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de São Carlos, campus de Araras, estado de São Paulo, segundo metodologia da Embrapa (1997).

Determinou-se pH, matéria orgânica (MO), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e alumínio (Al). Todas as coletas foram realizadas em outubro de 2011.

Realizou-se a média e o desvio padrão de cada atributo por uso do solo, à análise estatística multivariadas,

com as técnicas de análise de agrupamento hierárquica e análise de componentes principais (ACP).

A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos para o conjunto das treze variáveis, e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Com esta análise, buscou-se verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e as áreas estudadas a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos, no qual os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados.

Com a intenção de reduzir o grande número de variáveis para um conjunto mais significativo (representado pelos componentes), identificar quais variáveis pertencem a quais componentes e o quanto cada variável explica cada componente, foi feito o estudo da

ACP. Desta forma, o conjunto inicial de treze variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes ortogonais, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais), que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR *et al.*, 2005). A adequação desta análise é verificada pela informação total das variáveis originais retida nos componentes principais que mostram autovalores superiores à unidade, ou autovalores inferiores à qual não dispõem de informação relevante.

Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA® versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

Resultados e discussão

Os valores dos atributos químicos do solo apresentaram variações sob os usos das áreas de mata, reflorestada e de cana-de-açúcar, nas profundidades de 0,0–0,10 e 0,10–0,20 m (Tabela 1). Para todos os nutrientes, os maiores valores médios, nas duas profundidades estudadas, foram verificados na área sob cultivo, quando comparados com a área testemunha (AM) e a AR. Este comportamento pode ser atribuído, em parte, ao tipo de

manejo utilizado (adubação e calagem), além dos restos culturais serem incorporados superficialmente, o que contribui com a reciclagem dos nutrientes, extraídos pelas culturas anteriores. Na mata, pode-se explicar os baixos teores de nutrientes, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes está alocada na vegetação, além da pobreza química do Latossolo e do alto grau de intemperismo dele no ambiente (REZENDE; RESENDE, 1996; SANTOS *et al.*, 2007; PORTUGAL *et al.*, 2008).

Na Figura 2, pode ser observado o dendrograma, obtido da matriz de dados padronizados, pela análise de agrupamento objetivando 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. Nesta análise, as áreas foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos. Pela disposição no gráfico, ambientes pouco distanciados são mais semelhantes do que os amplamente distanciados. Observa-se que tanto na profundidade de 0,0–0,10 m quanto na profundidade de 0,10–0,20 m que as áreas de cana-de-açúcar e reflorestada apresentaram maior semelhança, por possuírem a menor distância euclidiana.

Tabela 1 - Caracterização dos atributos químicos do solo nas diferentes áreas estudadas

Table 1 - Characterization of chemical attributes of the soil in the different areas studied

Áreas	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³										
Profundidade 0,0 – 0,10 m													
AC (1)	13,0	6,2	2,8	24,25	10,25	22,0	0,8	9,5	0,62	0,92	77,75	47,5	1,0
DP	0,82	0,54	0,38	3,86	0,50	5,48	0,52	0,50	0,12	0,40	28,46	16,92	0,43
AR (2)	15,25	4,72	1,3	16,5	5,5	42,50	2,4	7,5	0,69	1,10	81,25	60,0	1,22
DP	0,96	0,28	0,21	2,38	0,58	2,89	0,50	0,58	0,10	0,40	28,95	3,27	0,41
AM (3)	20,0	3,75	1,4	2,0	2,5	84,0	16,6	9,25	0,62	0,75	140,5	46,7	0,40
DV	2,94	0,10	0,24	0,82	0,58	8,0	2,51	2,06	0,11	0,06	15,84	8,18	0,08
Profundidade 0,10 – 0,20 m													
AC (1)	13,5	5,9	2,4	22,75	9,25	27,5	0,85	8,5	0,49	0,90	68,7	36,5	0,9
DV	0,58	0,41	0,40	0,96	0,50	7,94	0,38	0,58	0,15	0,34	35,20	13,67	0,40
AR (2)	14,25	4,65	2,35	16,25	5,5	44,25	2,2	8,0	0,56	1,12	80,5	53,5	1,25
DV	1,26	0,21	2,17	3,10	1,00	2,99	1,48	1,83	0,28	0,48	25,94	8,23	0,64
AM (3)	18,5	3,8	2,5	1,75	2,5	74,25	16,35	11,2	0,44	0,80	136,3	46,7	0,42
DV	1,73	0,10	2,39	0,50	0,58	10,14	1,26	2,87	0,02	0,18	13,50	5,23	0,10

Médias de quatro repetições; ⁽¹⁾ área cultivada com cana de açúcar; ⁽²⁾ Área reflorestada; ⁽³⁾ Área com mata nativa (referencial). DP= Desvio-padrão

Averages of four repetitions; (1) area cultivated with sugarcane; (2) reforested area; (3) area with forest (reference). SD = Standard Deviation

Na Figura 2A, analisando a profundidade de 0,0-0,10 m, foi admitido um corte na distância euclidiana de 4,3 que permitiu uma divisão clara de grupos: no qual o G1, engloba os dados formados pela área da mata e o G2 formado pela área reflorestada e com cana-de-açúcar. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos químicos, foi possível ordenar os dados em dois grupos.

O mesmo comportamento pode ser observado na profundidade 0,10-0,20 m (Figura 2B), onde foi admitido um corte na distância euclidiana de 4,0 que permitiu

uma divisão clara de três grupos. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos químicos, foi possível ordenar os dados em dois grupos: o G1, englobando os dados formados pela área da mata e o G2 formado pela área reflorestada e com cana-de-açúcar, evidenciando, assim, que as áreas possuem diferenças em relação aos atributos analisados. A diferenciação dos grupos foi marcante, apresentando maior similaridade entre eles, com o ambiente cana-de-açúcar e área reflorestada e o outro grupo somente pela mata nativa, mostrando as particularidades de cada ambiente, pois as características

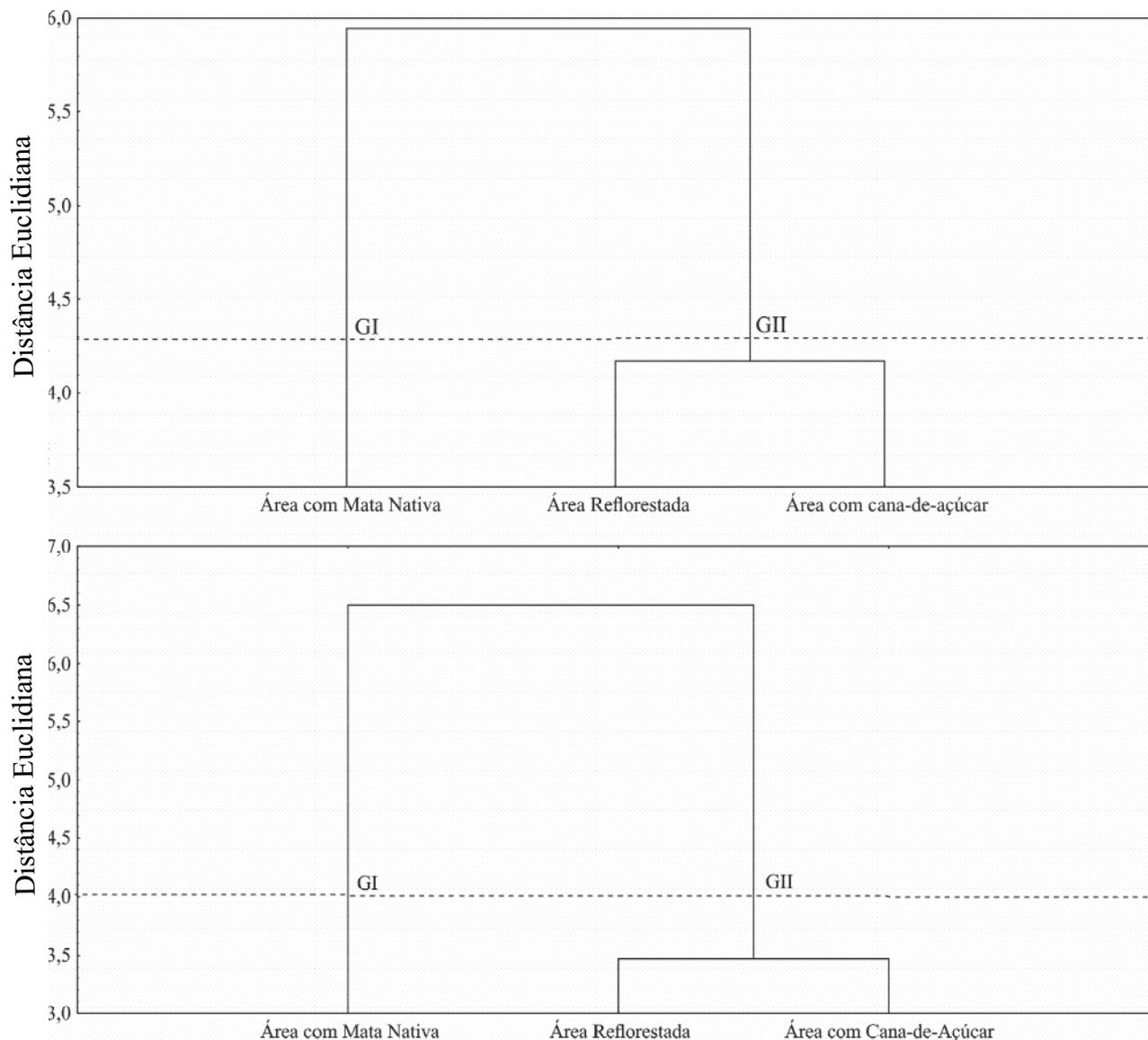


Figura 2 - Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis. A = profundidade 0,0 – 0,10 m; B = profundidade 0,10 – 0,20 m. AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa.

Figure 2 - Dendrogram resulting from hierarchical cluster analysis showing the formation of groups according to the variables. The depth = 0.0-0.10 m; B = depth from 0.10 to 0.20 m. AC = cultivated with sugarcane area; AR = reforested area; AM = area with forest.

dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos (VALLADARES *et al.*, 2008). Esse resultado deve-se ao fato de que devido ao ambiente adotado com cultivo de cana-de-açúcar e a área reflorestada se diferenciaram do ambiente natural que é a mata nativa, corroborando com os resultados encontrados por Freitas *et al.* (2012), que trabalhando com estes mesmos ambientes, observaram a mesma divisão dos ambientes quando analisou os atributos físicos destes solos.

Tabela 2 - Distância euclidiana entre os ambientes estudados

Table 2 - Euclidean Distance between the studied areas

Ambientes	AC	AR	AM
	Profundidade 0,0 - 0,1 m		
AC	0,0	4,17	5,62
AR	4,17	0,0	5,38
AM	5,62	5,38	0,0
	Profundidade 0,1 - 0,2 m		
	AC	0,0	3,47
AR	3,47	0,0	5,65
AM	5,84	5,65	0,0

AC- Área com cana-de-açúcar; AR- Área reflorestada; AM- Área com floresta.

AC = cultivated with sugarcane area; AR = reforested area; AM = area with forest.

Os agrupamentos formados pela análise de cluster confirmam a diferença de ambientes, visto que os três ambientes estudados estão nitidamente separados, o ambiente cultivado e o reflorestado são mais similares, sendo a mata nativa o ambiente isolado o que mais se diferencia dos demais. Pragana *et al.* (2012), avaliaram o efeito do plantio direto na alteração das características físicas de Latossolos Amarelos cultivados com soja, onde os autores ao submeter os dados a análise de agrupamento, foi possível observar 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 a mata nativa.

Conforme o pressuposto de haver uma relação inversa entre o uso de um solo e uma adequada qualidade desse solo, esperava-se encontrar melhores índices químicos do solo na mata do que nos demais ambientes. Na Tabela 2, é possível observar por meio da distância euclidiana maior diferença entre mata nativa e cana-de-açúcar (5,62 e 5,84 na profundidade 0,0-0,10 m e 0,10-

0,20 m respectivamente), e na sequência, entre mata nativa e área reflorestada (5,38 e 5,65 na profundidade 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m respectivamente).

Essas diferenças de agrupamento resultam, portanto, das diferenças observadas dos atributos, possibilitando uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas. Os atributos que promoveram a ausência de similaridade da mata com as demais áreas e, contrariamente, a grande proximidade do ambiente com cana-de-açúcar e área reflorestada, pode ser evidenciada nos resultados da análise de componentes principais.

A análise de componentes principais dos atributos do solo vem confirmar a análise de agrupamento para os ambientes estudados, com a formação de três grupos, na qual a área de cana-de-açúcar e a área reflorestada se encontram mais próxima e mais afastada da área com mata nativa, que correspondem à diferenciação de três tipos de ambientes.

Dentro deste contexto, a primeira e a segunda componente principal foram necessárias para explicar a variância total, devido somente estas apresentarem elevados autovalores (6,92, 2,69 na profundidade 0,0-0,10 m, e 6,97 e 2,92 na profundidade 0,10 e 0,20 m), (Tabela 3). Isso mostra que, de treze variáveis, passam-se a utilizar duas, havendo redução de dimensionalidade das variáveis originais, com perda de explicação de menos de 25% nas duas profundidades estudadas.

Quanto ao percentual de variância explicado pelas CPs, verifica-se que na profundidade 0,0–0,10 m, a primeira e segunda componente são responsáveis por 73,96% da variância total, sendo 53,23 % na CP1 e 20,73% na CP2. Na profundidade 0,10–0,20 m a duas primeiras CPs foram responsáveis 76,16% da variância dos dados originais, com 53,65% na CP1 e 22,5% na CP2. Freitas *et al.* (2012), estudando os atributos físicos nestas mesmas características de solos, e Loss *et al.* (2009) e Freitas (2011) com atributos químicos e físicos, encontraram valores de variância acima de 70%, sendo esses valores, atribuídos a variabilidade destes atributos.

Os pesos entre as variáveis e as componentes principais permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação dos solos, conforme demonstra a Tabela 3.

As variáveis mais fortemente correlacionadas com a área de mata nativa na profundidade 0,0–0,10 m foram: MO, Fe, Al e H+Al (Tabela 3 e Figura 3A), apresentando-se, no primeiro e segundo quadrante, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas.

Solos com mata apresentam maior teor de MO, o que lhe confere maior fertilidade, que segundo Morais *et al.* (2012), os maiores teores de matéria orgânica em

Tabela 3 - Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas

Table 3 - Contribution between each principal component and variables analyzed

Atributos	Componente principal			
	Profundidade 0,0-0,10 m		Profundidade 0,10-0,20 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Matéria Orgânica (MO)	<u>0,825170</u>	0,160679	<u>0,908669</u>	0,189929
pH	<u>-0,923368</u>	0,289787	<u>-0,923927</u>	0,210129
Potássio (K)	-0,671188	0,513936	0,147031	0,089139
Cálcio (Ca)	<u>-0,982392</u>	0,066353	<u>-0,979240</u>	-0,018570
Magnésio (Mg)	<u>-0,943947</u>	0,150510	<u>-0,918941</u>	0,084508
Acidez potencial (H+Al)	<u>0,985526</u>	-0,066589	<u>0,978858</u>	-0,172301
Alumínio (Al)	<u>0,958960</u>	0,134734	<u>0,965489</u>	0,097103
Enxofre (S)	0,191905	0,458232	0,650033	-0,161852
Boro (B)	-0,109798	0,069145	-0,264711	<u>-0,834790</u>
Cobre (Cu)	-0,323869	<u>-0,827777</u>	-0,181355	<u>-0,933221</u>
Ferro (Fe)	<u>0,815503</u>	-0,287461	<u>0,802413</u>	-0,460321
Manganês (Mn)	-0,090436	<u>-0,882678</u>	0,381617	-0,534732
Zinco	-0,601916	<u>-0,713231</u>	-0,515562	<u>-0,836470</u>

CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2.

CP1: principal component 1; CP2: principal component 2

área de vegetação nativa explicam-se devido ao maior aporte de resíduos orgânicos. A maior relação com a MO também deve-se ao fato desta estar diretamente associada com a não interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratos culturais, não degradando a estabilidade dos agregados do solo. Maia e Ribeiro (2004) também obtiveram maiores teores de MO na área com vegetação nativa ao avaliar as modificações nas propriedades químicas de um Argissolo Amarelo, pelo cultivo contínuo com cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas. No trabalho de Conceição *et al.* (2005) foram verificadas reduções no estoque de MO da vegetação nativa, quando comparados a sistemas de manejos.

O revolvimento dos solos sob cultivo com cana-de-açúcar favorece a aeração e consequentemente a mineralização de MO, o que explica os resultados observados nessa área. Esses resultados estão de acordo com Portugal *et al.* (2010) e Freitas *et al.* (2011), segundo os quais há um declínio no estoque de MO após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas. Segundo esses autores, essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, mineralização da matéria orgânica do solo e aos menores aportes de materiais orgânicos em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas, o que provavelmente está ocorrendo em maior intensidade nas áreas com de cana-de-açúcar.

A área de mata também é caracterizada, por apresentar maior acidez trocável (Al) e acidez potencial (H+Al) (Tabela 3 e Figura 3A). Os valores de H+Al na área de mata foram maiores entre os ambientes, provavelmente, em consequência da maior lixiviação das bases promovida pelo intenso regime hídrico associado às melhores condições de drenagem (CAMPOS *et al.*, 2010; CAMPOS *et al.*, 2012).

O ambiente cultivado com cana-de-açúcar é caracterizado por apresentar forte correlação com Ca, Mg, e pH (Tabela 3 e Figura 3A), explicada pelas contínuas aplicações de calcário e insumos que contribuíram para resultados mais elevados de bases. Enquanto que no ambiente reflorestado, encontram-se valores intermediários aos demais, com forte relação com Zn, Cu e Mn. Este fato é devido o solo estar em recuperação, possuindo características do ambiente cultivado e da mata nativa, porém, nota-se maior proximidade ao ambiente cultivado.

Na profundidade de 0,10–0,20 m (Tabela 3), pode-se observar um comportamento similar a profundidade 0,0–0,10 m em relação a seus atributos. As variáveis mais fortemente correlacionadas com a mata nativa na profundidade 0,10–0,20 m foram a MO, Fe, Al e H+Al (Tabela 3 e Figura 2B). Em contrapartida, a área com cana-de-açúcar se caracterizou por apresentar maior relação a

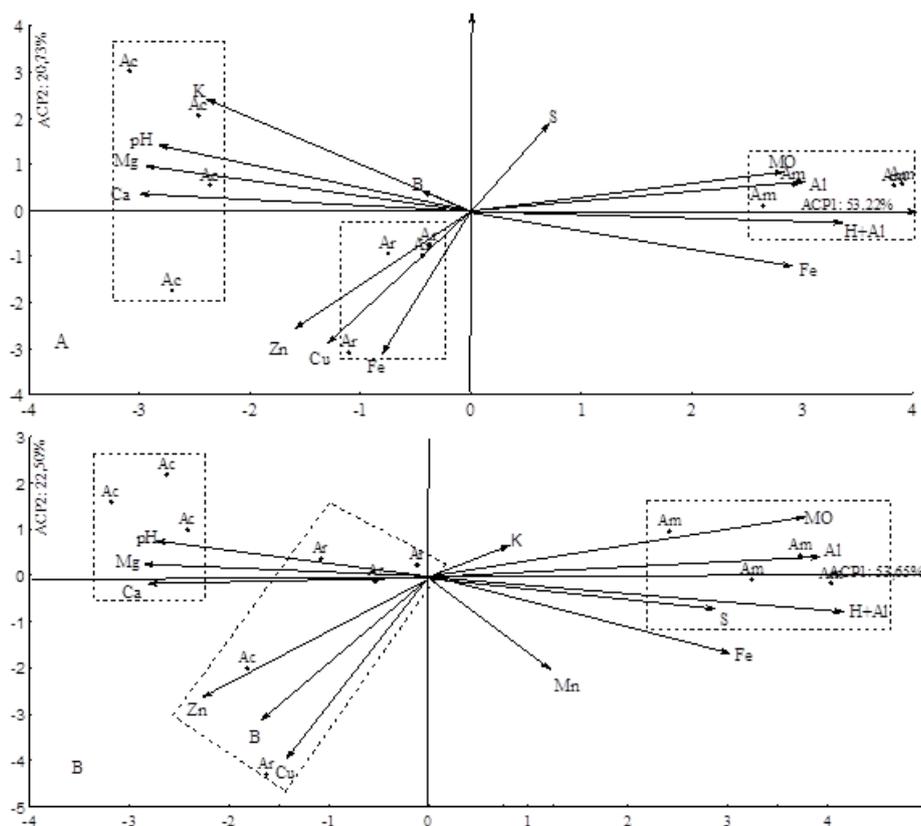


Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis do solo nos diferentes áreas estudadas: AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa. A = profundidade 0,0 – 0,10 m; B = profundidade 0,10–0,20 m.

Figure 3 - Principal component analysis (PCA) based on soil variables in the different areas studied: AC = area cultivated with sugarcane; AR = reforested area; AM = area with forest. The depth = 0.0-0.10 m; B = 0.10-0.20 m depth.

Ca, Mg e pH (Figura 5B), de acordo com o menor ângulo em relação ao eixo das abscissas. Já a área reflorestada, apresentou forte relação entre os atributos B, Cu e Zn, evidenciando que o menor pH neste ambiente, influenciou diretamente a disponibilidade de micronutrientes. Segundo Raij *et al.* (2011), o pH mais ácido no solo, favorece o aumento dos níveis de micronutrientes no solo.

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 mata nativa.

Nas outras áreas, apesar de serem estatisticamente diferentes, possuem características mais semelhantes, devido aos seus menores valores de F. Uma possível 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 e de uso de fertilizantes.

Nota-se que a área reflorestada ainda está mais próxima do ambiente cultivado que o da mata nativa. Talvez, por esta área estar em fase inicial da sua recuperação, ainda não atingiu a adequada qualidade química do solo, quanto a MO do solo.

Com base nestes resultados, pode-se indicar que a área reflorestada e área cultivada com cana-de-açúcar são mais semelhantes entre si e a área com mata nativa apresentou-se como um ambiente diferenciado, sendo suas características químicas peculiares a este tipo de ambiente (Figuras 3A e 3B).

A ACP das variáveis mostrou que levando em conta todos os aspectos químicos analisados houve clara distinção entre ambientes (Figura 3), onde a mata é encontrada no primeiro quadrante e o ambiente cultivado e reflorestado estão bem próximos no segundo e terceiro quadrantes.

Essa separação dos pontos da mata com as demais é um indicador que a área cultivada intensivamente com cana-

Tabela 4 - Resultado da MANOVA contrastando as áreas estudadas com todas as variáveis em conjunto

Table 4 - Results of MANOVA contrasting the areas studied with all variables together

Contrastes entre as áreas	Valor - F	
	Profundidade 0,0 - 0,1 m	Profundidade 0,1 - 0,2 m
AC x AR	276,21***	189,34***
AC x AM	637,38***	587,69***
AM x AR	424,69***	329,47***

(***) Todos os valores são significativos para $p \leq 0,001$. AC- Área com cana-de-açúcar; AR- Área reflorestada; AM- Área com mata nativa.

(***) All values are significant at $p \leq 0.001$. AC-area with sugarcane; AR-reforested area; AM- area with forest.

de-açúcar tem seus atributos afetados acentuadamente, fazendo com que o mesmo se torne diferente do solo originalmente coberto por floresta. Segundo Spera *et al.* (2004), à medida que essas áreas vão sendo incorporadas 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 níveis de adubação da cana-de-açúcar. A variação dos atributos do solo na vegetação nativa é menor quando se compara com solos de usos agrícolas, e por isso a vegetação nativa é referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas. Nessa comparação, é possível observar, que a área reflorestada está entre os dois ambientes quanto à qualidade do solo dos atributos químicos, demonstrando uma recuperação da qualidade do solo na área em reflorestamento, apesar desta apresentar características mais próximas do ambiente cultivado.

Nota-se que independentemente da análise realizada neste trabalho, os solos cultivados com cana-de-açúcar e área reflorestada apresentaram comportamento ou características similares, quando considerado o conjunto das variáveis em estudo. No entanto, com relação à área cultivada com cana-de-açúcar, o uso do solo provocou alteração em vários atributos estudados, o que pode levar à degradação destes com o tempo, como pode ser observado na Figura 2, pela separação nítida entre mata nativa e os demais tratamentos. Por meio das técnicas multivariadas, foi possível identificar quais as variáveis que melhor se relacionaram com cada tipo de tratamento, quais as que provocaram maior efeito na alteração das características do solo, bem como o efeito do uso do solo na sua degradação.

Conclusões

Por serem ambientes já manejados, as áreas de cana-de-açúcar e reflorestada apresentam características químicas homogêneas;

As técnicas de análises multivariadas mostraram que os principais atributos para distinção dos ambientes são o cálcio para a área de cana, acidez potencial para a área de mata, manganês e cobre para a área reflorestada;

O uso das técnicas de multivariadas mostrou-se uma ferramenta útil no estudo entre as correlações dos atributos químicos do solo e os ambientes estudados, a fim de verificar as semelhanças e/ou as diferenças entre os ambientes.

Literatura científica citada

- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**, v.42, n.3, p.387-398, 2012.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; OLIVEIRA, I. A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n. 4, p.527-535, 2010.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.777-788, 2005.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos 2. ed. Rio de Janeiro, Brasil. 212 p. 1997.
- EMBRAPA. 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília. 354p.
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E. Análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes ambientes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n.15, p. 126-139, 2012.
- 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, 2011.112 f. (Dissertação Mestrado).
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, v.11, n.2, p.11:137-147, 2011.

- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre, Brasil, 2005. 593p.
- 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.
- MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1127-1132, 2004.
- 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.
- PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.; DEL'ARCO VINHAS; 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.
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. V. D.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.249-258, 2008.
- PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J.A. 2012. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1591-1600, 2012.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420p.
- 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.
- REZENDE, S.B.; RESENDE, M. Solos dos mares de morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V., V.H., FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, 1996. p. 261-289.
- SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, p.931-940, 2007.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELLI, 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**. Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.
- STATSOFT. Statistica 7.0. Tulsa: StatSoft, 2004. p. 250.
- 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.