



ANÁLISES MULTIVARIADAS DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDOS A DIFERENTES MANEJOS

Ludmila de Freitas ⁽¹⁾, José Carlos Casagrande ⁽²⁾, Ivanildo Amorim de Oliveira⁽³⁾
Renato Eleotério de Aquino ⁽³⁾

⁽¹⁾ Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo –, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho - Campus Jaboticabal (ludmilafreitas@hotmail.com);

⁽²⁾ Professor Doutor Universidade Federal de São Carlos, Caixa Postal 153, Araras - Brasil.

⁽³⁾ Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho - Campus Jaboticabal

Recebido em: 06/10/2012 – Aprovado em: 15/11/2012 – Publicado em: 30/11/2012

RESUMO

A conversão da condição natural para a agricultura, em destaque para a monocultura de cana-de-açúcar impõe mudanças drásticas nos atributos físicos do solo. Com o objetivo de estudar estas alterações em Latossolo Vermelho distrófico, causadas pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar, selecionaram-se três áreas (mata, cana-de-açúcar e área reflorestada) adjacentes, no município de Jaboticabal (SP). Em cada área, foram coletadas, aleatoriamente, quatro amostras, nas camadas de 0-10, e 10-20. Foram avaliados os atributos físicos, como: atributos granulométricos, macroporosidade e microporosidade, densidade do solo e porosidade total de cada amostra nas duas profundidades estudadas. As análises de agrupamentos e componentes principais permitiram identificar a formação de três grupos, formado pela mata nativa, área em reflorestamento e o outro com a área cultivada com cana-de-açúcar. A classificação dos acessos em grupos foi feita por dois métodos: método de agrupamentos hierárquico, e análise de componentes principais. Os resultados indicam que o uso intensivo do solo diminui a sua qualidade tendo como referência a vegetação nativa.

PALAVRAS-CHAVE: mata nativa, cultura de cana-de-açúcar, qualidade do solo.

MULTIVARIATE ANALYZES OF PHYSICAL ATTRIBUTES IN A TYPICAL DISTROFIC RED LATOSOLSUBMITTED TO DIFFERENT MANagements

ABSTRACT

The conversion of natural condition for agriculture, in the spotlight for the monoculture of sugar cane requires drastic changes in physical attributes of the soil. With the objective of studying these changes in a Oxisol dystrophic caused by continuous cultivation of sugar cane, we selected three areas (forest, sugar cane and reforested area) adjacent, in the municipality of Jaboticabal (SP). In each area, were collected, randomly, four samples, in layers of 0-10, and 10-20. We evaluated the

physical attributes, such as: attributes granulometricos, macroporosity, microporosity, soil bulk density and porosity of each sample in the two studied depths. The cluster analysis and principal components allowed to identify the formation of three groups, formed by native forest, an area in reforestation and the other with the cultivated area with sugar cane. The classification of accesses in groups was done by two methods: method of hierarchical groups, and analysis of the main components. The results indicate that the intensive use of the soil decreases its quality having as reference to native vegetation.

KEYWORDS: native forest, sugar cane culture, quality of the soil.

INTRODUÇÃO

Áreas ocupadas com vegetação nativa estão cada vez mais fragmentadas devido à ocupação agrícola e antrópica, sendo que, o uso do solo na agricultura após a retirada da vegetação natural, tem frequentemente mostrado alterações em suas propriedades químicas, físicas e biológicas, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas (MARCHIORI JUNIOR & MELO; 2000).

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acumulação e decomposição da matéria orgânica. Dessa forma, o solo que é mantido em seu estado original, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (ANDREOLA *et al.*, 2000). Entretanto, quando o solo é submetido ao processo produtivo, os atributos físicos sofrem modificações (NEVES *et al.*, 2007), tornando-se fundamental a avaliação desses atributos após a introdução de atividades de caráter antrópico, devido ao fato de serem capazes de provocar a perda da qualidade estrutural e aumentar a suscetibilidade à erosão (BERTOL *et al.*, 2001).

Os sistemas agrícolas que associam ao cultivo de monocultura contínua ao uso de maquinários inadequados de preparo do solo resultam em rápida degradação do solo. A formação de camadas compactadas diminui a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ *et al.*, 2008). Além disso, limita a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes e água (FREDDI *et al.*, 2007). Desse modo, o impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos tem sido avaliado por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo (CARNEIRO *et al.*, 2009), a resistência do solo à penetração (TAVARES FILHO & RIBON, 2008) e a distribuição dos agregados.

A conversão de sistemas naturais em agrícolas pode resultar em compactação do solo, devido ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA & ANDERSON, 2005). O grau de compactação pode ser influenciado pela textura, pelo sistema de manejo, pela quantidade de resíduo vegetal na superfície e pela umidade do solo (LANZANOVA *et al.*, 2008) o que pode comprometer a qualidade física do solo, que passa a apresentar aumento da densidade e redução da porosidade (GIAROLA *et al.*, 2007).

As inter-relações das propriedades do solo controlam os processos e os aspectos relacionados a sua variação espacial e temporal, de tal forma que qualquer

alteração pode afetar diretamente a sua estrutura e a atividade biológica e, conseqüentemente, a sua qualidade (CARNEIRO *et al.*, 2009). Segundo CARDOSO, *et al.*, (2011), avaliações de alterações nas propriedades do solo, decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais, podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa original.

O estudo dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um sistema de manejo determinado (REICHERT *et al.*, 2009).

O conhecimento das modificações físicas do solo, causadas pelo cultivo contínuo, pode fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas.

Nesse contexto, para identificar o potencial ou as limitações de funcionamento de um tipo de solo, é preciso estabelecer um referencial, o qual se relaciona ao solo em estado natural, sem alterações antrópicas por uso. Teoricamente, nessas condições o solo expressaria o seu potencial, suas limitações e sua qualidade de referência, pois, quando ocorre a modificação de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados e sua qualidade é modificada (MELO FILHO *et al.*, 2004).

A hipótese deste estudo é de que há relação inversa entre o uso de um solo e uma boa qualidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar comparativamente, a qualidade do solo, utilizando-se atributos de natureza física, em áreas sob diferentes usos.

METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, no município de Guariba (SP), na localização geográfica 23°05'56" de latitude sul e 48°55'33". O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa), com precipitação de 1.400 mm, com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, segundo critérios da EMBRAPA (2006), com relevo plano e altitude média de 600 m.

A qualidade do solo foi avaliada em três áreas amostrais adjacentes e homogêneas, sendo: a) área com mata em condição natural (AM), caracterizada como floresta estacional semidecidual tropical subcaducifólia, aproximadamente existente há 60 anos, com 18 ha de extensão; b) área com cultivo de cana-de-açúcar (AC), cultivada há aproximadamente 60 anos, com extensão de 50 ha aproximadamente. 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), implantada há oito anos, sendo que antigamente foi explorada com a monocultura de cana-de-açúcar por 40 anos. Nesta área foram introduzidas algumas espécies nativas, como por exemplo, o jambolão, pelos próprios trabalhadores locais sem bases científicas. Assim, as espécies escolhidas não foram selecionadas.

Cada ecossistema foi subdividido em quatro subáreas, cada uma com 1/4 da área total de cada ecossistema. Coletaram-se quatro amostras indeformadas, em ziguezague, por área. No total, foram realizadas quatro repetições por área, na profundidade de 0–10 cm e 10-20 cm, no total de oito amostras por área, totalizando 24 anéis coletados.

As propriedades físicas do solo foram determinadas em amostras indeformadas, coletadas nas minitrincheiras. Foram coletadas amostras em anéis cilíndricos de aço inox com volume de 50 cm³, coletadas na profundidade de 0-10 cm e de 10 - 20 cm, para a determinação de densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total e atributos granulométricos (areia grossa, areia fina e argila) segundo a EMBRAPA (1997). Em seguida, as amostras foram envoltas em papel-alumínio, acondicionadas em recipientes plásticos e levadas para serem processadas no Laboratório de Física do Solo pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de São Carlos, Campus de Araras, estado de São Paulo.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram feitas pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando o Programa Systat 8.0 (WILKINSON, 1998). Posteriormente foram aplicados dois métodos estatísticos multivariados, visando classificar os acessos em grupos: análise de agrupamentos hierárquica e análise de componentes principais. A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto das sete variáveis (areia fina, areia grossa, argila, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo) e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos.

A análise de componentes principais foi aplicada a fim de avaliar qualitativamente as características de cada área e verificar as variáveis que mais estão relacionadas com cada uma delas. A partir dos escores dos componentes principais foi obtida a matriz de distância euclidiana entre as formações. Para se reduzir os erros, devidos às escalas e as unidades das variáveis selecionadas, os dados foram padronização com média zero e variância 1. Permite também, condensar a maior quantidade da informação original contida em p variáveis (p = 7, neste estudo) em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR, 2005). Desta forma, o conjunto inicial de sete variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela informação total das variáveis originais retidas 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

Analisando-se a Tabela 1, pode-se observar que os valores dos atributos do solo apresentaram variação sob o uso da AM, AR e AC para algumas das variáveis analisadas.

Nota-se que a mata é o ambiente que possui os maiores valores de porosidade total e macroporosidade. Tais valores foram significativamente menores no solo cultivado em comparação com os do solo sob mata nativa. Resultados similares, em solo cultivado com cana-de-açúcar, foram obtidos por SILVA & RIBEIRO (1992) e FREITAS (2011). A drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre do aumento da compactação do solo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo (SILVA *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009; FREITAS, 2011; CUNHA *et al.*, 2012). A porosidade total (Pt) se comportou da mesma maneira que os valores da macroporosidade do solo e inversamente proporcional à Ds, sendo influenciada significativamente pelos diferentes usos do solo, nas duas profundidades, com os maiores valores sendo encontrados nas áreas de mata nativa.

TABELA 1. Valores médios¹ dos atributos físicos do solo nas diferentes áreas estudadas

Atributos Físicos				
Áreas	Densidade g/cm ³	PT	Micro %	Macro
0 a 10 cm				
AC	1,68 A	39,44 C	15,46 A	24,03 C
AR	1,45 B	47,10B	16,07 A	31,02 B
AM	1,22 C	55,45 A	16,41 A	39,17 A
10 a 20 cm				
AC	1,73 A	37,62 C	15,46 A	22,16 C
AR	1,48 B	45,86 B	15,17 A	30,69 B
AM	1,23 C	55,27 A	16,23 A	39,04 A

¹ Médias de quatro repetições. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % na coluna. AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa (referencial); PT: porosidade total, Macro= macroporosidade; Micro= microporosidade

A Ds foi maior na AC em comparação com a AM e AR em ambas as profundidades analisadas. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por ARAÚJO *et al.*, (2004) e VIANA *et al.*, (2011) que constataram um valor médio da Ds significativamente maior em área cultivada comparada com solo sob mata natural. Também SILVA & RIBEIRO (1992) e PORTUGAL *et al.*, (2010) obtiveram resultados similares, comparando solo cultivado com cana e sob mata nativa. A maior Ds nos solos cultivados está relacionada com a compactação do solo pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas (HAMZA & ANDERSON, 2005; FREITAS *et al.*, 2011). O aumento da densidade do solo na área cultivada, a vulnerabilidade do solo à compactação pode ser modificada pelos sistemas de uso e manejo do solo (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2009).

A microporosidade do solo não apresentou diferença significativa nas áreas em estudo. SILVA & KAY (1997) verificaram que a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura, teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas, implementos, etc. Segundo ARAÚJO *et al.*, (2004), em estudo comparativo das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico, cultivado e sob mata nativa, não verificaram diferenças significativas na microporosidade. Portanto, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua

qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis.

Considerando a Tabela 2, os dados referentes aos atributos granulométricos, argila, areia grossa e areia fina não houve diferença significativa em nenhum dos ambientes estudados, indicando a homogeneidade entre as áreas, bem como a ausência de modificações desse atributo com o manejo ou uso do solo.

TABELA 2. Valores médios¹ da textura do solo nas diferentes áreas estudadas

Textura do solo			
Áreas	Argila	Areia grossa	Areia fina
g/dm ³			
0 a 10 cm			
AC	302,5 A	640,0 A	57,5 A
AR	292,5 A	640,0 A	62,5 A
AM	310,0 A	637,5 A	50,0 A
10 a 20 cm			
AC	301,5 A	645,0 A	62,5 A
AR	312,5 A	642,5 A	45,0 A
AM	312,5 A	630,0 A	57,5 A

¹ Médias de quatro repetições. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % na coluna. AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa (referencial)

Diante da possibilidade de utilização das variáveis selecionadas para distinção das áreas, fez-se uso da análise de agrupamento hierárquico objetivando avaliar a similaridade por meio de um dendrograma de ordenação.

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. Essa divisão mostrou um resultado muito importante, que foi a ordenação dos acessos segundo a qualidade do solo. Nesta análise, as áreas (AM, AR e AC) foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos.

Na Figura 1, foi admitido um corte na distância de ligação de 3,75 que permitiu uma divisão clara de grupos. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos físicos, foi possível ordenar os dados em três grupos, o G1, englobando os dados formados pela área com cana-de-açúcar nas duas profundidades, o G2 formado pela área reflorestada nas duas profundidades, e o G3 agrupando os dados formados pela mata nativa nas duas profundidades, evidenciando, assim, que as áreas possuem diferenças em relação aos atributos analisados. A diferenciação dos três grupos foi marcante, mostrando as particularidades de cada tipo de manejo, pois as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos. Esse resultado deve-se ao fato de que devido ao manejo e ao cultivo adotado o ambiente cultivado com cana-de-açúcar e a área reflorestada se diferenciaram do ambiente natural, a mata nativa.

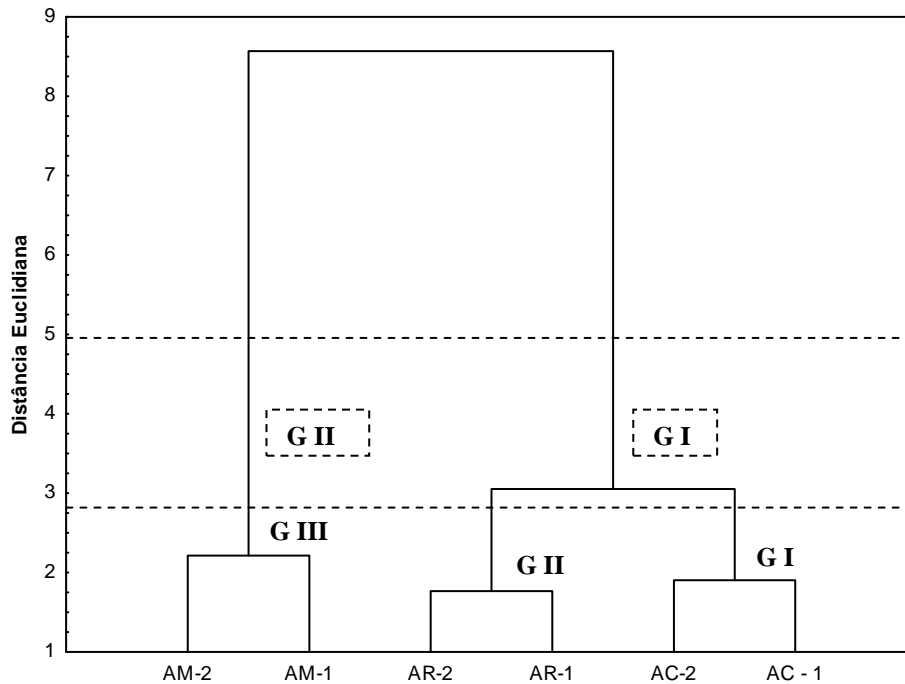


FIGURA 1. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis analisadas.

Pode-se também observar a formação de outros dois grupos se admitido um corte na distância de ligação de 5, no qual um é composto pela área com cana-de-açúcar e pela área reflorestada apresentando maior similaridade entre eles e o outro grupo somente pela mata nativa.

Os agrupamentos formados pela análise de Cluster confirmam a diferença de ambientes, visto que os três manejos estudados estão nitidamente separados, ou por uma outra visão na distancia de 5, o ambiente cultivado e o reflorestado são mais similares, sendo a mata nativa o ambiente isolado o que mais se diferencia dos demais.

Conforme o pressuposto de haver uma relação inversa entre o uso de um solo e uma boa qualidade do solo, esperava-se encontrar melhores condições físicas do solo na mata que nos demais ambientes. Através da Tabela 3, pode-se perceber pela distância euclidiana uma diferença de ambiente maior entre mata nativa e cana-de-açúcar, depois entre mata nativa e área reflorestada.

A fim de melhor entender as relações entre os três ambientes analisados, é possível verificar, contrastando os ambientes estudados por meio da Tabela 4, que os maiores valores de F são encontrados quando a área cultivada com cana-de-açúcar é comparada com a mata nativa. Já as demais áreas, apesar de serem estatisticamente diferentes, possuem características mais semelhantes, devido aos seus menores valores de F.

TABELA 3. Distância euclidiana entre os ambientes.

	AC-1	AC-2	AR-1	AR-2	AM-1	AM-2
AC-1	0,00	1,90	2,97	2,08	4,80	4,80
AC-2	1,90	0,00	2,58	2,15	5,64	5,69
AR-1	2,97	2,58	0,00	1,77	3,88	3,68
AR-2	2,08	2,15	1,77	0,00	4,23	4,15
AM-1	4,80	5,64	3,88	4,23	0,00	2,21
AM-2	4,80	5,69	3,68	4,15	2,21	0,00

AC- área com cana-de-açúcar; AR- área reflorestada; AM - mata nativa. 1 – profundidade de 0-10 cm; 2 – profundidade de 10-20 cm

Uma explicação provável para este resultado seria o solo da área cultivada ser o mais revolvido devido às práticas culturais adotadas, como resultado do uso intensivo de implementos agrícolas que afetam diretamente os atributos físicos do solo analisado. Nota-se que a área reflorestada ainda está mais próxima do ambiente cultivado que o da mata nativa. Talvez, por está área estar em fase inicial da sua recuperação, esta ainda não atingiu a adequada qualidade física do solo.

TABELA 4. Resultado da Anova contrastando as áreas estudadas com todas as variáveis em conjunto.

Contraste entre os manejos estudados	
Áreas	ANOVA – F
AC x AR	181,56***
AC x AM	589,43***
AM x AR	234,68***

(***) Todos os valores são significativos para $p < 0.001$

Essas diferenças de agrupamento são resultado, 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 mata com as demais áreas e, contrariamente, a grande proximidade do ambiente cultivado com cana-de-açúcar e área reflorestada, pode ser evidenciada nos resultados da análise de componentes principais (Figura 2).

A análise de componentes principais dos atributos do solo vem confirmar a análise de grupamento para os ambientes estudados (Figura 1), com a formação de três grupos, que correspondem à diferenciação de três tipos de manejo.

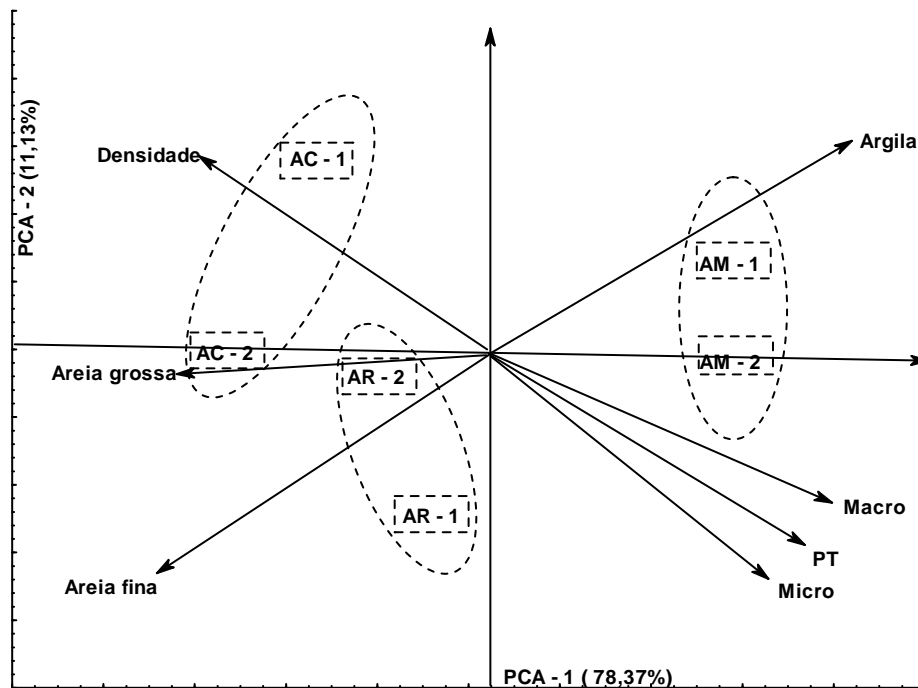


FIGURA 2. Análise de componentes principais das médias dos atributos físicos dos diferentes ecossistemas estudados: Ds (densidade do solo); PT (porosidade total); Micro (microporosidade); Macro (macroporosidade) e atributos granulométricos (areia grossa, areia fina e argila).

A partir das observações feitas na distribuição dos atributos físicos do solo sob os diferentes usos pela análise de componentes principais (ACP), observou-se que algumas propriedades apresentam comportamento distinto em relação às demais. Na Tabela 5 apresenta-se a distribuição das variáveis selecionadas (propriedades físicas do solo) pela ACP, com variância acumulada de 89,5 % para os eixos CP1 e CP2. A CP1 apresentou 78,37% da e o PC2 compôs 11,13%.

TABELA 5. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas do solo.

Componente	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
1	5,4862	78,37	78,37
2	0,7797	11,13	89,5
3	0,4865	6,95	96,46

A primeira componente principal foi representada por autovetores positivos, como a argila, macro, microporosidade e porosidade total. Também se observa a influência da areia fina areia grossa e densidade, no eixo da PC1, como autovetor negativo, conforme pode ser observado na Tabela 6.

No segundo componente principal observa-se como autovetores positivos a densidade e a argila, e como autovetores negativos, a macro, microporosidade, porosidade total, areia grossa e areia fina, sendo os de maior influência a Ds, PT e

macro, segundo seus maiores valores (Tabela 6)

A representação gráfica e a correlação das variáveis nos componentes principais (Figura 3 e Tabela 5) permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação dos ambientes. As variáveis mais fortemente correlacionadas com o ambiente da mata nativa foram a argila, macroporosidade e porosidade total. A maior relação com a argila deve-se ao fato desta estar diretamente associada com a macroporosidade e a porosidade total, que tiveram maior influência nesse ambiente, por estar sem interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratamentos culturais, não degradando a estabilidade dos agregados do solo.

TABELA 6. Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas

Variável	CP1	CP2	CP3
Ds	-0,961133*	0,225043	0,053346
PT	0,966300*	-0,212737	-0,052628
Micro	0,844920	-0,278659	-0,235342
Macro	0,963209*	-0,202013	-0,043605
Argila	0,851053	0,474858*	0,206551
Areia grossa	-0,857190	-0,028720	0,500843
Areia fina	-0,726662	-0,582307*	0,360732

* Valores mais significativos CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2.

No ambiente cultivado com cana-de-açúcar, foi possível verificar uma maior influência da densidade, o que corrobora com PORTUGAL *et al.*, (2010), ANDRADE *et al.*, (2009); FREITAS (2011) e CUNHA *et al.*, (2012). A maior relação com a densidade do solo foi devido a essa área ser muito influenciada pelo manejo do solo na implantação e manutenção da cultura, como também pelo uso de implementos agrícolas, tornando o solo mais compactado, alterando assim, a densidade do mesmo. É possível verificar também pela Figura 2, que a areia grossa teria uma influência nos resultados do ambiente cultivado. Porém, independente desta variável, o que preponderou foi o manejo e uso do ambiente em questão, não sofrendo forte influência de qualquer atributo granulométrico analisado, visto que, a areia grossa não houve diferença significativa em nenhum dos ambientes estudados, indicando a homogeneidade entre as áreas.

Na figura 2 é possível observar a nítida formação dos três ambientes separados, sendo que a AR encontra-se entre a AM e AC, mesmo estando mais próxima, com características mais semelhantes com o ambiente cultivado. A área reflorestada está em uma situação intermediária entre os dois ambientes, AC e AM, pelo fato desta área estar em recuperação, possuindo, portanto, características tanto de AM como da AC.

A PCA das variáveis mostrou que levando em conta todos os aspectos físicos analisados houve uma clara distinção entre os ambientes, como pode ser visualizada na Figura 2, onde a mata é encontrada praticamente no primeiro quadrante e o ambiente cultivado e reflorestado estão bem próximos no segundo e terceiro quadrantes.

Essa separação dos pontos da mata com a área cultivada e reflorestada 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. As diferenças são devidas às variações de

fertilidade natural e melhores condições físicas do solo da mata e aquelas decorrentes de diferentes níveis de adubação da cana. A variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando se compara com solos de usos agrícolas, e por isso a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas. Nessa comparação, é possível observar as alterações de atributos do solo após a utilização agrícola, verificando, 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 realmente houve a separação dos três ambientes, resultantes das diferenças do uso e do manejo das áreas o que determinou diferenças nos atributos físicos do solo nas áreas estudadas.

CONCLUSÕES

- 1- Os atributos físicos do solo, porosidade total e macroporosidade sofreram alterações em função do uso e manejo do solo.
- 2- O uso das técnicas de multivariadas, análise de agrupamento e de componentes principais, foi eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos físicos do solo em cada ambiente estudado.
- 3- A qualidade do solo para as áreas avaliadas segundo os métodos utilizados, estão assim ordenados: Mata Nativa > Reflorestamento > Cana-de-açúcar.
- 4- O uso agrícola contribuiu para a redução da qualidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo COSAN - Unidade Bonfin pela concessão das áreas experimentais e suporte em campo, ao Prof. Dr. José Carlos Casagrande pela orientação e a CAPES pela concessão da bolsa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, p.411-418, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, 2000.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p. 337-345, 2004.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v. 58, p. 555-560, 2001.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; SCHLEGEL, A.J.; LYON, D.J.; VIGIL, M.F.;

MIKHA, M.M.; STAHLMAN, P.W. & RICE, C.W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p.1871-1879, 2009.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M, L, N; CURI, N; FERREIRA, M. M; FREITAS, D. A. F; Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 35, n. 2, p. 613-622. 2011

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.

CUNHA, Q. E; STONE, L. F., FERREIRA, E. P. DE B; DIDONET., A. D; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.56–63, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.

FREITAS. L. **Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2011.112 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

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.137-147, 2011.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.863-873, 2007.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. & BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2005.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research.**, 82:121-145, 2005.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T., ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.

MELO FILHO, J.F.; DEMATTÊ, J.A.M.; LIBARDI, P.L. & PORTELA, J.C. Comportamento espectral de um Latossolo Amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. **Magistra**, v.16, p.105-112, 2004

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 74, p. 45-53, 2007.

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, p.575-585, 2010.

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 manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.310-319, 2009.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society America Journal**, v.61. p.877-883, 1997.

SILVA, F. DE F. DA; FREDDI, O. DA S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; ANDRIOLI, F. F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, v.13, p.191-204, 2008.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.397-402, 1992.

STATSOFT, Inc. (2004). **STATISTICA** (data analysis software system), version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 487-494, 2008.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S. DA; INOUE, T. T.. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

WILKINSON, L. 1998. **Systat**: the system for statistics. Systat Inc. Evanston, Illinois, USA.