

## Comissão 2.2 - Física do solo

# ALTERAÇÕES FÍSICAS DE UM CAMBISSOLO CULTIVADO COM BANANEIRA IRRIGADA NA CHAPADA DO APODI, CEARÁ

Jaedson Cláudio Anunciato Mota<sup>(1)\*</sup>, Thiago Leite de Alencar<sup>(2)</sup> e Raimundo Nonato de Assis Júnior<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza, Ceará, Brasil.

<sup>(2)</sup> Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, Ceará, Brasil.

\* Autor correspondente.

E-mail: jaedson.mota@ufc.br

### RESUMO

Os atributos do solo tornam-se indicadores de qualidade na medida em que passam a ser utilizados para monitorar mudanças do solo no decorrer do tempo. Considerando a hipótese de que os solos da Chapada do Apodi sofreram alterações em sua qualidade física pelo uso, e que os sistemas de manejo conduzem a um novo estado de equilíbrio de seus atributos, esta pesquisa objetivou aferir o grau dessas alterações para certificar se o uso está levando ou não o solo a um processo de degradação física. Um Cambissolo sob cultivo com bananeira e sob mata nativa secundária foi avaliado desde a superfície até 0,3 m de profundidade, em três camadas de 0,1 m, quanto aos seguintes aspectos: granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação, matéria orgânica, densidade das partículas, densidade do solo, estabilidade de agregados e resistência à penetração. Concluiu-se que os índices utilizados para a avaliação evidenciam que a qualidade dos atributos do solo sob cultivo está mantida em comparação à situação de mata nativa secundária. Embora não tenha sido observada diferença significativa entre os atributos avaliados pela estatística univariada nas situações de uso e manejo do solo, a análise de agrupamento foi eficiente para a distinção das situações de solo em três grupos a partir das variáveis analisadas.

**Palavras-chave:** agricultura irrigada, física do solo, qualidade do solo.

**ABSTRACT: PHYSICAL CHANGES IN A CAMBISOL CULTIVATED WITH *Musa* sp. UNDER IRRIGATION IN THE APODI PLATEAU, CE, BRAZIL**

*Soil properties become quality indicators as they come to be used to monitor soil changes through time. Under the hypothesis that the soils of the Chapada do Apodi (Apodi Plateau), CE, Brazil, underwent changes in physical quality through use, and that management systems lead to a new state of equilibrium in these properties, the aim of this study was to analyze the degree of these changes to ascertain whether soil use is leading to a process of physical degradation. A Cambisol under cultivation with banana and under secondary forest was evaluated from the surface to 0.3 m deep, in three layers of 0.1 m, in regard to the following aspects: soil texture, clay dispersed in water, degree of flocculation, organic matter, particle density, bulk density, aggregate stability, and resistance to penetration. We concluded that the indicators used for evaluation show that the quality of the soil properties under cultivation is maintained compared to the situation of secondary forest. Although we did not observe a significant difference between the properties evaluated by univariate statistics in the situations of soil use and management, cluster analysis was effective in distinguishing three groups of soil situations based on the variables analyzed.*

*Keywords: irrigated agriculture, soil physics, soil quality.*

## INTRODUÇÃO

A expansão da área agrícola no Brasil é hoje uma necessidade e, também, um fato. Dessa forma, novas áreas têm sido incorporadas ao sistema de produção agrícola com o objetivo de satisfazer às necessidades de uma população crescente. Assim, a substituição de matas naturais por culturas anuais e, ou, perenes tem se tornado fato cada vez mais comum. A Chapada do Apodi é um dos polos de desenvolvimento na Região Nordeste do país onde se tem investido muito na agricultura irrigada, fomentando, entre outras atividades, a produção de frutas frescas. De fato, o potencial da região para a agricultura irrigada é elevado e, nesse caso, as áreas sob exploração precisam ser monitoradas a fim de que sejam avaliados os impactos causados com a intervenção antrópica. Quanto ao uso dos solos, Mota et al. (2013) chamaram a atenção para a questão de que as pesquisas relacionadas à qualidade do solo, especificamente quanto à física, são poucas e, portanto, tornam-se necessárias em um curto decurso de tempo. Apesar de poucos, destacam-se os trabalhos já realizados por Almeida et al. (2005), Fialho et al. (2006), Mota et al. (2013) e Costa et al. (2014).

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade ou especificidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana de maneira sustentável (Doran e Parkin, 1994). Por ser impraticável a medida de todas as propriedades do solo, foi proposto um grupo mínimo de variáveis que permitam, quando medidas, avaliar a qualidade do solo (USDA, 2001). Evidentemente que determinadas condições específicas exigem indicadores também específicos, de tal modo que

é possível haver variação de indicadores de local a local, não invalidando, porém, o caráter universal do levantamento de informações relativas à qualidade dos solos.

A proposta de indicadores de qualidade física do solo feita por USDA (2001) relaciona, matéria orgânica, estrutura, profundidade do solo para a exploração por raízes de plantas, infiltração, densidade do solo, retenção de água, pH, condutividade elétrica, N extraível, P, K, C e N microbianos, N potencialmente mineralizável e respiração do solo. No tocante à física, os indicadores mais utilizados são os diretamente ligados à estrutura do solo.

Considerando a hipótese de que os solos da Chapada do Apodi sofreram alterações em sua qualidade física pelo uso, e que os sistemas de manejo conduzem a um novo estado de equilíbrio de seus atributos, esta pesquisa objetivou aferir o grau dessas alterações e predizer os riscos de degradação dos solos se mantidas as atuais condições de manejo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área avaliada está na Chapada do Apodi, particularmente na porção localizada no Estado do Ceará, em uma região estratégica para a definição de políticas públicas de interesse econômico. Selecionou-se uma área explorada com a cultura da banana (*Musa* sp.), cujo centro está nas coordenadas geográficas 5° 4' 19,33" S e 37° 51' 56,65". Para fins de avaliação das alterações provocadas pelo uso e manejo dos atributos do solo, uma área sob mata nativa secundária foi tomada como referência, ressaltando que essa área já foi utilizada para fins agrícolas em anos pretéritos, mas está mantida há aproximadamente 10 anos como área de preservação.

As áreas de cultivo de banana por aproximadamente oito anos ininterruptos e mata nativa secundária eram de 3 ha e 0,5 ha, respectivamente, e distavam 5 m uma da outra.

O solo de ambas as áreas é classificado como Cambissolo (Embrapa, 2013) e o fornecimento de água e de nutrientes para a cultura da bananeira foi realizado por meio de fertirrigação por gotejamento. Quando do preparo, o solo foi arado até a profundidade de 20 cm e, em seguida, submetido a uma gradagem. Em relação ao aporte de matéria orgânica em ambos os sistemas de uso do solo, deve-se salientar que na área sob cultivo de banana todos os resíduos da cultura são mantidos na superfície do solo para serem degradados ao longo do tempo. Na área sob vegetação nativa, o aporte é pequeno, uma vez que a vegetação é típica do bioma Caatinga, constituída predominantemente por espécies de pequeno porte adaptadas às condições semiáridas.

Amostras de solo com estrutura deformada e indeformada foram coletadas, considerando dois cenários: solo com cultivo de banana e com mata nativa secundária, até a profundidade de 0,3 m, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. As com estrutura indeformadas foram coletadas com um amostrador Uhland, em anéis de aço (0,05 m de altura  $\times$  0,05 m de diâmetro), com cinco repetições, totalizando 30 amostras, ou seja, duas situações de uso de solo  $\times$  três camadas  $\times$  cinco repetições. As amostragens foram efetuadas na parte central e nos locais correspondentes aos quatro cantos extremos (excluindo as bordas laterais) das áreas selecionadas.

Foram realizadas as seguintes análises: granulometria, argila dispersa em água (calculado o grau de floculação), carbono orgânico total - COT (este, multiplicado por 1,724, resultou no teor de matéria orgânica), densidade das partículas e do solo, estabilidade de agregados e resistência à penetração. A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (Gee e Bauder, 1986), com dispersão física por agitação rápida (12.000 rpm, 10 min). Para quantificar a argila dispersa em água, utilizou-se o método adotado para a análise granulométrica, suprimindo apenas o dispersante químico. A matéria orgânica foi oxidada com dicromato de potássio, em presença de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, titulando-se o excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal. Com esse procedimento, determinou-se o carbono orgânico total - COT (Yeomans e Bremner, 1988).

A densidade das partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Blake e Hartge, 1986a). Já a densidade do solo foi determinada em amostras de solo com estrutura não alterada e secas a 105 °C até massa constante (Blake e Hartge, 1986b).

Para a estabilidade de agregados, aplicou-se o método por via úmida para medir a quantidade e distribuição do tamanho dos agregados que são estáveis em água (Kemper e Rosenau, 1986),

considerando as classes de diâmetros de 4,76-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,5; 0,5-0,25; e 0,25-0,125 mm, com a porcentagem de agregados estáveis na amostra sendo determinada pela equação % de agregados estáveis =  $[(Ma - Mp)/(Ms - Mw - Mp)] \times 100$ , em que *Ma* é a massa dos agregados aparentes na amostra; *Mp*, a massa das partículas primárias na amostra; *Ms*, a massa da amostra antes do peneiramento; e *Mw*, a massa de água na amostra. O diâmetro médio ponderado (DMP), introduzido por van Bavel (1949) como um índice de agregação, foi calculado considerando a proporção em peso *Wi* de um determinado tamanho de fração multiplicada pelo diâmetro médio *Xi* dessa fração, pela equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^N W_i \times X_i$$

A resistência do solo à penetração foi determinada com amostras de solo com estrutura indeformada (0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro), com conteúdo de água correspondente a uma tensão de 10 kPa (Silva et al., 1994), com três determinações por amostra, utilizando um penetrômetro eletrônico estático de laboratório com velocidade constante de penetração de 0,01 m min<sup>-1</sup>, registro de uma leitura por segundo, cone com semiângulo de 30° e área de 12,566 mm<sup>2</sup>, equipado com atuador linear de célula de carga de 20 kgf, acoplado a um microcomputador para aquisição dos dados, conforme descrito por Tormena et al. (1998). As medidas obtidas desde a superfície da amostra até 0,01 m de profundidade foram descartadas, uma vez que a resistência aumenta até certa profundidade e depois tende a se tornar constante. Foram realizadas três determinações por amostra, com 180 leituras por determinação. A resistência à penetração foi representada pelo valor médio das 540 leituras.

Os dados foram analisados como em delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, em que os sistemas de uso constituíram as parcelas e as profundidades de amostragem às subparcelas, com cinco repetições. Aplicaram-se os testes de Kolmogorov-Smirnov, para verificar a normalidade dos dados, F para a análise de variância e de Tukey para a comparação de médias, todos a 5 %. Também foram empregadas técnicas multivariadas de análise de componentes principais (ACP), utilizando o *software* XLSTAT (Xlstat, 2013) para o entendimento de como os atributos interagem ao mesmo tempo. Foram considerados os atributos areia, silte, argila, grau de floculação, densidade do solo, porcentagem de agregados estáveis na amostra, matéria orgânica e resistência à penetração, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m, cujos valores originais foram normalizados para média igual 0 e variância igual a 1, a fim de compor as variáveis utilizadas na ACP.

À matriz de correlação dos atributos, associou-se o nível de significância de 5 % para, então, selecionar

os atributos que apresentam alta correlação com pelo menos um componente principal. Os atributos selecionados apresentaram correlação de no mínimo 0,7 em módulo, o que significa que a correlação entre as variáveis é de moderada a forte (Vicini, 2005). Após esse procedimento, foi excluído o atributo grau de floculação, por apresentar baixa correlação, e feita uma nova ACP, gerando cinco componentes principais. Para a análise de agrupamento das variáveis, utilizou-se o método de Ward, com a medida euclidiana para a distância entre os casos nos grupos, também utilizando o *software* XLSTAT (XLstat, 2013).

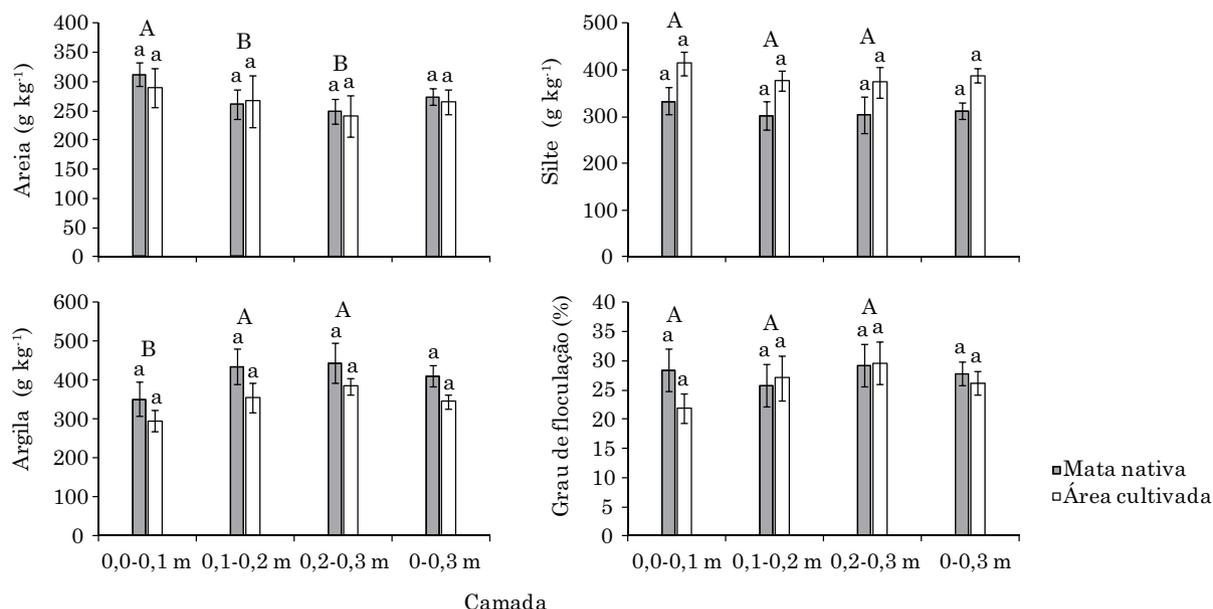
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de areia, silte e argila não diferenciam significativamente dentro de cada camada do solo das áreas de mata nativa secundária e área cultivada; em ambas as situações de uso, o solo apresentou maior teor de areia na camada superficial (Figura 1). Quanto à classificação textural, o solo sob cultivo é franco-argiloso em todas as camadas. Já o solo da mata nativa secundária é franco-argiloso, na camada de 0,0-0,1 m, e argiloso, desde 0,1-0,3 m de profundidade.

O grau de floculação das argilas não diferiu significativamente entre os sistemas avaliados. Os valores indicaram um grau de dispersão elevado, isto é, muita da argila do solo é facilmente mobilizada quando em contato com água, resultando como

consequência obstrução dos poros com redução na permeabilidade à água e ao ar. Resultados semelhantes foram obtidos por Mota (2010), em um Cambissolo na Chapada do Apodi, o qual associou a diminuição da condutividade hidráulica do solo saturado à elevada quantidade de argila dispersa em água. Ressalte-se que tanto no solo cultivado com bananeira quanto no de mata nativa há deposição de material orgânico, resíduos da cultura da bananeira e da vegetação espontânea, o que concorre para o aumento da floculação das argilas. Ressalte-se, também, que teores elevados de Na, inclusive na área de mata nativa secundária, podem explicar os baixos valores de argilas floculadas.

Nesse aspecto, é importante ressaltar as adições de Na ao solo cultivado com bananeira via água de irrigação. Os trabalhos de Dantas et al. (2012) e Mota et al. (2014) indicaram haver forte influência da água de irrigação - provavelmente rica em Na - na dispersão de coloides do solo. Estudo realizado por Almeida et al. (2005) no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (DIJA), também em Limoeiro do Norte, CE, apontou que esse íon é predominante na camada de 0,3-0,6 m de profundidade de solo cultivado com bananeira. No caso do solo com mata nativa secundária, o fato de outrora ter sido explorado com cultivos comerciais remete à possibilidade de haver Na remanescente também adicionado ao solo por ação antrópica. Essa vertente não pode ser desconsiderada, pois como as precipitações pluviais na região são inferiores à demanda evapotranspirativa, a tendência é de acúmulo de sais nas camadas mais superficiais dos solos.



**Figura 1. Granulometria e grau de floculação, com os desvios-padrão da média, para a área cultivada com bananeira e mata nativa secundária, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m. Barras seguidas pela mesma letra maiúscula entre camadas, e pela mesma letra minúscula na camada, indicam que as médias não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.**

A análise para a densidade de partículas (Figura 2) indicou que somente na camada de 0,0-0,1 m há diferença estatística significativa entre ambos os sistemas de uso dos solos, com a mata nativa secundária apresentando menor valor para o atributo avaliado. De acordo com Ferreira (2010), a densidade de partículas é um atributo físico estável e sua grandeza depende unicamente da composição das partículas sólidas. Partindo da premissa de que o material mineral é semelhante em ambas as situações de uso do solo, o fato de os valores de densidade das partículas terem sido maiores no sistema cultivado é reflexo da redução de matéria orgânica nesse sistema em comparação com a mata nativa secundária, conforme será visto posteriormente. Como a matéria orgânica tem densidade específica de aproximadamente  $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$  (Lal e Shukla, 2004; Ferreira, 2010), quanto maior o seu teor no solo maior é a sua contribuição para a diminuição do valor da densidade das partículas.

Em relação à densidade do solo (Figura 2) em ambos os casos de uso dos solos e em todas as camadas, exceto na de 0,0-0,1 m, que apresentou menor valor, não foi observada diferença significativa para o atributo. Em todas as camadas, os valores encontram-se na faixa estabelecida para solos mais argilosos, 1,3 a  $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$  (Libardi, 2012), embora tendem ao limite superior da classe, valor acima do qual há restrições ao desenvolvimento de plantas.

Apesar de os valores não terem extrapolado o limite para solos mais argilosos, a densidade do solo tem sido relatada elevada em solos já estudados na Chapada do Apodi (Mota et al., 2008; Mota, 2010). Esses autores atribuem o fato ao manejo a que esses solos foram ou são submetidos, possibilitando um rearranjo dos minerais, que preenchem vazios e acarretam aumento da densidade e, por conseguinte, da compactação do solo. É importante ressaltar, como dito anteriormente, o efeito da argila dispersa em água (baixo grau de floculação das argilas), contribuindo para aumentar a densidade do solo.

A maior parte dos agregados estáveis se concentrou na classe de diâmetro entre 4,76-2,00 mm, com elevada porcentagem (mais de 90%) nas amostras em todas as camadas de ambos os sistemas analisados. Considerando as classes texturais, e segundo o *Soil Quality Kit Test Guide* (USDA-ARS, 1998), o valor de mais de 90% supera o mínimo estabelecido como ideal na avaliação do parâmetro na qualidade do solo (>70% para textura franco-argilosa e >82% para textura argilosa). Em que pese os baixos valores de argilas floculadas, que poderiam resultar em baixa estabilidade de agregados, vale ressaltar que essas não são os únicos agentes de cimentação quando da formação e estabilização dos agregados. Na situação em análise, a matéria orgânica, cujo valor médio para os sistemas de uso e manejo do solo foi de 3,3%, teve importante efeito na estabilização dos agregados de maior tamanho (cerca de 80% deles foram estáveis na classe de 4,76-2,00 mm de diâmetro) (Figura 3), corroborando informações da literatura (Tisdall e Oades, 1982). Os solos também não apresentaram diferenças significativas quanto ao diâmetro médio ponderado (DMP) em nenhuma das camadas avaliadas. Para Kiehl (1979), o DMP de agregados estáveis em água com valor superior a 0,5 mm é indicador de que o solo resiste bem ao esboroamento e à dispersão e, portanto, tem menor tendência à degradação por erosão hídrica.

De acordo com Ferreira (2010), índices que expressam a estabilidade de agregados o fazem de forma relativa; tentativas de correlacionar estrutura do solo, grau de agregação ou qualquer outra forma de descrever a estrutura, com dados de produção de culturas, têm sido controversas. Ressalte-se que a colocação do autor não indica que atributos associados à estrutura sejam inadequados para avaliar a qualidade física do solo; o que se depreende é que, de fato, há enormes dificuldades no estabelecimento das relações de causa e efeito, que nem sempre podem ser definidas por um modelo

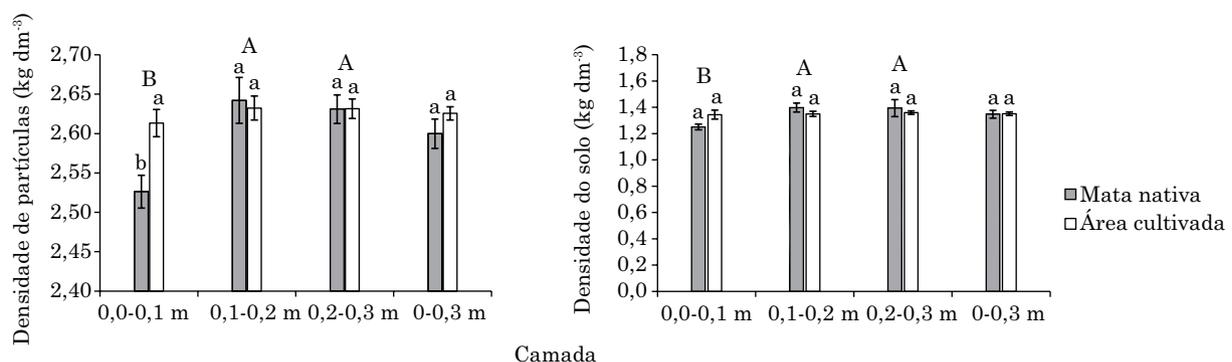
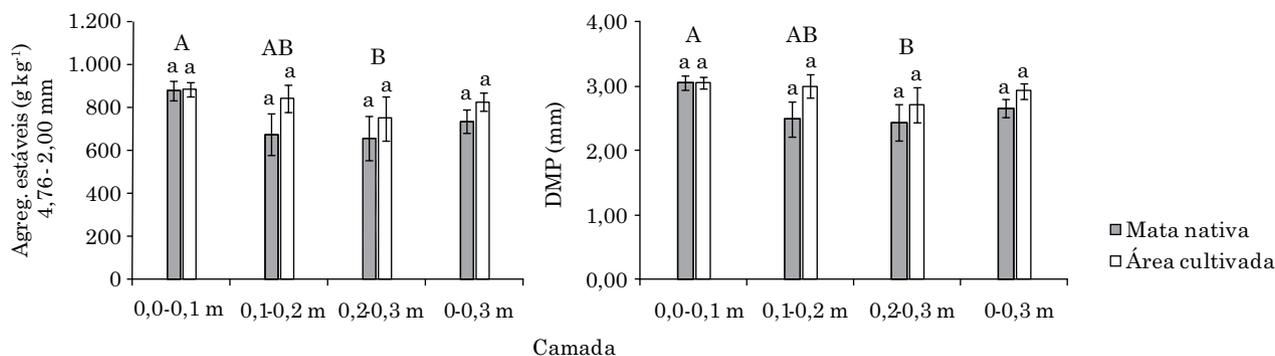


Figura 2. Densidade das partículas e do solo, com os desvios-padrão da média, para a área cultivada com bananeira e mata nativa secundária, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m. Barras seguidas pela mesma letra maiúscula entre camadas, e pela mesma letra minúscula na camada, indicam que médias não diferem pelo teste de Tukey a 5%.



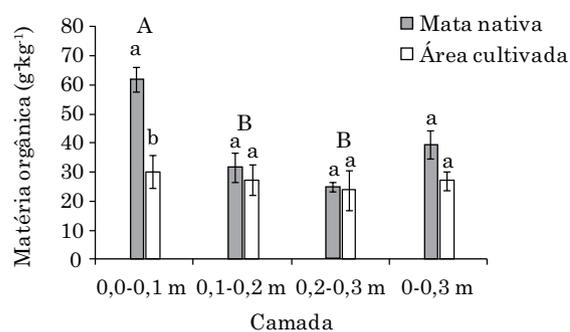
**Figura 3. Agregados estáveis em água e diâmetro médio ponderado, com os desvios-padrão da média, para a área cultivada com bananeira e mata nativa secundária, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m. Barras seguidas pela mesma letra maiúscula entre camadas, e pela mesma letra minúscula na camada, indicam que médias não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.**

matemático, como em outras áreas na ciência do solo, entre estrutura do solo e produção vegetal.

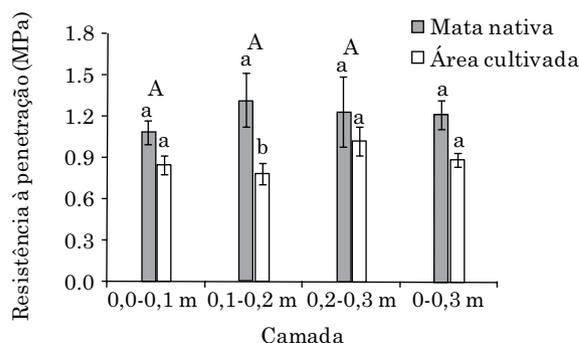
O solo com mata nativa secundária contém, na camada de 0,0-0,1 m, o dobro de matéria orgânica (Figura 4) em comparação ao solo cultivado com bananeira, e que essa diferença é estatisticamente significativa. Nas demais camadas, em ambos os sistemas, os teores se mantêm estatisticamente semelhantes. Quando se analisa a camada de 0,0-0,3 m, ambos os sistemas também apresentam o mesmo teor de matéria orgânica. Estudo realizado por Fialho et al. (2006), comparando indicadores de qualidade do solo entre áreas com vegetação natural e cultivada com bananeira na Chapada do Apodi, também identificou que o material orgânico foi reduzido quando o solo teve uso para a exploração com bananeira, fato que esses autores associaram a uma possível alteração no aporte anual de resíduos vegetais e modificação da taxa de decomposição do material orgânico.

Quanto à resistência do solo à penetração na capacidade de campo (10 kPa), verificou-se que das três camadas avaliadas somente na de 0,1-0,2 m foi que houve diferença significativa, com o solo de mata nativa secundária apresentando valor estatisticamente superior ao de solo cultivado com bananeira (Figura 5). O fato de nessa camada a resistência ter diminuído na condição de cultivo pode ser atribuído, ainda que em tese, aos efeitos das raízes das plantas de bananeira, quicá por maior concentração nessa camada. Informações de Sant'ana et al. (2012) corroboram essa hipótese, visto que em seu experimento, também em cultivo de bananeira irrigada por gotejamento, encontraram raízes concentradas até 0,2 m de profundidade. Quando se considera a camada de 0,0-0,3 m, ambos os sistemas não diferem estatisticamente. Em todos os casos analisados a resistência do solo à penetração não atingiu o limite crítico para o desenvolvimento de raízes de plantas, considerado como sendo 2,0 MPa (Silva et al., 1994).

A análise de componentes principais e a de agrupamentos hierárquicos foram capazes de discriminar os ambientes representados por suas



**Figura 4. Teores de matéria orgânica, com os desvios-padrão da média, para a área cultivada com bananeira e mata nativa secundária, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m. Barras seguidas pela mesma letra maiúscula entre camadas, e pela mesma letra minúscula na camada, indicam que médias não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.**



**Figura 5. Resistência à penetração na capacidade de campo, com os desvios-padrão da média, para a área cultivada com bananeira e mata nativa secundária, nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m. Barras seguidas pela mesma letra maiúscula entre camadas, e pela mesma letra minúscula na camada, indicam que médias não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.**

respectivas camadas de solo, indicando, assim, que essa ferramenta pode ser aplicada para distinguir atributos que influenciam no comportamento de solos em decorrência de seus usos e manejos. Os componentes principais (CP) que explicaram a variabilidade nos atributos considerados no solo são apresentados no quadro 1. Foram considerados como mais importantes apenas os com autovalor maior que a unidade (Vicini, 2005), uma vez que, por esse critério, são os que representam variância acumulada de aproximadamente 96 % (61,24 e 34,52 % para os componentes principais 1 e 2, respectivamente).

A correlação das variáveis analisadas com os componentes principais está apresentada no quadro 2. Verifica-se que as variáveis selecionadas apresentam alta correlação em pelo menos um dos componentes principais que, juntos, explicam 95,76 % da variância dos dados originais. A maioria das variáveis se correlacionou melhor com o componente principal 1, exceção apenas para a matéria orgânica.

A distribuição espacial dos atributos físicos e das camadas de solos analisadas nas duas situações de uso está apresentada na figura 6. Constatou-se que o teor de silte e a percentagem de agregados estáveis em água foram responsáveis por distinguir as camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,0-0,3 m do solo cultivado com bananeira. Já a camada superficial (0,0-0,1 m) do solo com mata nativa secundária se diferenciou dos demais casos pelo teor de areia e matéria orgânica. As camadas de 0,1-0,2 e 0,0-0,3 m da área com mata nativa secundária foram diferenciadas das demais

**Quadro 1. Autovalores e porcentagem explicada por cada componente principal (CP)**

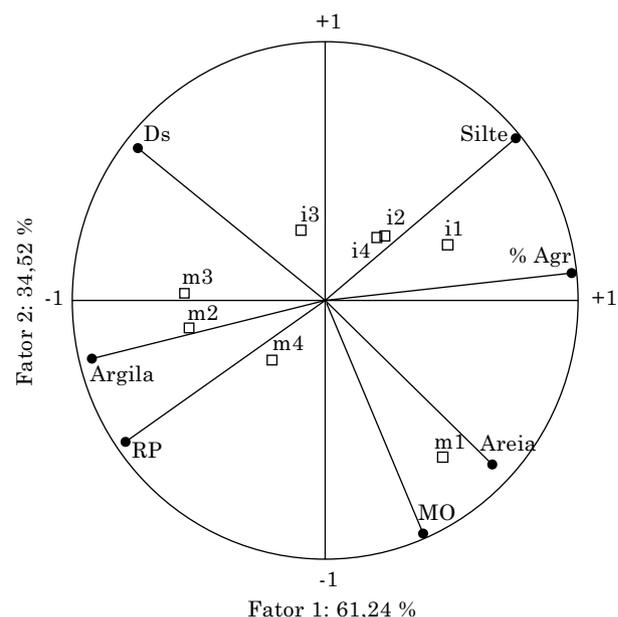
CP	Autovalor	Variabilidade explicada	Variabilidade explicada acumulada
		%	
1	4,287	61,24	61,24
2	2,416	34,52	95,76
3	0,214	3,06	98,82
4	0,078	1,12	99,94
7	0,005	0,06	100,00

**Quadro 2. Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP)**

Variável	CP1	CP2
Areia	0,70	0,66
Silte	0,76	0,63
Argila	-0,95	-0,24
Densidade do solo	-0,76	0,60
Percentual de agregados estáveis na amostra	0,99	0,11
Matéria orgânica	0,39	-0,92
Resistência à penetração	-0,80	-0,56

situações pelo teor de argila e pela resistência do solo à penetração. A densidade do solo foi o fator discriminante para tornar a camada de 0,2-0,3 m das áreas irrigada e com mata nativa secundária distinta de todas as outras situações.

Quanto à correlação entre as variáveis, que não pôde ser obtida quando da análise univariada de dados (Mota et al., 2014), observou-se que aumento de silte causou diminuição na resistência do solo à penetração de raízes. É importante analisar o comportamento entre ambas as variáveis levando em consideração que a resistência do solo à penetração é função de sua umidade e densidade (Silva et al., 1994) e que, neste estudo, se adotou o potencial mátrico de -10 kPa para obter esse parâmetro. O fato de o silte se movimentar com facilidade no solo faz com que ele preencha poros de tamanho grande, aumentando a quantidade de poros de tamanho pequeno e, por consequência, também a densidade do solo. No entanto, nessas circunstâncias, o conteúdo de água para um mesmo potencial mátrico, no caso -10 kPa, também é aumentado e, no final, tem-se que o efeito lubrificante dos filmes de água prevaleça para reduzir a resistência do solo à penetração. Comportamento semelhante entre as variáveis ora consideradas foi



**Figura 6. Dispersão dos atributos físicos em diferentes condições de uso do solo. %Agr: percentagem de agregados estáveis na amostra; Ds: densidade do solo; MO: matéria orgânica; RP: resistência à penetração; i1, i2, i3 e i4 correspondem, respectivamente, às camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m da área cultivada com bananeira sob irrigação; m1, m2, m3 e m4 correspondem, respectivamente, às camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m da área sob mata nativa secundária.**

verificado por Melo et al. (2008) em um Neossolo Litólico no Estado de Pernambuco. Adicionalmente, deve se levar em consideração o fato de o silte ser sedoso e não exibir pegajosidade em qualquer conteúdo de água no solo (Santos et al., 2013).

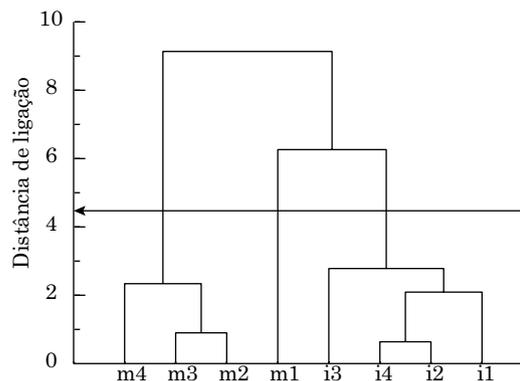
A correlação entre densidade do solo e teores de areia e matéria orgânica também se deu de modo inverso. Os efeitos benéficos da matéria orgânica sobre atributos físicos do solo, e particularmente em reduzir a densidade, são amplamente relatados na literatura (Amaro Filho et al., 2008; Melo et al., 2008; Ferreira, 2010). O fato de a correlação entre areia e densidade do solo ter ocorrido de modo inverso gera aparente contradição, visto que genericamente as afirmações são de que solos arenosos apresentam, por exemplo, maior densidade que os argilosos (Kielh, 1979; Reichert et al., 2003; Amaro Filho et al., 2008; Libardi, 2012). A explicação para o comportamento verificado entre as duas variáveis nos solos desta pesquisa é que há muita areia fina e muito fina (diâmetro equivalente das frações entre 0,25-0,105 e 0,105-0,053 mm, respectivamente, conforme classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), correspondente a 63,5 % (desvio-padrão de 7,05 %) da areia total.

O empacotamento de partículas, segundo Lal e Shukla (2004), é dependente da forma e do tamanho de partículas, daí o porquê da possibilidade dos arranjos cúbicos ou abertos, romboédricos ou fechados e suas combinações. No empacotamento fechado, as menores partículas preenchem os poros formados entre partículas maiores; portanto, para se atingir esse arranjo é necessária ampla faixa de tamanho de partículas. Entretanto, o empacotamento aberto ocorre em situação em que as partículas são de tamanho uniforme, o que leva a uma maior porosidade em comparação com o arranjo fechado. Como nos solos em estudo as frações predominantes na areia são as de menores tamanhos, o direcionamento é para arranjos abertos, mais porosos e, portanto, com menor densidade. Claro que os argumentos aqui elencados são para explicar particularmente a relação observada entre areia e densidade do solo, considerando que as partículas do solo pertençam exclusivamente a essa fração.

Entre as frações silte e argila, a correlação inversa é explicada pela pedogênese, uma vez que a fração argila deriva do intemperismo físico e químico que atua nas partículas da fração imediatamente maior, ou seja, no silte. No que se refere à correlação entre argila e porcentagem de agregados estáveis no solo, constatou-se ser inversamente proporcional, fato explicado em parte pela natureza mineral da fração argila, predominantemente caulínica nos Cambissolos da Chapada do Apodi (Mota et al., 2007). Para Vitorino et al. (2003) e Ferreira et al. (1999), solos mais caulínicos apresentam estrutura menos resistente ao rompimento pela agitação mecânica. Há que se considerar que no solo há uma dada concentração de agentes que causam cimentação e consequente

estabilização dos agregados (Ca, Mg, matéria orgânica, por exemplo) e, portanto, assim considerando, essa concentração vai satisfazer determinada quantidade de sítios na fração argila para formar ligações com outras frações vizinhas. Com o aumento da fração argila, e mantida a mesma concentração de cimentantes, esses agora serão diluídos para satisfazer a maior quantidade de sítios na superfície das argilas e, portanto, nesse caso, aumento da fração argila não significa aumento da estabilidade estrutural.

A partir do dendrograma que apresenta a dissimilaridade entre as várias camadas de solos (Figura 7), evidenciou-se a formação de três grupos. O objetivo nesse procedimento de análise foi verificar se o uso a que o solo foi submetido provocou diferenciação nas camadas em profundidade e, ou, na mesma camada de solo em uso distinto. A análise de cluster indicou que todas as camadas consideradas para o solo cultivado com bananeira irrigada apresentam similaridade e, portanto, constituem um grupo homogêneo e distinto do solo com mata nativa secundária. Decerto os aspectos de manejo, incluindo os procedimentos desde o preparo do solo, são responsáveis por homogeneizar a dinâmica dos processos de ordem física nas camadas exploradas efetivamente pela cultura da bananeira. O segundo grupo foi constituído por solo das camadas de 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m da área com mata nativa secundária, enquanto a camada superficial do solo com mata nativa secundária, 0,0-0,1 m, foi a única que sozinha se diferenciou dos demais grupos, evidenciando que nessa condição de uso a dinâmica das alterações porque passam os atributos físicos considerados não se dá de modo uniforme em todas as camadas.



**Figura 7. Dissimilaridade entre os grupos estabelecida por distância euclidiana a partir dos atributos silte, argila, densidade do solo, porcentagem de agregados estáveis na amostra, matéria orgânica e resistência à penetração; i1, i2, i3 e i4 correspondem, respectivamente, às camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m da área cultivada com bananeira sob irrigação; m1, m2, m3 e m4 correspondem, respectivamente, às camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,0-0,3 m da área sob mata nativa secundária.**

## CONCLUSÕES

Os índices utilizados para a avaliação evidenciaram que a qualidade dos atributos do solo cultivado está mantida em comparação à situação de mata nativa secundária.

Embora não tenha sido observada diferença significativa entre os atributos avaliados pela estatística univariada nas situações de uso e manejo do solo, a análise de agrupamento foi eficiente para a distinção das situações de solo em três grupos a partir das variáveis analisadas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor; e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Almeida DMBA, Andrade EM, Meireles ACM, Ness RLL. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. *Eng Agríc*. 2005;25:615-21.
- Amaro Filho J, Assis Júnior RN, Mota JCA. Física do solo: Conceitos e aplicações. Fortaleza: Imprensa Universitária; 2008. v.1.
- Blake GR, Hartge KH. Bulk density. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*. 2<sup>nd</sup>.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America; 1986a. Pt.1. p.363-75. (Agronomy monography, 9).
- Blake GR, Hartge KH. Particle density. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*. 2<sup>nd</sup>.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America; 1986b. Pt.1. p.377-82. (Agronomy monography, 9).
- Costa PA, Mota JCA, Romero RE, Freire AG, Ferreira TO. Changes in soil pore network in response to twenty-three years of irrigation in a tropical semiarid pasture from northeast Brazil. *Soil Till Res*. 2014;137:23-2.
- Dantas JDAN, Oliveira TS, Mendonca ES, Assis CP. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. *R Bras Eng Agric Amb*. 2012;16:18-26.
- Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA, editors. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science of Society of the America; 1994. p.3-22. (Publication, 35).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3<sup>a</sup>.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2013.
- Ferreira MM. Caracterização física do solo. In: De Jong van Lier Q, editor. *Física do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2010. p.1-27.
- Ferreira MM, Fernandes B, Curi N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste de Brasil. *R Bras Ci Solo*. 1999;23:515-24.
- Fialho JS, Gomes VFF, Oliveira TS, Silva Júnior JMT. Indicadores de qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. *R. Ci Agron*. 2006;37:250-7.
- Gee GW, Bauder JW. Particle-size analysis. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*. 2<sup>nd</sup>.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America; 1986. pt.1. p.383-411. (Agronomy monography, 9).
- Kiehl EJ. Manual de edafologia: Relação solo-planta. Piracicaba: Ceres; 1979.
- Kemper WD, Rosenau RC. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*. 2<sup>nd</sup>.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America; 1986. pt.1. p.425-42. (Agronomy monography, 9).
- Lal R, Shukla MK. Principles of soil physics. New York: Marcel Dekker; 2004.
- Libardi PL. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2012.
- Melo RO, Pacheco EP, Menezes JC, Cantalice JRB. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de Caatinga. *Caatinga*. 2008;21:12-7.
- Mota JCA. Componentes do balanço de água em um Cambissolo cultivado com meloeiro irrigado por gotejamento, com e sem cobertura da superfície [tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2010.
- Mota JCA, Assis Júnior RN, Amaro Filho J, Libardi PL. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na Chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. *R Bras Ci Solo*. 2008;32:49-58.
- Mota JCA, Assis Júnior RN, Amaro Filho J, Romero RE, Mota FOB, Libardi PL. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi, RN. *R Bras Ci Solo*. 2007;31:445-54.
- Mota JCA, Freire AG, Assis Júnior RN. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *R Bras Ci Solo*. 2013;37:1196-206.
- Mota JCA, Alves CVO, Freire AG, Assis Júnior RN. Uni and multivariate analyses of soil physical quality indicators of a Cambisol from Apodi Plateau - CE, Brazil. *Soil Till Res*. 2014;140:66-73.
- Reichert JM, Reinert DJ, Braidia JA. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci Amb*. 2003;27:29-48.
- Sant'ana JAV, Coelho EF, Faria MA, Silva EL, Donato SLR. Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. *R Bras Frutic*. 2012;34:124-33.
- Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC, Shimizu SH. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6<sup>a</sup>.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2013.
- Silva AP, Key BD, Perfect E. Characterization of the least limiting water range. *Soil Sci Soc Am J*. 1994;58:1775-84.
- Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J Soil Sci*. 1982;33:141-63.

- Tormena CA, Silva AP, Libardi PL. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 1998;22:573-81.
- United States Department of Agriculture - USDA. Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. Washington: Natural Resources Conservations Service, Soil Quality Institute; 2001.
- United States Department of Agriculture - USDA. Soil quality test kit guide. Washington: Soil Quality Institute; 1998.
- van Bavel CHM. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci Soc Am Proc*. 1949;14:20-3.
- Vicini L. *Análise multivariada da teoria à prática*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2005.
- Vitorino ACT, Ferreira MM, Curi N, Lima JM, Silva MLN, Motta PEF. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região sudeste do Brasil. *Pesq Agropec Bras*. 2003;38:133-41.
- XLSTAT. *Xlstat 2013 add-in for Excel (Trial Version)*. New York: 2013. [Acesso em 8 Jan. 2013]. Disponível em: <http://www.xlstat.com>.
- Yeomans JC, Bremner JM. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 1988;19:1467-76.