



Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos

Impacts of use and management of soil in the variability and physical quality of Cambisols

Jaedson Cláudio Anunciato Mota¹, Alcione Guimarães Freire², Carlos Vítor Oliveira Alves³, Thiago Leite Alencar^{4*}

Resumo: O monitoramento de atributos físicos do solo é aspecto de grande importância no desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Neste contexto, planejamento agrícola deve fazer parte das tomadas de decisão em sistemas produtivos, o que acarreta menos impactos negativos ao ambiente. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os impactos de usos e manejos sobre a variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos, considerando: cultivado com banana, mamoeiro com plantio em camalhão e sulco, abacaxi e figo. Para todas as situações, solos de mata nativa secundária contígua com espécies vegetais da Caatinga foram selecionados como referência. Amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada e não preservada nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m para a obtenção de dados de granulometria, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade do solo, resistência à penetração, permeabilidade intrínseca ao ar e matéria orgânica. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e análise univariada. Concluiu-se que as intervenções nos solos levaram a que esses apresentem maior variabilidade espacial de seus atributos físicos em comparação aos não cultivados. Em todos os sistemas de usos e manejos, a qualidade física está mantida em condições satisfatórias para o desenvolvimento de plantas, embora se deva priorizar a melhora da rede macroporosa, particularmente a sua conexão e continuidade.

Palavras-chave: Agricultura irrigada. Porosidade do solo. Estrutura do solo.

Abstract: Monitoring the physical attributes of the soil is a very important aspect of the development of sustainable agriculture. In this context, agricultural planning should be part of the decision making in production systems, and would result in fewer negative impacts on the environment. The aim of this study therefore, was to evaluate the impact of types of use and management on the variability and quality of the physical attributes of Cambisols, considering soils cultivated with banana, papaya planted in ridges and furrows, pineapple and fig. For all these situations, soils from native secondary forest contiguous with plant species of the Caatinga were selected as reference. Disturbed and undisturbed soil samples were collected from the 0-0.1 m, 0.1-0.2 m and 0.2-0.3 m layers to obtain data of particle size, particle density, bulk density, soil porosity, penetration resistance, intrinsic air permeability, and organic matter. The data were analysed by means of descriptive statistics and univariate analysis. It was concluded that soil intervention has led to greater spatial variability in the soil physical attributes in comparison with the non-cultivated soils. Under all the systems of use and management, physical quality is maintained at satisfactory levels for plant development, although improvement of the macropore network, in particular connection and continuity, should be prioritised.

Key words: Irrigated agriculture. Soil porosity. Soil structure.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 19/12/2016 e aprovado em 21/07/2017

¹Engenheiro Agrônomo, Professor na Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: jaedson.mota@ufc.br

²Engenheiro Agrônomo, Bolsista de Pós-doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: alcionegef@hotmail.com

³Engenheiro Agrônomo, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: jaco_cv@hotmail.com

⁴Engenheiro Agrônomo, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: thiagoleitealencar@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O monitoramento de atributos físicos do solo deve fazer parte do planejamento das atividades agrícolas, com finalidade de definir sistemas produtivos menos prejudiciais ao ambiente. Esse acompanhamento, seja no espaço ou no tempo, permite atribuir valor qualitativo ao recurso solo desde que as medidas sejam comparadas a um mesmo solo sem intervenção por atividade humana, ou com valores definidos como ideais para que o solo desempenhe bem os serviços e/ou funções no ambiente (DORAN; PARKIN, 1994).

Nessa perspectiva, Vezanni e Mielniczuk (2009) tratam da necessidade de se buscar indicadores de qualidade do solo com ênfase nos sistemas produtivos sustentáveis. Um bom indicador de qualidade do solo deve ser sensível a um conjunto de propriedades que permitam esclarecer os processos dinâmicos que nele ocorrem (MELLONI *et al.*, 2008). Para Garrigues *et al.* (2012), a definição da qualidade do solo está associada com perguntas sobre como analisar e avaliar os impactos sobre ele. Por ser um sistema complexo, os desafios devem contemplar a variabilidade espacial e temporal dos atributos dos solos e a influência de fatores externos como clima e manejo. Stefanoski *et al.* (2013) recomendam a inclusão de indicadores como textura, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, porosidade de aeração, além de outros que derivam da curva característica de água no solo (índice S, por exemplo).

Os solos da Chapada do Apodi, região em que os dados para esta pesquisa foram obtidos, têm a sua exploração agrícola direcionada para a produção de frutas, com destaque para melão, mamão, graviola, goiaba, uva, pinha, banana, abacaxi e manga. Não é raro observar que há negligência em relação ao monitoramento de atributos físicos do solo, o que é um equívoco, visto que a degradação física se reflete severamente nos atributos químicos e biológicos. Quanto às pesquisas relacionadas à qualidade física dos solos da Chapada do Apodi, Mota *et al.* (2013) afirmam que são poucas e, assim, precisam ser realizadas para diagnóstico de sua qualidade atual.

É importante que estudos sobre avaliação da qualidade física do solo envolvendo vários atributos recorram a diversas técnicas de análises de dados, visto que apenas com as análises estatísticas univariadas pode haver o comprometimento das interpretações e conclusões, uma vez que a existência ou não de interdependência entre as variáveis não é explorada (FIDALSKI *et al.*, 2007). Na agricultura, há grande interesse na avaliação conjunta de observações, pois amplia-se a capacidade de tomar decisões abrangentes para uma região a partir de dados obtidos em vários locais de interesse do pesquisador (DESSOTTI *et al.*, 2013).

O trabalho apresentou as seguintes hipóteses: 1) os usos e manejos aplicados aos solos, por causarem perturbação à estrutura aumentam a variabilidade dos atributos físicos;

e 2) as alterações físicas no solo podem ser aferidas por índices e interpretadas sob o aspecto qualitativo. Portanto, objetivou-se avaliar os impactos do uso e manejo sobre a variabilidade e qualidade física de Cambissolos da Chapada do Apodi cultivados com bananeira (*Musa sp.* L.), mamoeiro (*Carica papaya* L.), abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill) e figueira (*Ficus carica* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

Buscando conhecer os impactos causados pela fruticultura sobre atributos físicos de Cambissolos Háplicos da Chapada do Apodi, localizada no Ceará, foram realizadas pesquisas, a partir de 2010, em áreas cultivadas com banana, mamão, abacaxi e figo, que agora em uma análise conjunta constituem este artigo. Os usos e manejos dos solos considerados foram: I) cultivado com bananeira (*Musa sp. L.*); II) cultivado com mamoeiro (*Carica papaya* L.), considerando o plantio em sulco e camalhão; III) cultivado com abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill); e IV) cultivado com figueira (*Ficus carica* L.), com aplicação de biofertilizante nas doses de 0, 20, 40 e 60%. Para todas as situações de solo cultivado, áreas contíguas de mata nativa secundária com espécies vegetais típicas do bioma Caatinga foram também selecionadas e tomadas como referência. Todas as áreas são de relevo plano, com boa drenagem e horizontes A e B com mais de um metro de espessura. Quando do cultivo, o solo foi preparado com uso de máquinas e implementos agrícolas. Em todas as situações, o fornecimento de água às culturas se deu por irrigação.

Para o uso do solo I, as áreas de cultivo e de mata nativa secundária eram de 3,0 ha e 0,5 ha, respectivamente, e separadas por estrada vicinal de 5,0 m de largura; ressaltou-se que o solo sob mata nativa secundária já havia sido utilizado para fins agrícolas, mas estava mantido há aproximadamente 10 anos como área de preservação. No uso do solo II, antes do plantio com mamoeiro, a área era cultivada com milho e feijão na estação chuvosa; já a área de mata nativa secundária também estava em repouso há aproximadamente 10 anos e distante cerca de 1.600 m das áreas cultivadas. Com relação ao uso do solo III, as áreas de cultivo e de mata nativa secundária eram de 0,8 e 0,5 ha, respectivamente, com distância de 1000 m uma da outra. Para o uso do solo IV, o cultivo de figo se deu em uma área de 0,25 ha, distante 400 m da área sob mata nativa secundária, cuja coleta de amostras também se deu em área de 0,25 ha. Detalhes dos ambientes relatados podem ser obtidos em Alencar *et al.* (2015a), Mota *et al.* (2013), Mota *et al.* (2014) e Alencar *et al.* (2015b) para as áreas I, II, III e IV, respectivamente.

Em todos os casos, quando do preparo do solo, fez-se aração com duas passagens desde a superfície do solo até 0,2 m de profundidade. Para o cultivo de mamoeiro se fez o levantamento dos camalhões a uma altura de 0,25 m,

com enxada rotativa, e abertura dos sulcos com sulcador a 0,25 m de profundidade, ambos com 0,40 m de largura, mantendo em seguida as mesmas práticas de manejo para ambas as situações. Quanto ao cultivo da bananeira, a palhada era mantida na área, sobre a superfície do solo.

Em todas as áreas foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada e não preservada até a profundidade de 0,3 m, nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m – apenas uma única vez, quando a cultura estava em plena produção. As amostras com estrutura preservada foram coletadas utilizando amostrador tipo Uhland, em anéis de aço com dimensões de 0,05 m de altura por 0,05 m de diâmetro. Os quatro solos, classificados como Cambissolos Háplicos (EMBRAPA, 2013), foram avaliados quanto aos seguintes aspectos: granulometria, densidade de partículas e do solo, porosidade total (macro e microporosidade), resistência à penetração, permeabilidade intrínseca do solo ao ar e teor de matéria orgânica.

A argila foi determinada pelo método da pipeta, enquanto a areia por tamisamento, e silte pelo todo da amostra menos o somatório de argila e areia. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, a porosidade total a partir da densidade do solo e de partículas, de acordo com a equação $\alpha = 1 - (\rho_s/\rho_p)$, sendo α a porosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e ρ_s e ρ_p as densidades do solo e de partículas (kg m^{-3}), respectivamente. A determinação da microporosidade (poros com diâmetro $< 50 \mu\text{m}$) foi realizada mediante a aplicação de tensão de 6 kPa no funil Haines, até que a água que ocupasse os poros com diâmetro igual ou superior a 50 μm fosse drenada.

A resistência à penetração foi determinada em penetrômetro de bancada, em amostras com estrutura indeformada, com teor de água correspondente a uma tensão de 10 kPa. A permeabilidade intrínseca do solo ao ar foi determinada segundo o método da pressão decrescente (KIRKHAM, 1946). O carbono orgânico foi determinado a partir da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio, em presença de H_2SO_4 e aquecimento externo, titulando-se o excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal. A matéria orgânica foi obtida multiplicando o carbono orgânico por 1,724. Todas as análises foram realizadas conforme descrito por Alencar *et al.* (2015a).

Os dados foram analisados inicialmente pela estatística descritiva. Para a análise de variância dos grupos de experimentos pelo teste F, com divisão em solos cultivados e solos sob mata secundária, considerou-se a média dos tratamentos (camadas de solo e áreas), desconsiderando o número de repetições dos tratamentos e testando apenas as camadas de solo (C) e as áreas (A). Pelo modelo adotado, a interação C x A não foi testada (BANZATTO; KRONA, 2006). Para a comparação de médias, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória dos dados relativos aos atributos areia, silte, argila, densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração, permeabilidade intrínseca ao ar e matéria orgânica para os solos estudados está apresentada nas Tabelas 1 e 2. Com base no critério de Warrick e Nielsen (1980) para classificar a dispersão dos dados pelo coeficiente de variação (baixo - $\text{CV} < 12\%$, médio - $12\% < \text{CV} < 60\%$, alto - $\text{CV} \geq 60\%$), constatou-se que, em geral, a variabilidade foi baixa para densidade do solo e porosidade total e média para os demais atributos.

De acordo com Amaro Filho *et al.* (2007), mesmo em áreas consideradas homogêneas em que os solos pertencem a uma mesma unidade taxonômica, como é o caso dos Cambissolos estudados nesse trabalho, existe variação espacial de determinados atributos físicos, seja decorrente de fatores e processos pedogenéticos ou de práticas de manejo. Para Warrick e Nielsen (1980), mesmo em áreas homogêneas, os coeficientes de variação para atributos do solo podem atingir valores superiores a 1000%.

Aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância, verificou-se que nem todos os dados seguiram distribuição normal e, portanto, considera-se que os desvios não são aleatórios e que a média aritmética não pode ser adotada como representante da tendência central dos valores da população. Com relação aos solos sob mata nativa, o valor médio pode ser utilizado para representar areia, silte, argila, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, resistência à penetração e permeabilidade intrínseca ao ar em todas as camadas avaliadas, microporosidade na camada de 0,1-0,2 m, e matéria orgânica nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, o que evidencia o mesmo estado de equilíbrio dinâmico para os atributos citados.

No caso dos solos sob cultivo, o fato de não haver normalidade na distribuição dos dados para as variáveis areia e silte em todas as camadas, argila nas camadas de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m, microporosidade e matéria orgânica na camada de 0-0,1 m, resistência à penetração em 0,1-0,2 m e permeabilidade intrínseca ao ar em 0-0,1 m e 0,1-0,2 m, significa que os manejos aplicados, considerando o momento da amostragem do solo, não levaram os solos ao mesmo estado de equilíbrio dinâmico, ou seja, há efeitos diferenciados dos manejos dos solos no comportamento dos atributos considerados, corroborando outras informações da literatura (BERNER *et al.*, 2007).

A interpretação dos dados com o objetivo de inferir sobre a qualidade física deve estar associada à textura apresentada pelos solos (USDA, 1988). Pelos quantitativos das frações areia, silte e argila, os solos sob mata nativa apresentaram textura franco argiloarenosa para a camada de 0-0,1 m e franco argilosa para as camadas de 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. Com relação aos solos cultivados, pelo fato

Tabela 1 - Análise exploratória dos dados de areia, silte, argila, densidade e matéria orgânica
Table 1 - Exploratory analysis of sand, silt, clay, density and organic matter data

Uso e Manejo	Prof. (m)	N ¹	Mín.	Máx.	Média	DP ²	CV (%) ³	Teste K-S ⁴
Areia (g kg⁻¹)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	269	779	557	169	30	Sim
	0,1-0,2	19	221	682	436	138	32	Sim
	0,2-0,3	19	203	580	372	105	28	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	199	599	491	92	19	Não
	0,1-0,2	36	146	589	460	98	21	Não
	0,2-0,3	36	139	525	418	90	21	Não
Silte (g kg⁻¹)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	145	406	233	76	33	Sim
	0,1-0,2	19	141	406	242	67	28	Sim
	0,2-0,3	19	96	442	265	77	29	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	230	504	284	61	21	Não
	0,1-0,2	36	191	454	274	50	18	Não
	0,2-0,3	36	194	479	282	52	19	Não
Argila (g kg⁻¹)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	72	476	210	115	55	Sim
	0,1-0,2	19	160	536	322	106	33	Sim
	0,2-0,3	19	222	543	363	98	27	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	151	358	224	53	24	Não
	0,1-0,2	36	175	448	266	62	23	Não
	0,2-0,3	36	200	450	300	53	18	Sim
Densidade do solo (g cm⁻³)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	1,19	1,70	1,48	0,16	11	Sim
	0,1-0,2	19	1,32	1,62	1,47	0,09	6	Sim
	0,2-0,3	19	1,14	1,67	1,48	0,12	8	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	1,23	1,61	1,47	0,11	8	Sim
	0,1-0,2	36	1,24	1,68	1,46	0,11	7	Sim
	0,2-0,3	36	1,24	1,67	1,43	0,10	7	Sim
Matéria orgânica (g kg⁻¹)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	18	77	39	18	45	Sim
	0,1-0,2	19	8	52	21	9	44	Sim
	0,2-0,3	19	8	31	18	7	36	Não
Solos cultivados	0-0,1	36	12	52	24	7	28	Não
	0,1-0,2	36	7	45	20	7	35	Sim
	0,2-0,3	36	7	49	18	7	41	Sim

¹Número de dados; ²Desvio-Padrão da amostra; ³Coefficiente de variação; ⁴Normalidade, teste de Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0,05$).

¹Number of data; ²Standard deviation of the sample; ³Coefficient of variation; ⁴Normality, Kolmogorov-Smirnov test ($p \leq 0.05$).

de a média para os dados de areia, silte e argila não ser representativa para todas as áreas cultivadas, as texturas verificadas para a camada de 0-0,1 m foram franca, franco arenosa, franco argiloarenosa e franco argilosa. Para a

camada de 0,1-0,2 m, foram encontradas as texturas franca, franco argiloarenosa e franco argilosa. Já para a camada mais profunda, 0,2-0,3 m, encontraram-se as texturas franca, franco argiloarenosa e franco argilosa.

Tabela 2 - Análise exploratória dos dados de porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e permeabilidade ao ar**Table 2** - Exploratory analysis of total porosity, macroporosity, microporosity, resistance to penetration and air permeability data

Uso e Manejo	Prof. (m)	N ¹	Mín.	Máx.	Média	DP ²	CV (%) ³	Teste K-S ⁴
Porosidade total (m³ m⁻³)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	0,345	0,530	0,427	0,06	13	Sim
	0,1-0,2	19	0,367	0,500	0,442	0,04	9	Sim
	0,2-0,3	19	0,372	0,560	0,437	0,04	10	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	0,366	0,520	0,446	0,04	10	Sim
	0,1-0,2	36	0,354	0,522	0,440	0,04	10	Sim
	0,2-0,3	36	0,337	0,505	0,444	0,04	8	Sim
Macroporosidade (m³ m⁻³)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	0,032	0,187	0,088	0,04	47	Sim
	0,1-0,2	19	0,009	0,166	0,091	0,04	46	Sim
	0,2-0,3	19	0,009	0,149	0,081	0,04	46	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	0,021	0,196	0,104	0,05	44	Sim
	0,1-0,2	36	0,022	0,181	0,101	0,04	42	Sim
	0,2-0,3	36	0,015	0,230	0,095	0,05	50	Sim
Microporosidade (m³ m⁻³)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	0,232	0,476	0,339	0,08	22	Não
	0,1-0,2	19	0,259	0,452	0,351	0,06	17	Sim
	0,2-0,3	19	0,281	0,441	0,355	0,05	13	Não
Solos cultivados	0-0,1	36	0,254	0,491	0,342	0,05	16	Não
	0,1-0,2	36	0,282	0,472	0,347	0,05	14	Sim
	0,2-0,3	36	0,220	0,475	0,349	0,06	16	Sim
Resistência à penetração (MPa)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	0,543	2,384	1,322	0,42	32	Sim
	0,1-0,2	19	0,485	2,049	1,233	0,44	35	Sim
	0,2-0,3	19	0,407	1,939	1,220	0,39	32	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	0,360	1,725	0,864	0,32	37	Sim
	0,1-0,2	36	0,523	1,764	0,979	0,35	36	Não
	0,2-0,3	36	0,235	2,350	1,100	0,44	40	Sim
log da Permeabilidade intrínseca ao ar (μm²)								
Solos sob mata secundária	0-0,1	19	0,186	1,940	0,985	0,57	58	Sim
	0,1-0,2	19	0,120	1,820	0,820	0,51	62	Sim
	0,2-0,3	19	0,010	1,460	0,792	0,41	51	Sim
Solos cultivados	0-0,1	36	0,170	2,340	1,489	0,55	37	Não
	0,1-0,2	36	0,111	2,120	1,281	0,49	38	Não
	0,2-0,3	36	0,090	2,040	1,136	0,54	47	Sim

¹Número de dados; ²Desvio-Padrão da amostra; ³Coefficiente de variação; ⁴Normalidade, teste de Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0,05$).

¹Number of data; ²Standard deviation of the sample; ³Coefficient of variation; ⁴Normality, Kolmogorov-Smirnov test ($p \leq 0.05$).

Pelos resultados, os ambientes sob mata nativa são homogêneos quanto à variação textural desde a superfície até a camada de 0,2-0,3 m, refletindo predominantemente variações devidas aos processos pedogenéticos,

particularmente migração de argila. Para os solos sob cultivo, as várias classes texturais para uma mesma camada de solo são indicadoras de que as intervenções antrópicas, principalmente quando do preparo do solo por

aração e gradagem, resultam em elevada heterogeneidade das frações granulométricas, o que resulta em efeitos diferenciados sobre a dinâmica dos processos físicos no solo e, por conseguinte, no rendimento das culturas.

Com relação à densidade do solo, os valores médios de 1480 e 1440 kg m⁻³ para os solos sob mata nativa e sob cultivo, respectivamente, estão acima do valor ideal para a exploração por culturas agrícolas nas classes texturais encontradas. De acordo com USDA (1988), o valor ideal deve ser inferior a 1400 kg m⁻³ e, nesse caso, a densidade média encontrada para os solos os classifica apenas como não limitantes ao desenvolvimento de plantas, visto que valor médio acima de 1600 kg m⁻³ não foi atingido. Ressalte-se que densidade do solo também é dependente da classe textural do solo, e valores superiores a 1750 kg m⁻³ são restritivos ao desenvolvimento das espécies vegetais comumente exploradas.

No que se refere aos teores de matéria orgânica, os valores observados são baixos, inclusive na camada superficial que recebe o maior aporte. De fato, as condições de semiaridez não favorecem o acúmulo de materiais orgânicos no solo, parte disso decorre do fato de a vegetação típica nesse ambiente ser formada predominantemente por espécies de pequeno porte, com pouca massa foliar, que não oferecem material suficiente para incrementar matéria orgânica no solo. Alia-se também a elevada taxa de decomposição desse material nas condições semiáridas (CAS, 2009; NOGUEIRA, 2009).

A porosidade total observada para os solos cultivados e não cultivados, média de 0,44 m³ m⁻³, não está tão distante do que se estabeleceu para um solo ideal, considerando-o como um sistema trifásico constituído por sólidos, água e ar, com cerca de 0,5 m³ m⁻³ de sólidos minerais e orgânicos e cerca de 0,5 m³ m⁻³ de poros para serem ocupados por água e/ou ar (KIEHL, 1979). Quanto à macroporosidade, responsável pela aeração do solo, cujos valores médios foram 0,09 e 0,1 m³ m⁻³, respectivamente, para os solos sob mata nativa e cultivados, os dados observados estão aquém ou no limiar dos valores estabelecidos como críticos ao desenvolvimento de plantas. Em geral, as condições físicas favoráveis do solo ao crescimento de plantas têm sido relacionadas com uma porosidade de aeração de pelo menos 10% (NEVES *et al.*,

2007), uma vez que valores inferiores tornam a difusão de O₂ no solo limitante à respiração das raízes das plantas. Entretanto, apesar da aeração apresentar-se no limiar crítico ao crescimento das plantas, para o fluxo de fluidos a continuidade dos macroporos importa mais que o seu volume ou número.

Quanto à resistência à penetração de raízes em potencial mátrico da água no solo correspondente a -10 kPa, os valores médios (saliente-se que a média para a camada de 0,1-0,2 m em solo cultivado não é representativa, visto que os dados não se ajustaram a uma distribuição normal) estão muito abaixo de 2 MPa, valor definido como crítico para o desenvolvimento de raízes (NEVES *et al.*, 2007). No tocante à permeabilidade intrínseca ao ar no potencial mátrico de -10 kPa, os valores observados indicam porosidade funcional, pois a área disponível ao fluxo é maior que 1 μm², valor que define o limite entre porosidade bloqueada e funcional (MCQUEEN; SHEPHERD, 2002).

Verificou-se pela análise de variância que, mesmo com a divisão dos solos em dois grupos – solos não cultivados (Tabela 3) e solos cultivados (Tabela 4) –, há diferenças significativas para os atributos considerados no mesmo grupo, seja entre as camadas ou entre as áreas, exceção para densidade do solo, macroporosidade, resistência à penetração, solos não cultivados, e resistência à penetração, solos sob cultivo. Com relação à comparação de médias pelo teste de Tukey (Tabelas 5 e 6), a abordagem é direcionada para a comparação dos atributos do solo entre as áreas estudadas, visto que a análise detalhada por camada em cada situação particular de cultivo e sua mata nativa contígua já foi publicada em literatura relatada no item material e métodos.

Com relação às áreas cujos solos foram mantidos com mata nativa secundária (Tabela 5), verificou-se diferenças significativas para os conteúdos das frações granulométricas. Ressalte-se que, embora todos os solos sejam Cambissolos, os processos pedogenéticos atuam com diferentes intensidades nos ambientes. No caso em análise, o processo específico de translocação de argila no perfil deve ter sido preponderante para que o solo sob mata nativa contígua à área cultivada com bananeira seja o mais argiloso. Registre-se também o fato de ter havido

Tabela 3 - Análise de variância para os atributos dos solos sob mata nativa secundária

Table 3 - Analysis of variance for soil attributes under native secondary forest

Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F
Areia				
Camadas (C)	2	72132,33	36066,17	18,80**
Áreas (A)	3	199053,44	66351,15	34,58**
Interação C x A	6	11511,05	1918,51	
Total	11	282696,82		

Continua...

Silte				
Camadas (C)	2	1971,37	985,69	1,57 ^{ns}
Áreas (A)	3	36167,00	12055,67	19,20 ^{**}
Interação C x A	6	3768,21	628,04	
Total	11	41906,59		
Argila				
Camadas (C)	2	52550,24	26275,12	27,26 ^{**}
Áreas (A)	3	74706,62	24902,21	25,83 ^{**}
Interação C x A	6	5783,76	963,96	
Total	11	133040,62		
Densidade do solo				
Camadas (C)	2	0,003	0,002	0,241 ^{ns}
Áreas (A)	3	0,075	0,025	3,800 ^{ns}
Interação C x A	6	0,040	0,007	
Total	11	0,118		
Matéria orgânica				
Camadas (C)	2	728,97	364,49	6,86 [*]
Áreas (A)	3	1035,12	345,04	6,49 [*]
Interação C x A	6	318,97	53,16	
Total	11	2083,07		
Porosidade total				
Camadas (C)	2	0,0009	0,0004	0,6483 ^{ns}
Áreas (A)	3	0,0118	0,0039	5,9024 [*]
Interação C x A	6	0,0040	0,0007	
Total	11	0,0166		
Macroporosidade				
Camadas (C)	2	0,0002	0,0001	0,1664 ^{ns}
Áreas (A)	3	0,0071	0,0024	3,7372 ^{ns}
Interação C x A	6	0,0038	0,0006	
Total	11	0,0112		
Microporosidade				
Camadas (C)	2	0,0015	0,0008	1,6426 ^{ns}
Áreas (A)	3	0,0372	0,0124	26,9187 ^{**}
Interação C x A	6	0,0028	0,0005	
Total	11	0,0414		
Resistência à penetração				
Camadas (C)	2	0,020	0,010	0,222 ^{ns}
Áreas (A)	3	0,432	0,144	3,190 ^{ns}
Interação C x A	6	0,271	0,045	
Total	11	0,722		
Permeabilidade intrínseca ao ar				
Camadas (C)	2	0,095	0,048	3,707 ^{ns}
Áreas (A)	3	1,240	0,413	32,252 ^{**}
Interação C x A	6	0,077	0,013	
Total	11	1,412		

^{ns} = não significativo a 5 % de probabilidade; *, ** = significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

^{ns} = not significant at 5% probability; *, ** = significant at 5% and at 1% probability, respectively.

Tabela 4 - Análise de variância para os atributos dos solos cultivados**Table 4** - Analysis of variance for the attributes of cultivated soils

Varição	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F
Areia				
Camadas (C)	2	20019,99	10009,99	46,43**
Áreas (A)	7	141108,35	20158,34	93,50**
Interação C × A	14	3018,40	215,60	
Total	23	164146,74		
Silte				
Camadas (C)	2	547,78	273,89	1,30 ^{ns}
Áreas (A)	7	42610,74	6087,25	28,98**
Interação C × A	14	2940,63	210,04	
Total	23	46099,15		
Argila				
Camadas (C)	2	22879,49	11439,74	61,32**
Áreas (A)	7	40091,69	5727,38	30,70**
Interação C × A	14	2611,76	186,55	
Total	23	65582,94		
Densidade do solo				
Camadas (C)	2	0,001	0,001	0,782 ^{ns}
Áreas (A)	7	0,139	0,020	25,769**
Interação C × A	14	0,011	0,001	
Total	23	0,151		
Matéria orgânica				
Camadas (C)	2	159,44	79,72	24,92**
Áreas (A)	7	270,84	38,69	12,10**
Interação C × A	14	44,78	3,20	
Total	23	475,05		
Porosidade total				
Camadas (C)	2	0,0001	0,0000	0,2219 ^{ns}
Áreas (A)	7	0,0236	0,0034	29,9155**
Interação C × A	14	0,0016	0,0001	
Total	23	0,0252		
Macroporosidade				
Camadas (C)	2	0,0004	0,0002	1,1247 ^{ns}
Áreas (A)	7	0,0169	0,0024	12,8277**
Interação C × A	14	0,0026	0,0002	
Total	23	0,0199		
Microporosidade				
Camadas (C)	2	0,0003	0,0002	2,1399 ^{ns}
Áreas (A)	7	0,0428	0,0061	84,6806**
Interação C × A	14	0,0010	0,0001	
Total	23	0,0441		

Continua...

Resistência à penetração				
Camadas (C)	2	0,217	0,108	1,655 ^{ns}
Áreas (A)	7	0,555	0,079	1,211 ^{ns}
Interação C × A	14	0,917	0,065	
Total	23	1,689		
Permeabilidade intrínseca ao ar				
Camadas (C)	2	0,679	0,340	7,714 ^{**}
Áreas (A)	7	3,037	0,434	9,855 ^{**}
Interação C × A	14	0,616	0,044	
Total	23	4,333		

^{ns} = não significativo a 5 % de probabilidade; *, ** = significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

^{ns} = not significant at 5% probability; *, ** = significant at 5% and at 1% probability, respectively.

Tabela 5 - Médias para os atributos dos solos sob mata nativa adjacente às áreas cultivadas na Chapada do Apodi, Ceará
Table 5 - Averages for the attributes of soils under native forest adjacent to cultivated areas in the Apodi Plateau, Ceará

Camadas (m)	Bananeira	Mamoeiro	Abacaxizeiro	Figueira	Média
Areia (g kg ⁻¹)					
0-0,1	313 Ac	654 Aab	551 Ab	748 Aa	566 A
0,1-0,2	262 Ac	482 Bb	411 Bb	625 Ba	445 B
0,2-0,3	250 Abc	425 Bab	335 Bb	507 Ca	379 B
Média	275 c	520 ab	432 b	627 a	
Silte (g kg ⁻¹)					
0-0,1	334 Aa	221 Cb	208 Cc	156 Bd	230 B
0,1-0,2	302 Ba	250 Bb	246 Bb	154 Bc	238 B
0,2-0,3	305 Ba	276 Ac	291 Ab	168 Ad	260 A
Média	314 a	249 b	248 b	159 c	
Argila (g kg ⁻¹)					
0-0,1	353 Ba	125 Cc	241 Cb	96 Cd	204 C
0,1-0,2	436 Aa	268 Bc	343 Bb	221 Bd	317 B
0,2-0,3	446 Aa	299 Ad	374 Ab	325 Ac	361 A
Média	412 a	231 c	319 b	214 c	
Densidade do solo (kg m ⁻³)					
0-0,1	1250 Ab	1570 Aa	1600 Aa	1560 Aa	1496 A
0,1-0,2	1400 Ab	1470 Aa	1470 Aa	1550 Aa	1472 A
0,2-0,3	1390 Aa	1450 Aa	1410 Aa	1580 Aa	1457 A
Média	1347 b	1497 ab	1493 ab	1563 a	
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)					
0-0,1	62 Aa	34 Ab	25 Ab	21 Ab	36 A
0,1-0,2	32 Ba	20 Bab	19 Aab	12 Ab	21 AB
0,2-0,3	25 Ba	16 Ba	20 Aa	10 Aa	18 B
Média	40 a	23 ab	21 ab	14 b	
Porosidade total (m ³ m ⁻³)					
0-0,1	0,504 Aa	0,395 Ab	0,390 Bb	0,394 Ab	0,421 A
0,1-0,2	0,472 Aa	0,435 Aab	0,440 ABab	0,404 Ab	0,438 A
0,2-0,3	0,469 Aa	0,443 Aab	0,460 Aab	0,386 Ab	0,440 A
Média	0,482 a	0,424ab	0,430ab	0,395b	

Continua...

Macroporosidade (m ³ m ⁻³)						
0-0,1	0,056 Ab	0,073 Ab	0,080 Ab	0,149 Aa	0,090 A	
0,1-0,2	0,038 Ab	0,098 Aab	0,100 Aab	0,125 ABa	0,090 A	
0,2-0,3	0,050 Aa	0,102 Aa	0,100 Aa	0,072 Ba	0,081 A	
Média	0,048 b	0,091 ab	0,093 ab	0,115 a		
Microporosidade (m ³ m ⁻³)						
0-0,1	0,448 Aa	0,322 Ab	0,310 Ab	0,245 Bc	0,331 A	
0,1-0,2	0,434 Aa	0,336 Ab	0,340 Ab	0,279 ABc	0,347 A	
0,2-0,3	0,419 Aa	0,341 Ab	0,360 Ab	0,314 Ab	0,359 A	
Média	0,434 a	0,333 b	0,337 b	0,279 c		
Resistência à penetração (MPa)						
0-0,1	1,087 Abc	1,539 Aab	1,700 Aa	0,875 Ac	1,300 A	
0,1-0,2	1,321 Aa	1,335 Aa	1,350 Aba	0,848 Aa	1,214 A	
0,2-0,3	1,236 Aa	1,435 Aa	1,070 Ba	1,113 Aa	1,214 A	
Média	1,215 a	1,437 a	1,373 a	0,945 a		
Log Permeabilidade intrínseca ao ar (μm ²)						
0-0,1	0,405 Ad	0,890 Ac	1,200 Ab	1,580 Aa	1,019 A	
0,1-0,2	0,403 Ac	0,770 Ab	0,980 ABab	1,170 Ba	0,831 A	
0,2-0,3	0,477 Ac	0,760 Ab	0,910 Bab	1,170 Ba	0,829 A	
Média	0,428 c	0,807 b	1,030 ab	1,307 a		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e mesma letra maiúscula na coluna, não diferem por Tukey ($p \leq 0,05$).

Averages followed by the same lowercase letter in the line, and the same capital letter in the column, do not differ by Tukey ($p \leq 0.05$).

interferência antrópica nesses solos, o que, certamente, contribuiu para a distinção granulométrica entre os ambientes em decorrência das arações e gradagens às quais foram submetidos.

Com base nos atributos físicos avaliados constatou-se que, apesar de o teor de matéria orgânica ter sido significativamente superior no solo sob mata nativa contígua à área cultivada com bananeira, cujos efeitos benéficos se refletiram na menor densidade do solo, maior porosidade total e microporosidade, os indicadores macroporosidade e permeabilidade intrínseca ao ar evidenciam que a qualidade da rede porosa está aquém das condições desejadas para o pleno fluxo de gases no solo. Ficou evidente que a matéria orgânica ainda não foi o bastante para mitigar os efeitos danosos de atividades antrópicas pretéritas, ou seja, o efeito antrópico se sobrepôs ao efeito do carbono na resiliência do solo (GREGORY *et al.*, 2009; MOTA *et al.*, 2014).

Para as áreas cujos solos foram cultivados (Tabela 6), também foram verificadas diferenças estatísticas significativas para os teores de areia, silte e argila, sendo a área sob cultivo com bananeira a que apresentou maior teor de argila no conjunto das três camadas avaliadas. Como dito anteriormente, a prática da aração no preparo do solo resulta na mistura das frações granulométricas até

determinada profundidade e, dependendo da situação, na alteração da classe textural comparativamente ao mesmo solo sob mata nativa.

O maior teor de matéria orgânica foi verificado no solo cultivado com bananeira, em decorrência da maior quantidade de massa vegetal (folhas e pseudocaules) depositada sobre o solo após a colheita dos frutos, com resultados benéficos sobre os atributos do solo, embora se ressalte a qualidade inferior da rede de poros, particularmente aos poros de aeração, em relação aos demais solos cultivados. É importante destacar que os valores de macroporosidade no solo sob cultivo de bananeira estão abaixo da metade do limite considerado como crítico ao fornecimento de oxigênio às raízes das plantas. Uma explicação a esse fato é a de que o manejo dessa área, por ser mais tecnificado, utiliza-se de máquinas para realizar tratamentos fitossanitários e transporte dos frutos colhidos que transitam entre as linhas das plantas. Esse fator contribui para uma redução no volume de macroporos e, conseqüentemente, aumento de microporos e porosidade total. Apesar dessa mudança na fração porosa do solo, a resistência à penetração não se apresentou como limitante, diferentemente da permeabilidade ao ar que teve valores bem abaixo do limite estabelecido (MCQUEEN; SHEPHERD, 2002).

Tabela 6 - Médias para os atributos físicos dos solos cultivados na Chapada do Apodi, Ceará*Table 6* - Averages for the physics attributes of cultivated in the Apodi Plateau, Ceará

Camada (m)	Banana	Mamão (Sulco)	Mamão (Camalhão)	Abacaxi	Figo (0%)	Figo (20%)	Figo (40%)	Figo (60%)
Areia (g kg⁻¹)								
0-0,1	290 Ad	471 Ac	548 Aa	515 Ab	539 Aab	517 Ab	525 A	542 Aab
0,1-0,2	267 Be	422 Bd	529 Aa	491 Bb	518 Bab	508 ABab	495 Bb	488 Bc
0,2-0,3	241 Cd	409 Bc	438 Bb	436 Cb	465 Ca	460 Bab	475 Ca	460 Cab
Média	266 c	434 b	505 a	481 a	507 a	495 a	498 a	497 a
Silte (g kg⁻¹)								
0-0,1	415 Aa	232 Bd	270 Bc	262 Bc	269 Ac	288 Ab	281 Ab	261 Ac
0,1-0,2	378 Ba	266 Ab	258 Cbc	257 Bbc	252 Bc	265 Bb	264 Bb	244 Bc
0,2-0,3	374 Ba	269 Ac	286 Ab	273 Ac	254 Bd	271 Bc	250 d	257 Ad
Média	389 a	256 de	271 bc	264 cd	258 de	275 b	265 cd	254 e
Argila (g kg⁻¹)								
0-0,1	296 Ca	297 Ba	182 Cc	224 Cb	192 Cc	195 Cc	194 Cc	197 Bc
0,1-0,2	355 Ba	312 ABb	213 Bf	252 Bcd	230 Bdef	227 Bef	241 Bde	268 Ac
0,2-0,3	385 Aa	322 Aa	276 Ac	291 Ac	280 Ac	269 Ac	275 Ac	283 Ac
Média	345 a	310 b	224 e	256 c	234 cd	230 de	237 cd	249 cd
Densidade do solo (kg m⁻³)								
0-0,1	1340 Ab	1311 Ab	1431 Aab	1460 Aab	1450 Aab	1580 Aa	1500 Aab	1470 Aab
0,1-0,2	1350 Aab	1312 Ab	1488 Aab	1450 Aab	1510 Aab	1520 Aa	1520 Aa	1530 Aa
0,2-0,3	1360 Aab	1304 Ab	1463 Aab	1480 Aab	1490 Aab	1540 Aa	1540 Aa	1430 Aab
Média	1350 ab	1309 b	1461 ab	1463 ab	1483 ab	1547 a	1520 a	1477 ab
Matéria orgânica (g kg⁻¹)								
0-0,1	30 Aa	16 Ad	23 Ac	22 Ac	27 Ab	23 Ac	26 Ab	26 Ab
0,1-0,2	27 Ba	13 Bd	20 Bbc	22 Ab	20 Bbc	20 Bbc	21 Bbc	18 Bc
0,2-0,3	24 Ca	13 Bd	15 Ccd	20 Ab	18 Bbc	18 Bbc	17 Cbc	17 Bbc
Média	27 a	14 c	19 b	21 b	22 b	20 b	21 b	20 b
Porosidade total (m³ m⁻³)								
0-0,1	0,485 Aa	0,488 Aa	0,457 Ab	0,440 Abc	0,439 Abc	0,385 Bd	0,412 Ac	0,428 Bc
0,1-0,2	0,488 Aa	0,491 Aa	0,442 Bb	0,440 Abc	0,422 Bcd	0,410 Ad	0,409 Ad	0,403 Cd
0,2-0,3	0,484 Aa	0,492 Aa	0,442 Bb	0,430 Ab	0,429 ABb	0,397 ABc	0,402 Ac	0,445 Ab
Média	0,486 a	0,490 a	0,447 b	0,437 bc	0,430 bc	0,397 d	0,408 cd	0,425 c
Macroporosidade (m³ m⁻³)								
0-0,1	0,035 Ad	0,126 Aab	0,116 Aab	0,120 Aab	0,135 Aa	0,076 Ac	0,108 Abc	0,099 Ac
0,1-0,2	0,046 Ad	0,128 Aa	0,089 Abc	0,120 Aa	0,124 Aa	0,107 Aab	0,088 Abc	0,065 Acd
0,2-0,3	0,036 Ad	0,132 Aa	0,104 Ab	0,110 Aab	0,103 Ab	0,072 Ac	0,077 Ac	0,099 Abc
Média	0,039 d	0,129 a	0,103 bc	0,117 ab	0,121 ab	0,085 c	0,091 c	0,088 c
Microporosidade (m³ m⁻³)								
0-0,1	0,450 Aa	0,362 Ab	0,340 Bc	0,320 Ade	0,304 Bf	0,309 Bef	0,304 Bf	0,329 Bcd
0,1-0,2	0,442 Aa	0,363 Ab	0,353 Abc	0,330 Ade	0,298 Bf	0,303 Bf	0,321 Ae	0,338 ABcd
0,2-0,3	0,448 Aa	0,361 Ab	0,338 Bcd	0,320 Ae	0,326 Ade	0,325 Ade	0,325 Ade	0,346 Abc
Média	0,447 a	0,362 b	0,344 c	0,323 de	0,309 e	0,312 e	0,317 e	0,338 cd

Continua...

Resistência à penetração (MPa)								
0-0,1	0,85 Aab	0,715 Bab	0,466 Bb	1,020 Aa	0,768 Aab	1,138 Ba	1,100 Aa	0,953 Aa
0,1-0,2	0,787 Ab	0,979 Bb	1,178 Aab	0,820 ABb	0,898 Ab	1,523 Aa	1,060 Ab	0,820 Ab
0,2-0,3	1,024 Abc	1,730 Aa	1,217 Ab	0,630 Bc	0,978 Abc	1,250 ABb	1,065 Abc	0,973 Abc
Média	0,887 ab	1,141 ab	0,954 ab	0,823 b	0,881 ab	1,304 a	1,075 ab	0,915 ab
Log Permeabilidade intrínseca ao ar (μm^2)								
0-0,1	0,50 Ac	1,45 Ab	1,93 Aa	1,66 ABab	1,90 Aa	1,57 Aab	1,73 Aab	1,51 Ab
0,1-0,2	0,58 Ad	0,95 Bc	1,12 Bbc	1,77 Aab	1,90 Aa	1,66 Aab	1,63 ABab	1,47 Ab
0,2-0,3	0,45 Ac	0,93 Bb	1,32 Bab	1,46 Ba	1,19 Bab	0,97 Bb	1,38 Ba	1,30 Aab
Média	0,51 c	1,11 b	1,46 ab	1,63 a	1,66 a	1,40 ab	1,58 a	1,43 ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, e mesma letra maiúscula na coluna, não diferem por Tukey ($p \leq 0,05$).

Averages followed by the same lowercase letter in the line, and the same capital letter in the column, do not differ by Tukey ($p \leq 0,05$).

CONCLUSÕES

As intervenções nos solos quando do uso e manejo para exploração com fruticultura levaram a que esses apresentem maior variabilidade espacial de seus atributos físicos em comparação aos solos não cultivados;

Em todos os sistemas de uso e manejo a que os solos foram submetidos, a qualidade física está mantida em condições satisfatórias para o pleno desenvolvimento de plantas, embora se deva priorizar a melhora da rede porosa, particularmente a conexão e continuidade de macroporos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro à realização deste trabalho.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ALENCAR, T. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Alterações físicas de um Cambissolo cultivado com bananeira irrigada na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 737-749, 2015a.

ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Atributos físicos de um Cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 737-749, 2015b.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.

BANZATTO, D. A.; KRONA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 837-844, 2007.

CAS, V.L.S. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo com o uso do lodo de esgoto e palha de aveia. 2009. 69 f. (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DESSOTTI, C.; PIEDADE, S. M. S.; BARBIN, D.; SANCHES, P. F.; BAUTISTA, E. A. L. Comparação de médias de tratamentos em grupos de experimentos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 3, p. 327-336, 2013.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society American**, 1994. n. 35, Cap 1, p.3-22.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 353 p.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 9-19, 2007.
- GARRIGUES, E.; CORSON, M. S.; ANGERS, D. A.; VAN DER WERF, H. M. G.; WALTER, C. Soil quality in life cycle assessment: Towards development of an indicator. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 434-442, 2012.
- GREGORY, A. S.; WATTS, C. W.; GRIFFITHS, B. S.; HALLETT, P. D.; KUAN, H. L.; WHITMORE, A. P. The effect of long-term soil management on the physical and biological resilience of a range of arable and grassland soils in England. **Geoderma**, v. 153, n. 1-2, p. 172-185, 2009.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. Piracicaba: Ceres, 1979. 264 p.
- KIRKHAM, D. Field method for determination of air permeability of soil in its undisturbed state. **Proceedings - Soil Science Society of America**, v. 11, p. 93-99, 1946.
- MCQUEEN, D. J.; SHERPHERD, T. G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Thiptyc Endoaquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. **Soil Tillage & Research**, v. 63, n. 3-4, p. 93-107, 2002.
- MELLONI, R.; MELLONI E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.
- MOTA, J. C. A.; ALVES, C. V. O.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Uni and multivariate analyses of soil physical quality indicators of a Cambisol from Apodi Plateau - CE, Brazil. **Soil Tillage & Research**, v. 140, p. 66-73, 2014.
- MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1196-1206, 2013.
- MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 45-53, 2007.
- NOGUEIRA, F.A. **Influência da aplicação de um biofertilizante e matéria orgânica em algumas propriedades físicas de um Cambissolo da Chapada do Apodi-CE**. 2009. 68 f. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 12, p. 1301-1309, 2013.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Soil quality test kit guide. Washington: Soil Quality Institute, 1998. 88 p.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL D. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. Cap. 13, p. 319-344.