

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NO SEMIÁRIDO BAIANO

S. N. S. ARCOVERDE^{1,2*}, J. W. CORTEZ², J. S. PEREIRA³

¹PNPD/PGEA/Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), ²FCA/Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), ³PGEA - Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)
salvionapoleao@gmail.com*

Submetido 14/08/2017 - Aceito 18/10/2018

DOI: 10.15628/holos.2018.6418

RESUMO

O uso agrícola e a retirada da caatinga podem alterar a qualidade dos atributos físicos do solo do semiárido nordestino. Assim, objetivou-se avaliar as alterações de atributos físicos do solo sob diferentes usos na região do semiárido baiano. Foram selecionadas vinte e quatro propriedades rurais localizadas nos municípios de Sobradinho, Casa Nova, Sento Sé e Remanso. Em cada propriedade foram coletadas três amostras de solo, compostas a partir de dez amostras simples, nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, tanto na área agrícola como na área de caatinga, perfazendo 18 amostras, a fim de avaliar os atributos físicos: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), densidade do solo (Ds), porosidade total do solo

(Pt), argila (ARG), silte (SIL), areia (ARE), grau de floculação (GF) e argila dispersa em água (ADA). Os dados foram submetidos ao teste t de Student para comparação das médias de cada atributo entre as áreas e, em seguida à análise multivariada pela técnica de análise de componentes principais (ACP). A conversão da caatinga em sistemas agrícolas promove mudanças nos atributos físicos do solo, sugerindo efeito do manejo agrícola. A partir do uso da ACP, os atributos relacionados à estruturação (DMG, DMP, Ds, Pt) mostraram-se sensíveis às alterações nas áreas com uso agrícola dos municípios. A variabilidade de classes de solos estudados influencia as alterações na camada de 0,20-0,40 m, onde a textura condiciona à estruturação.

PALAVRAS-CHAVE: Componente principal, Qualidade do solo, Solos arenosos, Vegetação nativa.

PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL UNDER DIFFERENT USE IN SEMIARID BAIANO

ABSTRACT

The agricultural use and the removal of the caatinga can alter the quality of the physical attributes of the soil of the northeastern semi-arid region. The objective of this study was to evaluate the changes in soil physical attributes under different uses in the Bahian semi-arid region. Twenty four rural properties were selected in the municipalities of Sobradinho, Casa Nova, Sento Sé and Remanso. In each property three soil samples were collected, composed of ten simple samples, in the layers of 0.00-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m, in the agricultural area as well as in the caatinga area, with 18 samples, in order to evaluate the physical attributes: weighted mean diameter (WMD), geometric mean diameter (DMG), soil density (Ds), total soil porosity (Pt),

clay (ARG), silt (SIL), sand (ARE), flocculation degree (GF) and water dispersed clay (ADA). The data were submitted to Student's t-test for comparison of the means of each attribute between the areas and, after the multivariate analysis using the main component analysis (PCA) technique. The conversion of caatinga into agricultural systems promotes changes in soil physical attributes, suggesting the effect of agricultural management. From the use of PCA, attributes related to structuring (DMG, DMP, Ds, Pt) were sensitive to changes in the areas with agricultural use and caatinga of the municipalities. The variability of studied soil classes influences the changes in the layer of 0.20-0.40 m, where the texture conditions the structuring.

KEYWORDS: component principal, soil quality, soils sandy, native vegetation.

1. INTRODUÇÃO

A implantação de sistemas de exploração agrícola pode provocar impactos negativos sobre o solo em consequência da adoção de um modelo de agricultura que não prioriza o uso racional dos recursos naturais. A ocupação de solos considerados de baixa aptidão sem a realização prévia da avaliação da capacidade de uso pode resultar na adoção de sistemas de manejo inadequados levando à sua degradação, principalmente quando estes, mesmo frágeis, como os solos arenosos, são inseridos ao processo produtivo (Sales et al., 2010; Mota & Valladares, 2011).

Mesmo existindo informações acerca dos solos na região semiárida, como os levantamentos exploratórios e outros estudos dessa temática (Santos et al., 2012) é sempre válido a realização de pesquisas sobre caracterização dos diferentes solos representativos em uma escala mais detalhada (Mota & Valladares, 2011). Estudos de caracterização de solos em regiões ainda pouco exploradas, além de disponibilizarem informações mais precisas sobre as diversas classes de solos ao longo do território nacional, permitem sistematizar informações sobre as propriedades dos solos, que poderão servir de subsídio para o desenvolvimento de práticas de manejo e uso sustentável, bem como para recuperação de áreas degradadas (Santos et al., 2012).

O detalhamento das potencialidades e fragilidades é de extrema importância ao planejamento com a finalidade de minimização de impactos constantemente observados na região (Corrêa et al., 2010). Estes são considerados resultantes da combinação entre o manejo da agricultura e as características do ambiente (Corrêa et al., 2010; Mota & Valladares, 2011; Ursulino & Moreno, 2014), que acarretam e aceleram, em conjunto, o desenvolvimento de processos de degradação física e química. Esses processos são resultantes, principalmente, do emprego de sistemas de irrigação (sulcos e inundação) de baixa eficiência; utilização demasiada de fertilizantes químicos, e, em muitos casos, condições de drenagem natural desfavorável. Esses fatores, somados à elevada demanda evapotranspirativa e o baixo índice pluviométrico (Corrêa et al., 2010), têm acelerado o processo de salinização dessas áreas, repercutindo negativamente com alterações de atributos físicos e químicos.

Assim, destaca-se a necessidade de realização de estudos para o melhor entendimento das alterações provocadas pelos usos do solo com a intenção de maximizar a produção e evitar a degradação dos solos agrícolas, visto que geram informações importantes para o manejo e conservação de solos arenosos tropicais incorporados a processos produtivos intensivos (Sales et al., 2010). Nesse sentido, após a utilização agrícola, conforme Corrêa et al. (2010) podem-se observar as modificações de atributos do solo, bem como comparar os usos agrícolas. Além disso, pode-se avaliar a sustentabilidade, a partir de avaliações de usos utilizando-se atributos do solo como indicadores, visando à avaliação de sistemas produtivos com o objetivo de adaptar sistemas ou propor usos mais sustentáveis.

Nesse contexto, a técnica da análise multivariada pode ser utilizada como ferramenta para explicar o máximo de correlação entre as características do solo e indicar as que mais contribuem para a caracterização e, ou, alteração do solo (Freitas et al., 2012; Oliveira et al., 2015; Arcoverde et al., 2015). Diversas pesquisas têm aplicado à técnica multivariada para análise de qualidade de solos (Pragana et al., 2012; Freitas et al., 2012; Oliveira et al., 2015; Arcoverde et al., 2015).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações em alguns atributos físicos do solo em áreas sob uso agrícola, em relação à mata nativa (caatinga) do Semiárido Baiano, por meio da estatística clássica e análise multivariada dos fatores em componentes principais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A qualidade do solo é um tema relativamente recente que começou a ser discutido no início dos anos 90 em função da preocupação da comunidade científica, a qual começou a abordar em suas publicações aspectos como a degradação dos recursos naturais, sustentabilidade agrícola e, sobretudo, a importância da conservação do solo nesse contexto. Nos Estados Unidos, estudos realizados motivados pelo grande número de áreas degradadas física e quimicamente, contaminadas por agroquímicos, identificaram a relação entre manejo de solo e sustentabilidade agrícola no sentido de estudar sistemas de manejo inovadores, capazes de balancear o requerimento do solo e das culturas. Desta forma, os pesquisadores definiram a importância do solo no sistema agrícola, não como um meio de maximizar a produção, mas sim de otimizar o uso deste recurso e sustentar a produtividade por um longo período (Karlen et al., 1997).

O estudo da qualidade do solo é essencial, pois reflete o uso, a produtividade e a sustentabilidade global de agrossistemas, sendo, portanto, um indicador necessário quando se deseja fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso (Sposito & Zabel, 2003).

Indicador pode ser entendido como um instrumento que permite a avaliação de um sistema e, que determina o nível que esse sistema deve ser mantido para seja sustentável. Os indicadores são utilizados comumente com o objetivo de definir ou estabelecer padrões de sustentabilidade (Nortcliff, 2002).

A qualidade física do solo está relacionada à sustentabilidade de sistemas agropecuários e a sua avaliação deve ser realizada através de indicadores que reflitam o seu comportamento. Segundo Reynolds et al. (2002) esses indicadores físicos exercem função de sustentação do solo e a sua avaliação encontra-se em processo de expansão, uma vez em que é observada relação entre a melhora da qualidade física e conseqüentemente melhoria na qualidade química e biológica do solo. Dessa forma, os principais indicadores físicos apontados por Araújo et al. (2012) são: textura; densidade do solo; porosidade total; resistência à penetração; estabilidade de agregados; capacidade de retenção de água; e condutividade hidráulica.

Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas à sua forma e ou a sua estabilidade (Albuquerque et al., 1995). De modo geral, com o aumento do cultivo tem sido observada alteração no tamanho dos agregados do solo (Carneiro et al., 2009), aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e aumento da resistência do solo à penetração (Tavares Filho & Ribon, 2008).

3. METODOLOGIA

3.1. Local

O estudo foi realizado nos municípios de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, localizados no entorno do lago de Sobradinho no estado da Bahia. Pela classificação de Köppen, o clima do tipo BSw^h (clima quente e semiárido) predomina em 75% da área, com chuvas anuais variando de 500 mm a 900 mm e, no restante da área ocorre o clima árido, com chuvas anuais inferiores a 500 mm. A vegetação predominante é a do tipo caatinga hiperxerófila. O entorno do lago de Sobradinho caracteriza-se pela intensa atividade agropecuária com destaque para a agricultura irrigada e cultivo de oleráceas, principalmente a cebola. Na pecuária destaca-se a criação de caprinos, ovinos, gados de corte e leite.

3.2. Seleção de propriedades rurais e amostragem de solos

Em cada município foram selecionadas propriedades rurais em função da localização às margens do lago de Sobradinho e da presença de área adjacente sob caatinga com a mesma classe de solo da área sob uso agrícola. Nas áreas com cultivo agrícola, o preparo do solo para o plantio foi realizado com arado de discos e grade pesada, além de receberem calagem e adubação.

Em cada propriedade, amostras de solos, com estrutura alterada e com estrutura preservada, foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m. Para coleta das amostras com estrutura alterada, dividiu-se cada área em três subáreas de amostragem, sendo coletadas 10 amostras simples para constituir uma amostra composta, perfazendo três amostras compostas por profundidade e por subárea. Para coleta das com estrutura preservada, foram abertas trincheiras no meio de cada subárea.

Na Tabela 1, são apresentadas as vinte e quatro propriedades rurais, com as respectivas classes de solo e uso agrícola para cada município.

Tabela 1: Propriedades rurais localizadas no entorno do Lago de Sobradinho-BA, selecionadas por município, com suas respectivas classe de solo e uso agrícola.

Município	Propriedades	Classe de solo	Uso agrícola
Sobradinho	Santa Luzia	Luvissole Crômico	cebola, manga e melão
	Tribo trucá	Argissolo Amarelo	banana
	Santa Rita	Cambissolo Háplico	melancia
	São Joaquim	Cambissolo Háplico	melancia
Casa Nova	Malvão	Argissolo Amarelo	cebola
	Caraíbas I	Latossolo Amarelo	cebola
	Caraíbas II	Neossolo Quartzarênico	cebola e melancia
	Santa Rita/ pau a pique	Planossolo Háplico	tomate
	Marcos Túlio/ Pau a Pue	Argissolo Amarelo	feijão, mandioca e
	Sítio Caróa/ Bem Bom	Neossolo Quartzarênico	mandioca e banana
	Alfredo Viana/ Angical	Cambissolo Háplico	cebola
	São Vitor/ Angical	Argissolo Vermelho	cebola
	Salgadinha	Neossolo Quartzarênico	ovinos e bovinos
	Canaã	Latossolo Vermelho	mandioca

Remanso	Major Vila aparecida	Neossolo Quartzarênico Latosolo Amarelo	mandioca banana e milho
	Brejo de Fora	Planossolo Háptico	cebola e capim
	Sebastião/ Brejo de Fora	Cambissolo Háptico	melancia
Sento Sé	Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo	melancia
	Riacho dos Paes II	Argissolo Amarelo	cebola
	Riacho dos Paes III	Argissolo Amarelo	cebola
	Piri	Neossolo Quartzarênico	cebola

3.3. Análise de atributos físicos do solo

Os atributos físicos analisados, conforme Donagema et al. (2011), foram análise de granulometria pelo método da pipeta, a argila dispersa em água (ADA), o grau de floculação (GF) e a densidade do solo (Ds) pelo método da proveta. A porosidade total (Pt) foi estimada pelo modelo matemático proposto por Stolf et al. (2011) que tem como base a equação: $Pt = 1,030 - 0,345 * Ds - 0,082 * \text{areia}$. A determinação da porcentagem de agregados, por classes de diâmetro médio, foi realizada submetendo-se as amostras de solo ao peneiramento a úmido, segundo metodologia descrita por Kiehl (1979), em que se determinou o diâmetro médio ponderado (DMP) (mm) e o diâmetro médio geométrico (DMG) (mm), segundo Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998).

3.4. Análises estatísticas

Para cada município, a comparação entre os atributos na área sob uso agrícola e caatinga foi feita pelo teste t de Student para amostras independentes e variâncias homogêneas. Foram consideradas diferenças significativas quando $p \leq 0,05$.

Foi utilizada técnica multivariada por meio da análise de componentes principais (ACP). A ACP foi realizada com a intenção de reduzir o grande número de variáveis para um conjunto mais significativo (representado pelos componentes), identificar quais variáveis pertencem a quais componentes e o quanto cada variável explica cada componente, a fim de evidenciar os atributos associados às alterações nas áreas sob uso agrícola (Freitas et al., 2012). Adotou-se o mínimo de componentes principais, contanto que envolvessem no mínimo 70% da variância total dos dados (Burak; Passos & Andrade, 2012). Adicionalmente, consideraram-se como componentes principais aqueles com valor do coeficiente de correlação entre o componente principal e a variável acima de 0,65 em módulo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Comparação de médias dos dados dos atributos físicos do solo

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios dos atributos físicos do solo das áreas agrícolas e com caatinga dos municípios, nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade.

Tabela 2: Valores médios dos atributos físicos do solo para os municípios do entorno do lago de Sobradinho - BA, em função da área e camada de solo.

Área	Atributos físicos								
	DMG ----- mm -----	DMP	Ds Mg m ⁻³	Pt m ³ m ⁻³	Argila	Silte	Areia	ADA	GF %
Sobradinho									
0,00-0,10 m									
Caatinga	1,33 a ¹	2,49 a	1,48 a	0,36 a	90 a	70 a	840 a	886 a	10 a
Uso agrícola	1,25 a	2,26 a	1,49 a	0,34 a	130 a	60 a	810 b	878 a	10 a
0,10-0,20 m									
Caatinga	1,29 a	2,34 a	1,49 a	0,36 a	150 a	60 a	790 a	918 a	10 a
Uso agrícola	1,23 a	2,22 a	1,48 a	0,36 a	160 a	50 a	790 a	916 a	10 a
0,20-0,40 m									
Caatinga	1,10 a	2,00 a	1,47 a	0,37 a	150 a	80 a	770 a	915 a	20 a
Uso agrícola	1,00 a	1,74 a	1,47 a	0,37 a	190 a	50 a	760 a	904 a	10 a
Remanso									
0,00-0,10 m									
Caatinga	1,04 a	1,88 a	1,47 a	0,41 a	80 b	30 a	890 a	868 a	30 a
Uso agrícola	1,10 a	2,00 a	1,46 a	0,41 a	120 a	40 a	850 b	890 a	10 a
0,10-0,20 m									
Caatinga	1,10 a	1,82 a	1,48 a	0,41 a	100 a	30 a	870 a	875 a	10 a
Uso agrícola	1,00 a	1,63 a	1,49 a	0,40 a	120 a	20 a	860 a	884 a	10 a
0,20-0,40 m									
Caatinga	0,85 a	1,25 a	1,50 a	0,40 a	120 a	30 a	840 a	816 a	10 a
Uso agrícola	0,91 a	1,63 a	1,52 a	0,40 a	140 a	20 a	840 a	888 a	10 b
Casa Nova									
0,00-0,10 m									
Caatinga	0,79 a	1,10 a	1,54 a	0,38 a	130 a	40 a	830 a	880 a	10 a
Uso agrícola	0,86 a	1,31 a	1,51 a	0,39 a	130 a	40 a	830 a	878 a	10 a
10-0,20 m									
Caatinga	0,91 a	1,49 a	1,54 a	0,43 a	140 a	40 a	820 a	880 a	10 a
Uso agrícola	0,97 a	1,35 b	1,51 b	0,38 a	130 a	40 a	830 a	880 a	10 a
0,20-0,40 m									
Caatinga	0,76 a	1,10 a	1,56 a	0,37 b	140 b	50 a	810 a	879 a	10 b
Uso agrícola	0,85 a	1,21 a	1,52 b	0,39 a	150 a	40 a	810 a	878 a	20 a
Sento Sé									
0,00-0,10 m									
Caatinga	0,95 a	1,73 a	1,60 a	0,34 b	140 a	70 a	790 a	923 a	10 a
Uso agrícola	0,71 b	1,10 b	1,55 b	0,37 a	150 a	60 a	790 a	904 a	70 a
0,10-0,20 m									
Caatinga	0,83 a	1,39 a	1,64 a	0,33 b	140 a	70 a	790 b	917 a	10 a
Uso agrícola	0,74 a	1,10 a	1,54 b	0,38 a	140 a	60 a	800 a	899 a	10 a
0,20-0,40 m									
Caatinga	0,90 a	1,54 a	1,62 a	0,33 a	140 a	80 a	780 a	912 a	10 a
Uso agrícola	0,69 b	0,85 b	1,59 b	0,35 a	160 a	80 a	760 a	920 a	10 a

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de t de Student à 5%. DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; ARG: argila; SIL: silte; ARE=areia; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação.

Pode-se observar baixa variação dos valores médios dos atributos físicos, devido à predominância de solos com classe textural variando de arenosa a franco-arenosa. Tal fato é comum na região do entorno do lago de Sobradinho, na qual os solos formados resultam do material de origem relacionados ao Pré-Cambriano com cobertura pedimentar constituída por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e material macroclástico, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo (Cunha et. al., 2008).

Para os municípios de Remanso e Casa Nova, nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m; e de 0-20-0,40 m, respectivamente, observa-se que os teores de argila foram superiores em área com uso agrícola em comparação à caatinga, provavelmente pelo maior tempo de cultivo nestas áreas com aporte de resíduos orgânicos, o que favorece a maior incorporação de matéria orgânica do solo, considerando que houve aumento do grau de floculação (Tabela 2).

Analisando os valores médios dos índices de agregação DMG e DMP em ambas as áreas, observam-se baixos valores, provavelmente em razão do manejo e da mobilização do solo, que alteram a estrutura nessa profundidade, e da alta variabilidade de classes de solos estudada na região com comportamentos diferentes quanto à distribuição de tamanho de agregados (Arcoverde et al., 2015).

Houve redução de DMG e DMP, em geral, no solo com caatinga em relação aquele com uso agrícola (Tabela 3), observando-se diferença entre estas áreas no município de Casa Nova, na camada de 0,10-0,20 m; semelhante no município de Sento Sé, porém, nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,20-0,40 m (Tabela 3). Arcoverde et al. (2015) ao avaliarem a qualidade física de solos do semiárido nordestino sob diferentes usos agrícolas, destacaram ser os índices de agregação sensíveis às intervenções mecânicas impostas pelo manejo agrícola na camada de 0,10-0,20 m de profundidade. A mobilização provoca desestruturação nas camadas de solo onde há ação da ferramenta do implemento de preparo, ao passo que há maior agregação em sistemas conservacionistas, devido à proteção da estrutura aliado ao maior aporte de material vegetal (Morais; Pissara & Reis, 2012; Sales et al., 2016).

Ao avaliar a Ds, foi observado que no solo com caatinga ocorreram maiores valores nas três camadas estudadas, em todos os municípios. Para este atributo, os usos diferiram nos municípios de Casa Nova, nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, e Sento Sé, nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m, discordando dos resultados encontrados por Carneiro et al. (2009), Portugal et al. (2010) e Pragana et al. (2012), que observaram aumento da densidade do solo com a intensificação do uso. Lopes et al. (2012), no entanto, verificaram maiores valores de densidade do solo na camada superficial da área de caatinga, atribuindo esse resultado à presença de cobertura morta nessa área.

Os maiores valores de Ds encontrados na caatinga indicam avanço de problemas de degradação, conforme Ursulino e Moreno (2014), que, avaliando a qualidade física de Neossolo no

semiárido nordestino, encontraram valores médios de Ds próximos de $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$, considerado elevado, o qual foi atribuído ao desmatamento na área que acarreta efeitos pluviosivos, ocasionando selamento superficial que aumentou a densidade, semelhante ao observado na área de caatinga deste estudo.

Houve diferença entre as áreas para Pt e Ds na camada de 0,20-0,40 m de solo de Casa Nova e nas camadas superficiais do solo de Sento Sé, em ambas com ocorrência de redução de Ds e aumento de Pt no solo com uso agrícola em relação à com caatinga, o que demonstra relação estreita e inversa entre os atributos (Cortez et al., 2011). Contudo, esses resultados aparentemente não têm relação com o manejo do solo utilizado nas áreas, visto que tais atributos em solos arenosos do semiárido parecem não ser afetados pela ação das ferramentas de preparo e tráfego de máquinas agrícola (Cortez et al., 2011; Nagahama et al., 2016), mas sim pelas características dos solos da região (Arcoverde et al., 2015).

Ressalta-se que os valores médios de Pt variaram de 0,33 a $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, portanto fora da faixa crítica encontrada por Cunha et al. (2011) como sendo de 0,44 a $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para solos de textura franco-arenosa. Apesar da diversidade de solos estudados, a predominância da fração areia condiciona os valores de Pt e Ds, independente do manejo adotado; de acordo com Cortez et al. (2011), que, avaliando um Argissolo sob diferentes preparos de solo e intensidades de tráfego no Semiárido nordestino, verificaram valores de Pt e Ds em faixa semelhante a deste estudo.

Quanto ao GF, exceto para o município de Remanso, houve redução dos valores médios da área com caatinga para a área com uso agrícola (Tabela 2), o que pode ser atribuído, em parte, à influência de fatores naturais e de manejo agrícola na redução do conteúdo de matéria orgânica na área com uso agrícola.

Provavelmente, na maioria das áreas, as calagens intensas cujas aplicações são feitas a lanço em superfície influenciaram a ADA nas camadas superficiais do solo de Remanso, uma vez que este atributo não teve relação com o maior teor de argila na mesma área. Porém, o contrário foi observado na camada mais profunda do solo com uso agrícola de Sento Sé, em que houve relação direta entre teor de argila e de ADA. Estudando as mesmas classes de solo, Arcoverde et al. (2015) encontraram efeito do manejo agrícola sobre a ADA nas camadas superficiais, com maior variação deste atributo na camada subjacente (0,20-0,40 m), provavelmente por causa da alta diversidade de classes de solos.

4.2. Análise de componentes principais (ACP)

Com a intenção de evidenciar os atributos associados às alterações nas áreas pelo manejo agrícola empregado, procedeu-se a análise de componentes principais (ACP) nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabela 3). As primeiras colunas referem-se às cargas fatoriais para cada atributo em cada fator. Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos indicam variação conjunta, porém em direção oposta.

Tabela 3: Contribuição em cada componente principal e atributos analisados, nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade

Atributos	Caatinga		Uso agrícola	
	0,00-0,10 m			
	CP 1	CP2	CP 1	CP2
DMG	-0,83	0,11	0,92	0,07
DMP	-0,80	0,10	0,92	0,02
Ds	0,01	-0,92	-0,14	-0,93
Pt	0,05	0,84	-0,03	0,77
ARG	0,58	0,43	-0,54	0,64
SIL	0,36	0,26	-0,32	0,16
ARE	-0,68	-0,50	0,63	-0,64
ADA	-0,34	0,32	-0,11	-0,15
GF	0,29	-0,49	-0,25	-0,23
Variância Total (%)	30,48	24,11	33,31	21,90
Variância Acumulada (%)	30,48	54,59	33,31	55,21
0,10-0,20 m				
DMG	0,77	-0,15	0,87	-0,11
DMP	0,69	-0,21	0,89	-0,09
Ds	-0,73	-0,28	0,02	-0,89
Pt	0,71	0,073	0,032	0,78
ARG	0,15	0,84	-0,42	0,70
SIL	-0,40	0,61	-0,53	0,09
ARE	0,11	-0,95	0,63	-0,65
ADA	0,46	0,66	-0,47	-0,19
GF	-0,50	-0,19	-0,09	0,21
Variância Total (%)	32,27	27,99	37,42	18,57
Variância Acumulada (%)	32,27	60,27	37,42	55,99
0,20-0,40 m				
DMG	0,05	0,91	0,74	-0,30
DMP	0,01	0,89	0,78	-0,30
Ds	-0,89	-0,20	0,10	0,94
Pt	0,77	0,30	0,08	-0,85
ARG	0,78	-0,29	-0,65	-0,47
SIL	0,14	-0,47	-0,72	-0,08
ARE	-0,74	0,50	0,84	0,40
ADA	0,20	-0,11	-0,17	0,08
GF	-0,08	0,06	-0,29	0,14
Variância Total (%)	30,73	24,56	33,11	23,65
Variância Acumulada (%)	30,73	55,28	33,11	56,76

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; ARG: argila; SIL: silte; ARE=areia; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocculação.

Na área sob caatinga, quanto ao percentual de variância explicado pelos fatores, verifica-se que o fator 1, o qual explica a maior parcela de variância total dos dados, foi composto de maneira diferenciada entre as camadas. Na camada de 0,00-0,10 m, DMG, DMP e ARE variam juntas, com

30,48% da variância total dos dados (Tabela 3). Na camada 0,10-0,20 m, DMP e DMG variam juntas e em direção oposta à Ds e Pt, com 32,27%. Já na profundidade de 0,20-0,40 m, Pt e ARG variam juntas em direção oposta à Ds, com 30,73% da variância total dos dados. Da mesma forma que o fator 1, o fator 2 foi composto de maneira diferenciada entre as profundidades. Na profundidade de 0,00-0,10 m, Ds e Pt variam em direção oposta, com 24,11% da variação total dos dados; e de 0,10-0,20 m ARG e ADA variam juntas em direção oposta à ARE, com 27,99% da variação total dos dados; e de 0,20-0,40 m, DMG e DMP variam juntas, com 24,56% da variação total dos dados (Tabela 3).

Quanto ao percentual de variância explicado pelos fatores, na área sob uso agrícola, verifica-se que o fator 1, o qual explica a maior parcela de variância total dos dados, foi composto pelos atributos DMP e DMG para as profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, com 33,31% e 37,42%, respectivamente, da variância total dos dados (Tabela 3). Já, na camada 0,20-0,40 m, DMP, DMG e ARE variam juntas e em direção oposta à SIL e ARG, com 33,11%. O fator 2 (Porosidade total), foi composto de maneira diferenciada entre as profundidades. Nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,20-0,40 m, Ds e Pt variam em direção oposta, com 21,90 e 23,65% da variação total dos dados; e de 0,10-0,20 m, Ds e ARE variam juntas em direção oposta à areia, Pt e ARG, com 18,57% da variação total dos dados (Tabela 3).

A interpretação dos coeficientes de correlação (Tabela 3) segue o mesmo raciocínio de uma análise de correlação linear simples, podendo-se inferir que os atributos que apresentam coeficiente de correlação negativa que decrescem com o aumento da intensificação do uso agrícola são considerados sensíveis. No entanto, considerando o aumento da intensificação do uso da condição de caatinga para agricultura, não foi possível observar tal comportamento, o que sugere elevada similaridade entre os ambientes (Tabela 3).

Esse resultado pode ser atribuído à textura extremamente arenosa dos solos da região. Por outro lado, analisando a área com uso agrícola, é possível observar nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, que a textura arenosa dos solos tem elevada influência em reduzir o processo de agregação do solo. Em contrapartida, na camada subsuperficial de 0,20-0,40 m, onde há a presença do horizonte B textural, com maior proporção de argila, há notável colaboração no processo de agregação do solo.

Tal fato pode ser explicado pela alta representatividade de argissolos na região de estudo, no qual existe o horizonte B textural. No entanto, nas camadas superficiais, fica evidente que, além da textura arenosa da maioria dos solos estudados, fatores antrópicos tais como o preparo excessivo do solo associado a calagens intensas cujas aplicações são feitas a lanço em superfície reduzem a proteção física da matéria orgânica do solo, alteram a Ds e Pt e reduzem a qualidade estrutural dos solos, que naturalmente já é baixa. Deste modo, as alterações provocadas nos atributos físicos relacionados à estruturação dos solos podem sugerir início de processos de degradação.

5. CONCLUSÃO

A conversão da caatinga em sistemas agrícolas promove alterações nos atributos físicos do solo, sugerindo efeito do manejo.

A técnica de análise de componentes principais (ACP) se revelou importante neste estudo, uma vez que possibilitou reduzir o número de atributos físicos, destacando àqueles mais relacionados com as alterações dos solos em ambas as áreas dos municípios.

A ACP revelou que os atributos relacionados à estruturação (DMG, DMP, Ds, Pt) foram sensíveis às alterações impostas pelo manejo agrícola e pela textura extremamente arenosa da maioria das classes de solos da região.

A variabilidade de classes de solos estudados, com predominância de Argissolos, influencia as alterações na camada de 0,20-0,40 m, em ambas as áreas dos municípios, sendo a textura a principal responsável pela estruturação.

6. REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J.A.; Reinert, D.J.; Fiorin, J.E.; Ruedell, J.; Petrere, C., & Fontinelli, F. (1995). Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19, pp. 115-119.
- Araújo, E.A., Ker, J.C., Neves, J.C.L., Lani, J.L. (2012). Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, 5 (1), pp. 187-206.
- Arcoverde, S. N.S., Salviano, A. M., Olzevski, N., Melo, S. B., Cunha, T. J. F., Giongo, V., Pereira, J. S. (2015). Qualidade física de solos em uso agrícola na Região Semiárida do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39 (5), pp. 1473-1482.
- Burak, D. L., Passos, R. R.; & Andrade, F. V. (2012). Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. *Bragantia*, 71 (4), pp. 538-547.
- Carneiro, M. A. C., Souza, E. D., Reis, E. F., Pereira, H. S., Azevedo, W.R. (2009). Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 33 (1), pp. 147-157.
- Castro Filho, C., Muzilli, O., & Podanoschi, A. L. (1998). Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22 (3), pp. 527-38.
- Corrêa, R. M., Freire, M. B. G., Ferreira, R. L. C., Silva, J. A. A., Pessoa, L. G. M., Miranda, M. A., Melo, D. V. M. (2010). Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14 (4), pp. 358-365.

- Cortez, J. W., Alves, A. D. S., Moura, M. R. D., Olszewski, N., Nagahama, H. J. (2011). Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (4), pp. 1207-1216.
- Cunha, E. Q. da., Stone, L. F., Moreira, J. A. A., Ferreira, E.P. de B., Didonet, A. D., Leando, W. M. (2011). Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (2), pp. 589-602.
- Cunha, T. J. F., Silva, F. H. B. B. da., Silva, M. S. L. da., Petretre, V. G. Sá, I. B., Oliveira Neto, M. B. de., Cavalcanti, A. C. (2008). *Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola*. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido (Embrapa Semiárido. Documentos, 211).
- Donagema, G. K., Campos, D. V. B. de, Calderano, S. B., Teixeira, W. G., Viana, J. H. M. (Org.). (2011). *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- Freitas, L., Casagrande, J. C., Oliveira, I. A., Aquino, R. E. (2012). Análises multivariadas de atributos físicos em um Latossolo Vermelho submetidos a diferentes manejos. *Enciclopédia Biosfera*, 8 (15), pp. 126-139.
- Karlen, D. L.; Mausbach, M.J.; Doran, J. W.; Cline, R.G.; Harris, R. F., Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. AM. J.* , 61, pp. 4-10.
- Kiehl, R. J. (1979). *Manual de Edafologia*. Editora Agronômica Ceres, Ltda. São Paulo - SP, pp. 263.
- Lopes, H. S. S.; Medeiros, M. G.; Silva, J. R.; Medeiros Júnior, F. A.; Santos, M. N.; Batista, R. O. 2012. Biomassa microbiana e matéria orgânica em solo de Caatinga, cultivado com melão na Chapada do Apodi, Ceará. *Revista Ceres*, 59 (4), pp. 565-570.
- Morais, T. P. S.; Pissarra, T. C. T.; & Reis, F.C. (2012). Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. *Encicloédia Biosfera*, 8 (15), pp. 213-223.
- Mota, L. H. S. O., & Valladares, G. S. (2011). Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 42 (1), pp. 39-50.
- Nagahama, H. J., Cortez, J. W., Pimenta, W. A., Patrocínio Filho, A.P., Souza, E.B. (2016). Resistência do solo à penetração em sistemas de preparo e velocidades de deslocamento do trator. *Comunicata Scientiae*, 7 (1), pp. 56-65.
- Nortcliff, S. Standardisation of soil quality attributes. (2002). *Agric., Ecosyst. Environ.*, 88, pp.161-168.
- Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Freitas, L.; Soares, M. D. R. (2015). Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazonica*, 45 (1), pp. 1-12.
- Portugual, A. F.; Juncksh, I.; Shaefer, C. E. R. G.; Neves, J. C. L. (2010). Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. *Revista. Ceres*, 57 (4), pp. 545-553.

- Pragana, R. B.; Ribeiro, M. R.; Nóbrega, J. C. A.; Ribeiro Filho, M. R.; Costa, J. A. (2012). Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (5), pp. 1591-1600.
- Reynolds, W. D., Bowman, B. T., Drury, C. F., Tan, C. S., Lu, X. (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110 (1-2), pp. 131-146.
- Sales, L. E. O., Carneiro, M. A. C., Severiano, E. C., Oliveira, G. C., Mozart, M. F. (2010). Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. *Ciência e Agrotecnologia*, 34 (3), pp. 667-674.
- Sales, R. P., Portugal, A. F., Moreira, J. A. A., Kondo, M. K., Pegoraro, R. F. (2016). Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, 47 (3), pp. 429-438.
- Santos, J. C. B.; Júnior, V. S. S.; Corrêa, M. M.; Ribeiro, M. R.; Almeida, M. C.; Borges, L. E. P. (2012). Caracterização de Neossolos Regolíticos da região do semiárido do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (3), pp. 683-695.
- Sposito, G., Zabel, A. (2003). The assessment of soil quality. *Geoderma*, 114, pp. 143-144.
- Stolf, R.; Thurler, A. M.; Bacchi, O. O. S.; Reichardt, K. (2011). Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (2), pp. 447-459.
- Tavares Filho, J., Ribon, A. A. (2008). Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (2), pp.487-494.
- Ursulino, D. M. A.; Moreno, M. M. T. (2014). Avaliação da qualidade de solos através de indicadores físicos e mineralógicos. (2014). *Revista de Ciências Agrárias*, 37 (2), pp. 179-186.