

Avaliação da Qualidade de um Argissolo Cultivado com Cana-de-Açúcar Por Meio da Análise de Ordenação Multidimensional

EDSON PATTO PACHECO⁽¹⁾ & JOSÉ RAMON BARROS CANTALICE⁽²⁾

RESUMO – Os Argissolos cultivados com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros nordestinos em muitas situações são favorecidos por topografia plana e profundidade adequada. No entanto, o tráfego de máquinas pesadas usadas em todo ciclo da cultura, pode resultar em sua degradação física, contribuindo para queda no rendimento e longevidade das lavouras. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar, por meio da análise de atributos físicos em “Ordenação Multidimensional” ou NMS (Nonmetric Multidimensional Scaling). O trabalho foi realizado na Usina Coruripe localizada no município de Coruripe – AL, onde foram selecionadas cinco áreas com diferentes tipos (inverno e verão) e tempo (4, 14 e 30 anos) de cultivo, que foram comparadas com uma área de mata nativa considerada com testemunha padrão. As áreas cultivadas apresentaram o solo com qualidade desfavorável em relação à mata nativa, sendo observada maior compactação e degradação da estrutura do solo, o que resultou resistência do solo à penetração em laboratório maior do que 2000 kPa, mesmo com teores de umidade próximos da capacidade de campo nas áreas cultivadas. A diferença na qualidade física do solo entre as áreas cultivadas foi menos expressiva, o que pode indicar um efeito do sistema de colheita e tratos culturais sobre o comportamento físico do solo, maior do que o efeito do tipo e tempo de cultivo.

Palavras-Chave: (tabuleiros costeiros, qualidade do solo, atributos físicos)

Introdução

No Nordeste a cana-de-açúcar ocupa principalmente o ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, onde a maioria dos solos é favorecida tanto pela topografia como também por possuir textura média e profundidade adequada. Porém, devido a grande quantidade de operações motomecanizadas a serem realizadas em curto espaço de tempo, esses solos são submetidos a pressões excessivas em condições de teor de umidade que favorecem o processo de degradação física, resultando em compactações adicionais que podem diminuir a produtividade e longevidade das lavouras. Uma das formas de se estimar a qualidade física de um solo é por meio da avaliação de sua estrutura, por estabelecer relações fundamentais com o seu

comportamento hidrológico. Alguns atributos físicos como: densidade, porosidade, capacidade de retenção de água, estabilidade de agregados em água, resistência à penetração e compressibilidade estão correlacionados com a condição da estrutura do solo.

O conteúdo de matéria orgânica não é propriamente um indicador de qualidade relacionada a física do solo, mas influencia direta e indiretamente várias propriedades físicas que estabelecem a sua qualidade [1].

A pressão exercida na superfície do solo pelo tráfego de máquinas, normalmente, aumenta a densidade do solo e diminui a porosidade total, principalmente a macroporosidade [2]. Essa degradação na estrutura é agravada, quando as operações de preparo do solo e tráfego de máquinas são realizadas aplicando pressões superiores à capacidade de suporte de carga, para um dado teor de umidade do solo [3,4]. A compactação do solo também pode ser avaliada por meio da tensão de preconsolidação (σ_p), que é determinada pela curva de compressão obtida com ensaio de adensamento uniaxial. Essa variável determina a maior pressão que o solo já sofreu no passado e pode representar a capacidade de suporte de carga, ou seja, é a pressão máxima que o solo suporta antes que ocorra compactação adicional [3]. A σ_p está relacionada com a resistência do solo à penetração das raízes, sendo que, valores elevados de tensão de preconsolidação apresentam maior probabilidade de reduzir o crescimento das raízes [5]

O Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), incorpora em um único dado a amplitude do teor de umidade do solo em que são mínimas as limitações ao desenvolvimento de plantas associadas à disponibilidade de água, aeração e resistência do solo à penetração. O IHO integra as propriedades físicas do solo que diretamente influenciam o desenvolvimento das culturas. Estas inter-relações dependem da condição estrutural do solo e, portanto, do grau de degradação da estrutura a que o solo está submetido. Portanto, o IHO pode ser utilizado como indicador da qualidade e condição estrutural do solo [6].

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de análise de ordenação multidimensional, o efeito do tempo e tipo de cultivo com cana-de-açúcar sobre a qualidade de um Argissolo de Tabuleiros Costeiros.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Usina Coruripe localizada no município de Coruripe – AL, com latitude 10° 07' S e longitude 36° 10' W, pluviosidade média anual de aproximadamente 1.400 mm e temperatura média de

⁽¹⁾ Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Av. Beira 3250, Jardins, 49.025-040, Aracaju-SE. E-mail: patto@cpac.embrapa.br.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

24,4°C. O solo avaliado foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, relevo plano, textura média (leve)/argilosa.

Foram selecionadas cinco áreas de cana-de-açúcar com diferentes tempos de uso e tipos de cultivo: 4 anos cultivo de inverno (4anos I); 14 anos cultivo de inverno (14anos I); 14 anos cultivo de verão (14anosV); 30 anos cultivo de inverno (30anosI) e 30 anos cultivo de verão (30anosV). No sistema de cultivo de inverno não há preparo do solo com grade, ocorre adubação verde com *Crotalaria spectabilis* e a cana é plantada no final do período chuvoso (inverno). No cultivo de verão ocorre a gradagem e aplicação de composto no sulco de plantio que é realizado no período seco (verão). Em toda área cultivada havia sido realizada a subsolagem para implantação dos canaviais que estavam no quarto corte. As áreas cultivadas foram comparadas entre si e com uma área de mata nativa (Mata), considerada com testemunha padrão.

Para realização das análises físicas e de matéria orgânica foram retiradas amostras de solo em quatro pontos (repetições) de cada área, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (horizontes Ap e AB, respectivamente). Na Tabela 1 são apresentadas as médias da granulometria das áreas selecionadas nas duas profundidades consideradas.

Para determinação da tensão de preconsolidação (σ_p), índice de recompressão (CR), índice de compressibilidade (IC), resistência do solo à penetração em laboratório (RPL), densidade do solo (D_s), volume total de poros (VTP), volume de microporos (VMICO), volume de macroporos (VMACRO) e ponto de murcha permanente (PMP), foram utilizadas amostras indeformadas extraídas do solo em anéis volumétricos com 5,2 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura. Para determinação desses atributos as amostras indeformadas foram saturadas para posterior estabilização do teor de umidade em oito sucções de potenciais matriciais: -1, -4, -6, -10, -33, -100, -500, -1500 kPa, além do ponto de saturação. Para tensões entre -1 a -10 kPa foi utilizada mesa de tensão, e câmaras de Richards para sucção de -33 a -1500 kPa. Estabilizado o teor de umidade, as amostras foram submetidas ao ensaio de RPL utilizando um penetrógrafo de bancada com cone de 4mm de diâmetro e velocidade de penetração de 10mm/min. Após o ensaio de RPL, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial utilizando uma prensa manual, onde foram aplicadas cargas verticais correspondentes a tensões de 12,5; 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1600 kPa. A razão de carga foi igual a dois e os estágios de carregamentos foram de 30 segundos. Para cada carga aplicada foi medida a deformação vertical da amostra para efetuação do cálculo da σ_p , CR e IC. Ao final do ensaio de compressão as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, para determinação do teor de umidade gravimétrica (U), e cálculo da D_s , VPT (umidade a 0 kPa), VMICO (umidade a -6kPa), VMACRO (PT - VMACRO) e PMP (umidade a -1500kPa).

Para obtenção do teor de umidade crítico (TUC), densidade máxima (DM) e grau de compactação (GC)

foram utilizadas amostras de solo passadas em peneira de 4 mm para realização do teste de proctor normal [7] em amostras contendo seis teores de umidade.

Para determinação das proporções de areia, silte e argila, assim como, grau de flocculação (GF), porcentagem de agregação (%A), agregados estáveis em água (%AE), índice de estabilidade de agregados em água (IEA), diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) e matéria orgânica total (MOT), matéria orgânica particulada (MOP), matéria orgânica complexada (MOC), e porcentagem de matéria orgânica particulada %MOP e porcentagem de matéria orgânica complexada (%MOC) foram utilizadas amostras deformadas, e realizado procedimentos de análise conforme [8].

Na determinação do IHO foram utilizados critérios descritos por [9]:

- (a) Se ($\theta_{pa} \geq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \leq \theta_{pmp}$) \Rightarrow IHO = $\theta_{cc} - \theta_{pmp}$;
- (b) Se ($\theta_{pa} \geq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \geq \theta_{pmp}$) \Rightarrow IHO = $\theta_{cc} - \theta_{rp}$;
- (c) Se ($\theta_{pa} \leq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \leq \theta_{pmp}$) \Rightarrow IHO = $\theta_{pa} - \theta_{pmp}$;
- (d) Se ($\theta_{pa} \leq \theta_{cc}$) e ($\theta_{rp} \geq \theta_{pmp}$) \Rightarrow IHO = $\theta_{pa} - \theta_{rp}$.

Onde: θ_{pa} = teor de umidade do solo em que a porosidade de aeração é $\leq 10\%$; θ_{cc} = teor de umidade na capacidade de campo; θ_{pmp} teor de umidade no ponto de murcha permanente, θ_{rp} = teor de umidade quando a resistência do solo a penetração é igual a 2000 kPa e IHO intervalo hídrico ótimo.

A análise de NMS (Nonmetric Multidimensional Scaling) ou “Ordenação Multidimensional” [10], foi utilizada para avaliar o efeito do tempo e tipo de cultivo com cana-de-açúcar, sobre a qualidade do solo, por meio da correlação dos escores das amostras com as variáveis de matéria orgânica e de atributos de física do solo. Também foi realizada análise de significância da correlação de cada variável analisada com a qualidade do solo. Para realização da análise de NMS foi utilizado o programa PC-ORD 4.0 e, SAEG 9.1 para as demais análises.

Resultados e Discussão

Mesmo estando distribuídas em um raio de aproximadamente 4 km, as áreas representantes dos tratamentos apresentaram uniformidade razoável quanto à granulometria, variando o teor de argila de 75 a 95 g.kg⁻¹ e 151 a 234 g.kg⁻¹, para as profundidades de 0 a 20cm e 20 a 40 cm, respectivamente (Tabela 1).

As Figuras 1 e 2 representam a variabilidade da qualidade do solo de cada ponto amostral, por meio da análise multivariada que correlacionou as variáveis de solo estudadas com os escores das amostras no espaço destas variáveis.

Na profundidade de 0 a 20 cm, 97% da variabilidade da qualidade do solo, entre as amostras, foi representada por um gráfico em apenas uma dimensão (eixo 1) (Figura 1).

A análise NMS, para a profundidade de 20 a 40 cm, apresentou comportamento semelhante ao do horizonte superficial, no entanto, 95 % da variabilidade da qualidade do solo foi representada por um gráfico em duas dimensões, sendo que, o Eixo 1 e Eixo 2 contribuíram com 87 e 8% da variabilidade da qualidade do solo, respectivamente (Figura 2). Portanto, para o horizonte AB,

pode-se considerar o Eixo 1 como principal responsável pela distribuição dos pontos amostrais.

Tanto para o horizonte superficial quanto para o horizonte AB, a distribuição das amostras da esquerda para a direita representa uma queda na qualidade do solo quando a vegetação nativa é retirada para implantação de lavouras de cana-de-açúcar, mesmo com somente quatro anos de cultivo (Figuras 1 e 2). Esse fato pode ser comprovado pelos coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas com a localização dos pontos amostrais nos gráficos de ordenação (Tabela 2). As variáveis que indicam compactação e degradação da matéria orgânica do solo (σ_p , RPL, GC, Ds e %MOC) apresentam correlação significativa e positiva, indicando que as mesmas crescem no sentido da esquerda para a direita no Eixo 1 dos gráficos de ordenação, e as demais variáveis indicadoras de qualidade do solo (CR, IC, VTP, VMACRO, %A, %AE, IEA, DMP, MOT, MOP e %MOP) decrescem com o tempo de cultivo do solo (Tabela 2).

No entanto, as amostras representativas das áreas cultivadas, parecem formar um grupo único e distinto quando comparado com as amostras representativas da Mata, para as duas profundidades estudadas (Figuras 1 e 2). Esse comportamento pode estar relacionado com o sistema de cultivo e colheita. Considerando que as áreas utilizadas para realização do trabalho foram subsoladas antes do plantio, e que, todas estavam no mesmo ciclo de cultivo (quarto corte), pode-se inferir que a pressão exercida no solo durante colheita e tratos culturais das lavouras, pode estar determinando a qualidade do solo, quanto ao comportamento físico, ocultando possíveis diferenças dos efeitos do tempo e tipo de cultivo. Na Tabela 2, observa-se que, em média nas duas profundidades, as áreas cultivadas apresentaram maior Ds e menor VTP em relação à Mata, porém, existe uma variação muito pequena destes dois atributos entre as áreas cultivadas.

O horizonte superficial, por apresentar uma textura bastante arenosa (Tabela 1), não é considerado foco de preocupações com compactação, devido à sua facilidade de preparo e a sua baixa resistência à penetração, mesmo em teores de umidade muito baixos, não atingindo $RPL \geq 2000$ kPa mesmo quando totalmente seco (Tabela 2), que é o nível de resistência do solo à penetração considerado por como limitante ao crescimento de raízes da maioria das culturas [11].

No entanto, o horizonte AB com teor de argila mais elevado (Tabela 1), pode ter sua coesão potencializada devido à compactação exercida pelo tráfego de máquinas. Nesta profundidade a RPL é maior que 2000 kPa, mesmo para teores de umidade próximo ao da capacidade de campo nas áreas cultivadas, o que resulta em um menor IHO (Tabela 2) para as áreas cultivadas em relação a Mata, comprovando a redução na qualidade do solo mesmo em camadas subsuperficiais, devido ao sistema de cultivo com cana-de-açúcar em Argissolos de Tabuleiros Costeiros.

Conclusões

O cultivo com cana-de-açúcar diminuiu a qualidade do solo, resultando em compactação e degradação da estrutura do Argissolo estudado.

A compactação do horizonte superficial não deve ser foco de preocupação, considerando sua textura leve e facilidade de preparo.

A compactação do horizonte AB elevou a sua resistência à penetração, a níveis críticos, mesmo para maiores teores de umidade.

A menor diferença na qualidade do solo entre as áreas cultivadas, pode estar relacionada com as pressões exercidas durante a colheita e tratos culturais, que devem ter um efeito sobre o comportamento físico do solo, maior do que o efeito do tempo e tipo de cultivo.

Agradecimentos

A Usina Coruripe pela disponibilização das áreas e apoio logístico.

Referências

- [1] CHRISTENSEN B.T. & JOHNSTON A.E. 1997. **Soil organic matter and soil quality: Lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted**. In: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R., eds. Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam, Elsevier, p.399-430.
- [2] TSEGAYE, T. & HILL, R.L. 1998. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. **Soil Science**, 163:143-154.
- [3] DIAS JUNIOR, M.S. 2000. Compactação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, p. 56-94.
- [4] DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. 1996. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 175-182.
- [5] RÖMKENS, M.J.M. & MILLER, R.D. 1971. Predicting root size and frequency from one-dimensional consolidation data – A mathematical model. **Plant Soil**, v. 35, p. 237-248.
- [6] TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. 1998. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:573-581.
- [7] STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B. ; VILLAR, O.M. 1981. Compactação do solo. In: **Ensaio de laboratório em mecânica do solos**. São Paulo, USP, p. 81-93.
- [8] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro, 212 p.
- [9] WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.; McCULLOUGH-SANDEN, B. & MARKEGARD, G. 2003. Soil management effects on the nonlimiting water range. **Geoderma**, 114:401-414.
- [10] KRUSKAL, J. B. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. **Psychometrika**, v. 29, p. 1-27.
- [11] TORMENA, C. A.; ROLOFF, 1996. G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 333-339.

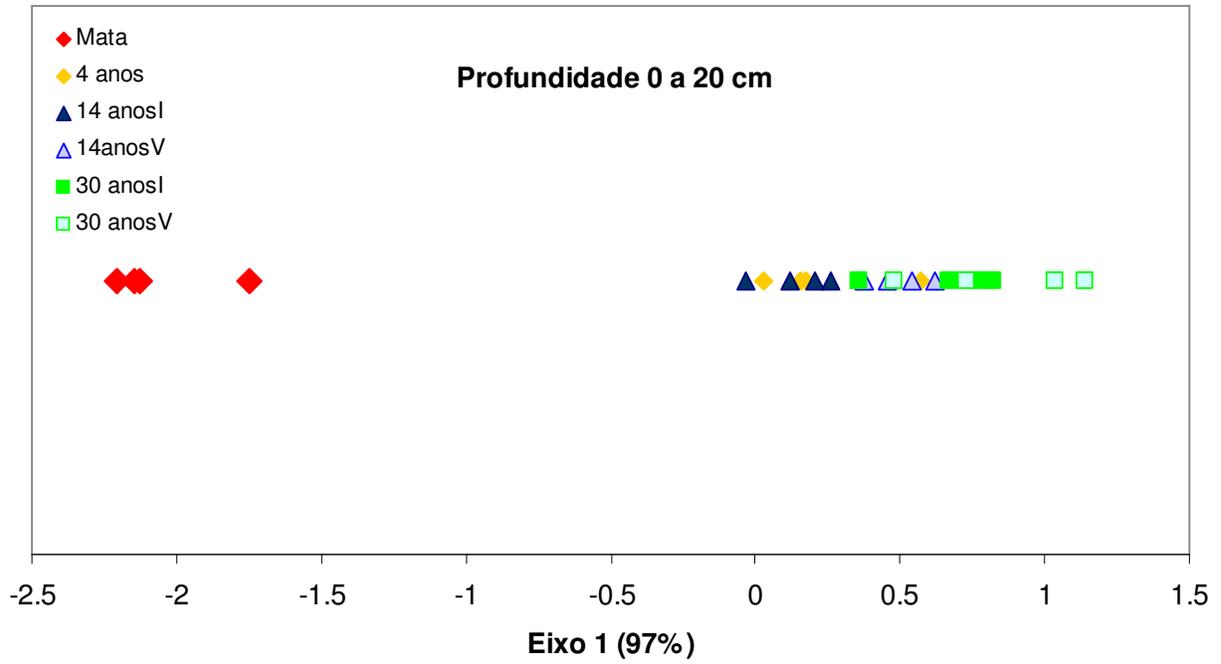


Figura 1. Gráfico de ordenação multidimensional considerando os atributos de física do solo na profundidade de 0 a 20 cm.

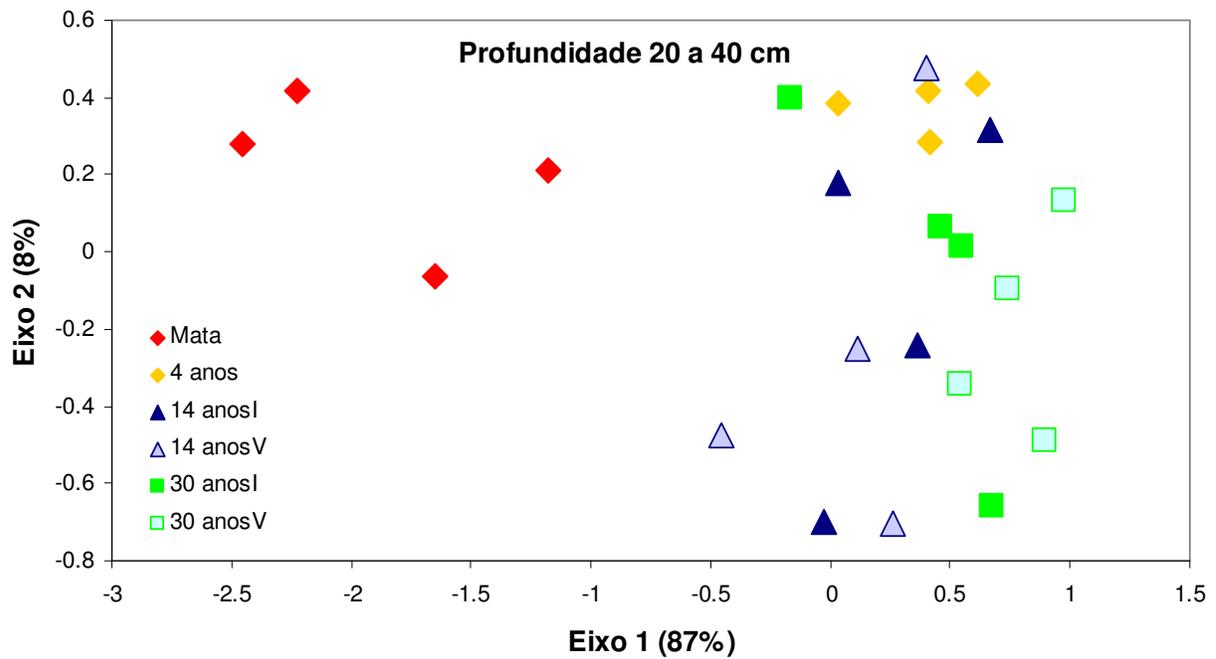


Figura 2. Gráfico de ordenação multidimensional considerando os atributos de física do solo na profundidade de 20 a 40 cm.

Tabela 1. Valores médios de granulometria para as seis áreas nas duas profundidades estudadas.

Tratamento	Profundidade 0 a 20 cm			Profundidade 20 a 40 cm		
	Areia (g.kg ⁻¹)	Silte (g.kg ⁻¹)	Argila (g.kg ⁻¹)	Areia (g.kg ⁻¹)	Silte (g.kg ⁻¹)	Argila (g.kg ⁻¹)
Mata	868	57	76	793	56	151
4 anos I	867	46	88	701	65	234
14 anos I	866	49	86	751	66	184
14 anos V	873	42	86	768	63	169
30 anos I	885	39	75	747	81	172
30 anos V	868	42	91	724	70	207

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de matéria orgânica e atributos de física do solo com escores (eixo 1) das amostras, plotados nos gráficos de ordenação multidimensional.

Atributo de Física do solo	Profundidade 0 a 20 cm	Profundidade 20 a 40 cm
Tensão de Preconsolidação (σ_p)	0,836 **	0,802 **
Índice de Recompressão (CR)	-0,925 **	-0,902 **
Índice de Compressibilidade (IC)	-0,923 **	-0,585 **
Resistência à Penetração em Laboratório (RPL)	0,740 **	0,867 **
Teor de Umidade Crítica (TUC)	0,285 ns	0,330 ns
Densidade Máxima (DM)	0,885 **	0,521 **
Grau de Compactação (GC)	0,713 **	0,597 **
Densidade do Solo (Ds)	0,970 **	0,777 **
Volume Total de poros (VTP)	-0,956 **	-0,784 **
Volume de Microporos (VMICRO)	-0,310 ns	0,537 **
Volume de Macroporos (VMACRO)	-0,775 **	-0,801 **
Ponto de Mucha Permanete (PMP)	-0,892 **	0,522 **
Grau de floculação (GF)	-0,213 ns	-0,240 ns
Porcentagem de Agregação (%A)	-0,943 **	-0,817 **
Porcentagem de Agregados Estáveis (%AE)	-0,943 **	-0,877 **
Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)	-0,921 **	-0,788 **
Diâmetro Médio Ponderado de Agregados (DMP)	-0,949 **	-0,955 **
Matéria Orgânica Total (MOT)	-0,924 **	-0,401 *
Matéria Orgânica Particulada (MOP)	-0,966 **	-0,800 **
Matéria Orgânica Complexada (MOC)	-0,870 **	-0,270 ns
Porcentagem de Matéria Orgânica Particulada (% MOP)	-0,820 **	-0,749 **
Porcentagem de Matéria Orgânica Complexada (% MOC)	0,820 **	0,749 **

** Coeficiente de correlação de Pearson significativo ao nível de 1 % de probabilidade;

* Coeficiente de correlação de Pearson significativo ao nível de 5 % de probabilidade;

ns Coeficiente de correlação de Pearson não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Teor de umidade do solo em que a porosidade de aeração é ≤ 10 % (θ_{pa}) teor de umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), teor de umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), teor de umidade quando a resistência do solo a penetração é maior ou igual a 2000 kPa (θ_{rp}) e intervalo hídrico ótimo (IHO) para os seis tratamentos nas duas profundidades estudadas.

Tratamento	θ_{pa} (m.m ⁻³)	θ_{cc} (m.m ⁻³)	θ_{pmp} (m.m ⁻³)	θ_{rp} (m.m ⁻³)	IHO (m.m ⁻³)
Mata	0,528	0,156	0,125	**	0,031
4 anos I	0,472	0,126	0,070	**	0,056
14 anos I	0,471	0,133	0,070	**	0,063
14 anos V	0,467	0,128	0,070	**	0,058
30 anos I	0,451	0,129	0,063	**	0,066
30 anos V	0,441	0,130	0,067	0,029	0,063
Tratamento	θ_{pa} (m.m ⁻³)	θ_{cc} (m.m ⁻³)	θ_{pmp} (m.m ⁻³)	θ_{rp} (m.m ⁻³)	IHO (m.m ⁻³)
Mata	0,447	0,150	0,100	0,078	0,050
4 anos I	0,385	0,235	0,165	0,215	0,020
14 anos I	0,386	0,191	0,130	0,180	0,011
14 anos V	0,390	0,180	0,120	0,154	0,026
30 anos I	0,404	0,197	0,140	0,179	0,018
30 anos V	0,409	0,198	0,137	0,188	0,010

** tratamentos que a RPL não atinge 2000 kPa, mesmo com teor de umidade zero (obtido pela curva de RPL em função do teor de umidade).