



Propriedades físico-hídricas do solo cultivado com eucalipto irrigado

Isabela Braga Belchior¹, Adriano da Silva Lopes¹, Eder Duarte Fanaya Junior², Iago João Cassol¹, Jean Carlos Lopes de Oliveira¹ e Kelvin Rosalvo Melgar Brito¹

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS. E-mail: isabela_bbelchior@hotmail.com (Autor correspondente).

²Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Palavras-chave:

água no solo
densidade do solo
irrigação localizada
híbridos de eucalipto

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar as propriedades físico-hídricas de um Argissolo cultivado com dois híbridos de eucalipto, Urograndis e Grancam, irrigados e sem irrigação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas, com 4 repetições. Nas parcelas, os tratamentos empregados corresponderam a dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento) e um tratamento controle sem irrigação. Nas subparcelas, os tratamentos foram os híbridos de eucalipto (Urograndis e Grancam) e, nas sub-subparcelas, foram às profundidades do solo de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m. Foram avaliadas a densidade e porosidade do solo, a resistência do solo à penetração e a capacidade de água disponível para a camada de 0,0-0,5 m. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo teste de médias Tukey a 5% de probabilidade. A irrigação (gotejamento e microaspersão) proporciona menor resistência do solo à penetração na camada superficial. De um modo geral, os híbridos de eucalipto não influenciam nos atributos de solo analisados.

Key words:

bulk density
eucalyptus hybrids
located irrigation
soil water

Physical-hydric properties of a soil cultivated with eucalyptus irrigated

ABSTRACT

The aim of the study was evaluate the physical-hydric properties of an ultisol cultivated with two eucalyptus hybrids, Urograndis and Grancam, irrigated and without irrigated. The experimental design was a randomized block in a split split plots, with 4 repetitions. In the plots, the treatments employed corresponded two irrigation systems (microsprinkler and drip) and without irrigation area. In subplot, treatments were the eucalyptus hybrids (Urograndis and Grancam) and the sub-subplots were the depths of soil of 0.0-0.1 m, 0.1-0.2 m, 0.2-0.3 m, 0.3-0.4 m and 0.4-0.5 m. Were evaluated the bulk density and soil porosity, soil penetration resistance and available water capacity for depths 0.0-0.5 m. The results were statistically analyzed by Tukey test to 5% probability. The irrigation (drip and microsprinkler) provides lowest soil penetration resistance in surface layer. Generally, the eucalyptus hybrids not influence in the soil attributes analyzed.

Introdução

A crescente demanda por produtos florestais tem proporcionado o aumento das áreas com florestas plantadas de eucalipto no Brasil, onde as condições climáticas são favoráveis para esse tipo de cultivo, o material genético disponível é de alta qualidade e a tecnologia de implantação, condução e colheita desses povoamentos florestais possui alta eficiência (PREVEDELLO, 2012). Os reflorestamentos com eucalipto no Brasil abastecem o mercado consumidor de madeira, principalmente para a produção de papel e celulose, bem como o consumo

de lenha e carvão vegetal (RODRIGUES et al., 2012).

Para que uma floresta de eucalipto tenha produções significativas, uma das técnicas que o produtor pode utilizar é a irrigação que tem, por objetivo, o fornecimento controlado de água para as espécies florestais em quantidade suficiente e no momento certo, complementando a precipitação pluvial natural (FERNANDES et al., 2012).

A água afeta de forma decisiva o desenvolvimento das plantas (BUSKE, 2013). A sua falta leva ao estresse hídrico, além da diminuição na absorção de nutrientes. Já o excesso pode favorecer a lixiviação

dos nutrientes e também proporcionar um microclima favorável ao desenvolvimento de doenças (LOPES et al., 2005).

Por ser a água um dos fatores limitantes a produtividade das culturas é essencial o estudo das relações solo-água, o qual pode ser realizado pela determinação da curva de retenção de água do solo. Além da curva de retenção e da capacidade de água disponível no solo, outras propriedades, segundo Ingaramo (2003), podem ser utilizadas para avaliação da qualidade do solo, como porosidade e densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração, entre outros.

O solo é facilmente afetado pelo manejo e por práticas culturais (KLEIN & LIBARDI, 2000), assim, a substituição da vegetação natural por espécies florestais de rápido crescimento altera suas propriedades químicas, físicas e biológicas (SANTOS, 2007).

Além disso, o uso agrícola indevido causa mudanças na estrutura do solo que normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular sendo resultado do aumento da compactação e da resistência do solo à penetração, redução da porosidade e da infiltração de água no solo (TAVARES FILHO et al., 2010). Como consequência, o crescimento das plantas é prejudicado devido ao empobrecimento da qualidade física do solo (CAVALIERI et al., 2011). Dessa forma, o monitoramento da qualidade do solo por meio de atributos físicos e hídricos é de grande importância para manutenção e avaliação de sua sustentabilidade.

Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar as propriedades físico-hídricas de um Argissolo cultivado com dois híbridos de eucalipto irrigado.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na área experimental de irrigação da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana (UEMS/UUA), com coordenadas geográficas Latitude 20° 27' Sul, Longitude 55° 39' Oeste e

altitude média de 207 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao subtipo Aw, tropical quente, sub-úmido, e precipitação média anual de 1200 mm, com solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico (SCHIAVO et al., 2010).

Os dados climáticos foram obtidos por meio da estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no município de Aquidauana – MS, consistindo de dados diários de temperatura (máxima e mínima), umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento e precipitação pluvial, até novembro de 2012 (19 meses após o plantio) (Tabela 1).

Utilizaram-se dois híbridos de eucalipto: Urograndis, clone I224 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) e Grancam, clone 1277 (*Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*), cujas mudas de eucalipto foram transplantadas a campo no dia 20 de abril de 2011 e espaçadas em 2,25 x 4,00 m.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas sub-subdivididas, composto por 4 repetições, onde: as parcelas corresponderam a dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento) e um tratamento controle sem irrigação; as subparcelas foram os híbridos de eucalipto (Urograndis e Grancam); e, as sub-subparcelas, as profundidades de solo de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m, onde foram realizadas as análises físico-hídricas, em novembro de 2012, quando a cultura estava com 19 meses de implantação.

Na área irrigada por microaspersão, utilizou-se microaspersores com vazão unitária de 48 L h⁻¹, raio de alcance de 1,5 m e pressão de serviço de 40 m c.a. instalados a 0,3 m de cada planta. Já, no gotejamento foram utilizados gotejadores autocompensantes, com vazão de 2,4 L h⁻¹, espaçamento de 0,5 m entre emissores e pressão de serviço de 10 m c.a.

O manejo de irrigação foi baseado na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) a partir da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi estimada conforme a Equação 1, seguida de adaptações para

Tabela 1. Dados médios de temperatura máxima, mínima e média (T_{max} , T_{min} e T_{med}), umidade relativa do ar (UR), radiação solar global (Rs), velocidade do vento a 2 metros de altura (U_2) e precipitação pluviométrica (mm).

MAP*	T_{max}	T_{min}	T_{med}	UR	Rs	U_2	Precipitação
	°C			%	MJ m ² dia ⁻¹	m s ⁻¹	mm
1	29,34	17,24	23,29	71,58	16,69	0,74	52
2	29,98	15,3	22,64	65,71	14,55	1,02	8
3	29,09	14,08	21,59	65,58	16,12	1,18	16,4
4	29,95	15,96	22,95	60,43	16,33	1,43	30,4
5	33,65	17,93	25,79	53,42	20,09	1,54	37,2
6	33,69	20,49	27,09	61,58	21,6	1,6	130,6
7	33,6	20,9	27,3	62,8	23,8	1,7	140,4
8	35,6	21,1	28,4	60	28	1,3	56,6
9	34,9	22,6	28,7	67	21,9	1,4	90,8
10	33,9	22,7	28,3	70	21,9	1,1	176,7
11	33,1	22	27,6	72	24,1	0,8	134,1
12	32,6	20,9	26,7	71,5	20,5	0,8	126
13	29,1	17,6	23,3	71,5	17	0,9	79
14	28,4	17,5	22,9	74,9	13,4	0,8	166,2
15	26,8	12,8	19,8	69,5	17,1	0,8	85
16	33,5	17,1	25,3	57,6	17,6	0,9	0
17	34,9	18,4	26,7	51,9	19,5	1,2	24,5
18	39,1	18,5	28,8	59	22,1	1,1	175,5
19	37,6	20,2	28,9	62	23,6	0,9	158

*Meses após o plantio.

irrigação localizada, calculada de acordo com Equação 2 (BERNARDO et al. 2006).

$$ETc = ET_0 kc \quad (1)$$

em que: kc – coeficiente de cultura (0,70 – 0,82) estimado diariamente para o eucalipto (ALVES, 2009).

$$ETc_{Loc} = ETc k_L \quad (2)$$

em que: ETc_{Loc} – evapotranspiração da cultura de acordo com o método de irrigação localizada, mm dia⁻¹; k_L – fator de correção de acordo com o método de irrigação localizada, estimado pela Equação 3 (KELLER & BLIESNER, 1990).

$$k_L = 0,1 \sqrt{PAM} \quad (3)$$

em que: PAM – porcentagem da área molhada calculada de acordo com Bernardo et al. (2006).

Os sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento resultaram em valores de PAM de 78,5% e 52,0%, respectivamente. Utilizou-se como critério a água facilmente disponível (Equação 4) para o cálculo da lâmina de irrigação.

$$AFD_{Loc} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) Z p \frac{PAM}{100} \quad (4)$$

em que: AFD_{Loc} – água facilmente disponível para irrigação localizada; θ_{cc} – umidade do solo à capacidade de campo para o potencial mátrico de -10 kPa, m³ m⁻³; θ_{pmp} – umidade do solo no ponto de murcha permanente para o potencial mátrico de -1500 kPa, m³ m⁻³; Z – profundidade do sistema

radicular, 970 mm (REIS et al., 2006); “p” – fator de depleção de água no solo para coníferas (0,7) recomendado por Allen et al. (1998).

A AFD_{Loc} foi de 38,9 e 58,8 mm para o gotejamento e microaspersão, respectivamente. Contudo, a irrigação foi efetuada sempre que a somatória da $ET_{C_{Loc}}$ fosse igual ou superior a 9 mm, devido à alta frequência e baixa intensidade da aplicação de água, característica da irrigação localizada.

A densidade do solo (Ds) foi avaliada por meio de amostragens realizadas na entre linha das plantas, utilizando anéis de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, que também serviram para determinação da porosidade total do solo (PT), seguindo a metodologia da Embrapa (2011). A resistência do solo à penetração foi realizada segundo Stolf (1991), utilizando um penetrômetro de impacto graduado de 0,0 a 0,6 m, com leituras tomadas gradativamente até atingir 0,5 m de profundidade.

Já, a curva de retenção de água no solo foi determinada para o perfil de 0,0-0,5 m de profundidade, utilizando a câmara de Richards. O ajuste foi realizado com o modelo de Van Genuchten (1980), estimando a capacidade de água disponível no solo (CAD) para uma faixa de profundidade de 0,0-0,5 m, conforme a Equação 5.

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) 1000 Z \quad (5)$$

em que: Z – profundidade, 0,50 m.

Os resultados foram submetidos a análise de variância e, para aqueles observados com efeito significativo dos tratamentos pelo teste F, procedeu-se o teste de comparações de médias Tukey a 5% de significância.

Resultados e Discussão

A densidade do solo (Ds) apresentou diferença significativa na camada na camada de 0,1-0,2 m, sendo que o sistema de gotejamento e a ausência de irrigação proporcionaram Ds menor nessa camada quando comparada à irrigada por microaspersão, o

que pode estar relacionado a uma compactação subsuperficial advinda dos procedimentos de preparo de solo na área irrigada por microaspersão. Em relação aos híbridos de eucalipto, os mesmos não proporcionaram valores de Ds diferentes em todas as camadas analisadas (Tabela 2).

Verificou-se que não houve diferença significativa entre as camadas de solo analisadas para a Ds (Tabela 3), o que pode estar relacionado ao curto tempo de implantação do experimento. Resultado semelhante ao encontrado por Wink (2009), estudando o efeito das florestas de eucalipto em um Argissolo, o qual não obteve diferença significativa nas camadas analisadas para tratamento com eucalipto possuindo 20 meses de idade. Porém, Prevedello et al. (2007), que avaliaram alterações dos atributos indicadores da qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e o crescimento inicial de eucalipto, encontraram maiores valores de Ds na camada de 0,3-0,4 m. Provavelmente pela não utilização de práticas de revolvimento do solo nessas camadas, além de que em camadas mais profundas há uma redução da matéria orgânica do solo e pressão das camadas subjacentes (SOUZA & ALVES, 2003).

Os valores de resistência do solo à penetração (RP) variaram de 1,32 MPa a 3,62 MPa, sendo que, segundo Taylor et al. (1966), valores superiores a 2 MPa são prejudiciais ao crescimento de culturas agrícolas, porém, segundo Misra & Gibbons (1996), as raízes do eucalipto são mais tolerantes a maiores valores de RP do que plantas anuais. Entretanto eles verificaram que houve diminuição no comprimento das raízes primárias e laterais de eucalipto de 71% para 31% quando houve um aumento da RP de 0,4 MPa para 4,2 MPa.

Não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos com híbridos de eucalipto, nem entre os sistemas de irrigação e tratamento controle (sem irrigação) para a RP (Tabela 2). Sendo que os valores de RP apresentaram uma tendência de aumento ao longo das camadas.

Quando se utilizou a irrigação (microaspersão e gotejamento), verificou-se menores valores de RP na camada superficial (Tabela 3), resultados que estão

em consonância com Martins et al. (2002), que, m, devido ao tráfego de máquinas por ocasião do segundo eles, a RP aumenta a partir dos 0,15 m de preparo de solo. profundidade, sendo mais pronunciada de 0,15 a 0,40

Tabela 2. Valores médios de porosidade total, densidade do solo, resistência do solo à penetração e capacidade de água disponível para os tratamentos em cinco profundidades.

	PT (m ³ m ⁻³)	Ds (kg dm ⁻³)	RP (MPa)	CAD (mm cm ⁻¹)
0,0 – 0,1 m				
MIC	0,37 A	1,51 A	1,65 A	1,50 A
GOT	0,37 A	1,46 A	1,35 A	1,93 A
SI	0,38 A	1,47 A	1,60 A	1,97 A
DMS	0,07	0,19	0,80	1,14
CV	9,33	6,60	26,60	32,18
Uro	0,37 a	1,44 a	1,32 a	1,87 a
Gra	0,37 a	1,52 a	1,74 a	1,73 a
DMS	0,04	0,10	0,43	0,76
CV	8,93	5,66	22,05	32,84
0,1 – 0,2 m				
MIC	0,30 B	1,62 A	3,62 A	1,44 A
GOT	0,32 AB	1,58 AB	2,54 A	1,31 A
SI	0,37 A	1,46 B	2,90 A	1,35 A
DMS	0,06	0,15	1,66	0,91
CV	9,74	4,88	27,99	33,73
Uro	0,33 a	1,57 a	2,59 a	1,33 a
Gra	0,34 a	1,54 a	3,43 a	1,40 a
DMS	0,06	0,13	1,05	0,57
CV	13,55	6,52	27,27	32,19
0,2 – 0,3 m				
MIC	0,30 A	1,66 A	3,41 A	1,27 A
GOT	0,32 A	1,59 A	3,39 A	1,27 A
SI	0,32 A	1,62 A	2,98 A	1,07 A
DMS	0,07	0,17	1,41	0,57
CV	11,00	5,47	21,85	23,82
Uro	0,29 b	1,66 a	3,13 a	1,17 a
Gra	0,33 a	1,58 a	3,38 a	1,23 a
DMS	0,03	0,10	0,90	0,37
CV	8,30	4,86	21,35	24,05
0,3 – 0,4 m				
MIC	0,30 A	1,64 A	3,44 A	0,94 B
GOT	0,36 A	1,53 A	2,98 A	1,90 A
SI	0,31 A	1,61 A	2,41 A	1,50 AB
DMS	0,06	0,15	1,95	0,80
CV	9,61	4,78	33,56	27,30
Uro	0,31 a	1,60 a	2,60 a	1,28 a
Gra	0,33 a	1,59 a	3,29 a	1,61 a
DMS	0,05	0,11	1,25	0,70
CV	11,71	5,47	33,07	37,35
0,4 – 0,5 m				
MIC	0,32 A	1,58 A	2,39 A	1,12 A
GOT	0,35 A	1,52 A	2,53 A	1,33 A
SI	0,36 A	1,53 A	2,28 A	1,26 A
DMS	0,05	0,17	0,92	0,75
CV	7,88	5,73	19,45	30,87
Uro	0,34 a	1,55 a	2,27 a	1,08 a
Gra	0,35 a	1,54 a	2,53 a	1,39 a
DMS	0,04	5,79	0,56	0,43
CV	8,87	0,11	18,10	27,12

DMS: diferença mínima significativa, CV: coeficiente de variação (%), PT: porosidade total, Ds: densidade do solo, RP: resistência do solo à penetração, CAD: capacidade de água disponível, MI: microaspersão, GOT: gotejamento, SI: sem irrigação, Uro: Urograndis, Gra: Grancam. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, letras maiúsculas representam os sistemas de irrigação e letras minúsculas representam os híbridos de eucalipto.

Tabela 3. Valores médios de porosidade total, densidade do solo, resistência do solo à penetração e capacidade de água disponível para os tratamentos entre as profundidades.

		PT (m ³ m ⁻³)	Ds (kg dm ⁻³)	RP (MPa)	CAD (mm cm ⁻¹)
GOT	0,0-0,1 m	0,37 A	1,46 A	1,35 B	1,93 A
	0,1-0,2 m	0,32 A	1,58 A	2,54 AB	1,31 A
	0,2-0,3 m	0,32 A	1,59 A	3,39 A	1,27 A
	0,3-0,4 m	0,36 A	1,53 A	2,98 AB	1,89 A
	0,4-0,5 m	0,35 A	1,52 A	2,53 AB	1,33 A
DMS		0,08	0,19	1,65	1,00
CV		10,70	5,69	29,51	29,52
		PT (m ³ m ⁻³)	Ds (kg dm ⁻³)	RP (MPa)	CAD (mm cm ⁻¹)
MIC	0,0-0,1 m	0,37 A	1,51 A	1,65 B	1,50 A
	0,1-0,2 m	0,30 B	1,52 A	3,62 A	1,44 A
	0,2-0,3 m	0,30 B	1,66 A	3,40 A	1,27 A
	0,3-0,4 m	0,30 AB	1,64 A	3,44 A	0,94 A
	0,4-0,5 m	0,32 AB	1,58 A	2,39 AB	1,12 A
DMS		0,07	0,16	1,55	0,83
CV		9,89	4,55	24,47	30,39
		PT (m ³ m ⁻³)	Ds (kg dm ⁻³)	RP (MPa)	CAD (mm cm ⁻¹)
SI	0,0-0,1 m	0,38 A	1,47 A	1,60 A	1,97 A
	0,1-0,2 m	0,37 AB	1,46 A	2,90 A	1,35 A
	0,2-0,3 m	0,32 B	1,62 A	2,98 A	1,10 A
	0,3-0,4 m	0,31 B	1,61 A	2,41 A	1,50 A
	0,4-0,5 m	0,36 AB	1,53 A	2,28 A	1,26 A
DMS		0,06	0,21	1,50	0,99
CV		7,78	6,21	28,31	31,69

DMS: diferença mínima significativa, CV: coeficiente de variação (%), PT: porosidade total, Ds: densidade do solo, RP: resistência do solo à penetração, CAD: capacidade de água disponível, MI: microaspersão, GOT: gotejamento, SI: sem irrigação. Médias seguidas de mesma letra nas colunas dentro de cada tratamento de irrigação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esse resultado pode ser devido a maior umidade do solo proporcionada pela irrigação localizada e, ainda, pela maior concentração de raízes na camada superficial do solo nessas condições. Não obstante, Lopes et al. (2014), estudando a cultura da pupunheira, verificaram que quando se utiliza a irrigação localizada ocorre maior desenvolvimento de raízes na camada superficial do solo em comparação às plantas não irrigadas.

Os valores de porosidade total (PT) diferiram na camada de solo de 0,1-0,2 m (Tabela 2) na qual o tratamento controle (sem irrigação) proporcionou maior valor de PT quando comparado com o sistema de microaspersão, concordando com os valores de Ds nessa camada, que pode ser devido a uma maior ação de crescimento radicular das plantas em áreas não irrigadas, propiciando o rompimento de camadas compactadas e assim reduzindo a densidade e

aumentando a porosidade total do solo (PREVEDELLO et al., 2013).

Diferença significativa também foi encontrada para os híbridos de eucalipto na camada de solo de 0,2-0,3 m, sendo que o híbrido Grancam propiciou maior valor de PT quando comparado ao Urograndis, nessa camada, o que pode estar relacionado ao maior volume de solo explorado por *E. camaldulensis* (REIS et al., 2006) e sistema radicular mais profundo quando comparado ao do *E. urophylla* (GOMES, 1994 citado por REIS et al., 2006).

A PT não apresentou diferença significativa nas camadas de solo analisadas no sistema de gotejamento (Tabela 3), porém foi evidenciada diferença na ausência de irrigação e na irrigação por microaspersão, os quais proporcionaram maior PT nas camadas superficiais de solo. Esses resultados estão em consonância aos obtidos por Prevedello et al. (2007), que encontraram maior PT na camada

superficial (0,0-0,1 m) em um Argissolo cultivado com *Eucalyptus grandis* e, ainda, concordando com resultados de Suzuki et al. (2012), que constataram maior PT na camada de 0,0-0,1 m em floresta, fato que pode estar associado ao maior teor de matéria orgânica e à concentração de raízes nessa camada. Resultado semelhante também ao encontrado por Wendling et al. (2012), os quais encontraram maior PT na camada de 0,0-0,1 m em solo cultivado com pinus, o que pode ser devido a camada espessa de serapilheira na camada superficial.

A quantificação da água disponível às plantas situa-se entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (KLEIN et al., 2006). Os valores de capacidade de água disponível (CAD) diferiram na camada de 0,3-0,4 m (Tabela 2); nesta camada o sistema de gotejamento foi igual estatisticamente a área sem irrigação e diferente do sistema de microaspersão, sendo o menor valor apresentado quando se utilizou o sistema de microaspersão.

Não foi observada diferença estatística significativa entre as camadas de solo avaliadas para a CAD (Tabela 3), em nenhum dos tratamentos, o que pode demonstrar uma homogeneidade do armazenamento de água nas camadas de solo. Resultado semelhante ao obtido por Prevedello (2012), que não obteve diferença significativa quanto a retenção de água entre os tratamentos com campo nativo e *Eucalyptus grandis*, porém, o tratamento com campo nativo resultou em maior retenção quando comparado com o *Eucalyptus grandis*, em todas as camadas de solo avaliadas, devido a maior quantidade de poros existentes no campo nativo.

Provavelmente, nesse trabalho, não houve diferença significativa entre as camadas de solo avaliadas para os atributos Ds e CAD, devido ao curto tempo de implantação do experimento e ao manejo de solo ser igual para toda a área. Com isso, deve-se dar continuidade do experimento para avaliar

as mudanças dos atributos ao longo do tempo, pois sabe-se que os processos de secagem e umedecimento do solo facilitam a recuperação da sua estrutura (CAVICHIOLO et al., 2005), e que o crescimento radicular pode proporcionar o rompimento mais uniforme de camadas compactadas, além de contribuir para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

As curvas de retenção de água no solo para os sistemas de irrigação na profundidade de 0,0-0,5 m estão apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3 e as curvas de água no solo para os híbridos de eucalipto nas Figuras 4 e 5. Os valores de umidade nos pontos de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, assim como os parâmetros (a , m e n), estimados pelo modelo de Van Genuchten (1980), estão expressos nas Tabelas 4 e 5.

As curvas de retenção demonstraram uma variação da umidade volumétrica de 0,21 a 0,24 $m^3 m^{-3}$ na capacidade de campo e, de 0,08 a 0,09 $m^3 m^{-3}$ no ponto de murcha permanente para os sistemas de irrigação e tratamento controle (sem irrigação) e, uma variação da umidade volumétrica para os híbridos de eucalipto de 0,22 a 0,23 $m^3 m^{-3}$ na capacidade de campo, valores semelhantes a 0,20 a 0,26 $m^3 m^{-3}$ encontrados por Prevedello (2012), para um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico cultivado com *E. grandis* e *E. saligna*, cujo autor encontrou valores para o ponto de murcha permanente entre 0,06 e 0,10 $m^3 m^{-3}$, semelhante ao obtido nesse estudo, o qual foi de 0,08 $m^3 m^{-3}$ para ambos os híbridos de eucalipto.

Observa-se menor valor de umidade na capacidade de campo no sistema de microaspersão (0,21 $m^3 m^{-3}$) para a profundidade de solo analisada (0,0-0,5 m), estando em consonância com os menores valores de PT e maiores valores de Ds, apresentando assim uma menor capacidade de retenção de água no solo no sistema de microaspersão.

Tabela 4. Umidades volumétricas ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na saturação (θ_s), capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}); parâmetros a , m e n gerados pelo modelo de Van Genuchten (1980) e o coeficiente de ajuste (R^2) entre o medido e o estimado pelo modelo.

Prof. (m)	Tratamento	Umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			Parâmetros de VAN GENUETHEN			Ajuste	
		θ_s	θ_{cc}	θ_{pmp}	a	θ_r	m	n	R^2
0,0-0,5	Gotejamento	0,34	0,24	0,08	0,0466	0	0,1795	1,2188	0,986
0,0-0,5	Microaspersão	0,32	0,21	0,09	0,0949	0,0005	0,1538	1,1818	0,991
0,0-0,5	Controle	0,33	0,22	0,08	0,0846	0,001	0,1751	1,2122	0,991

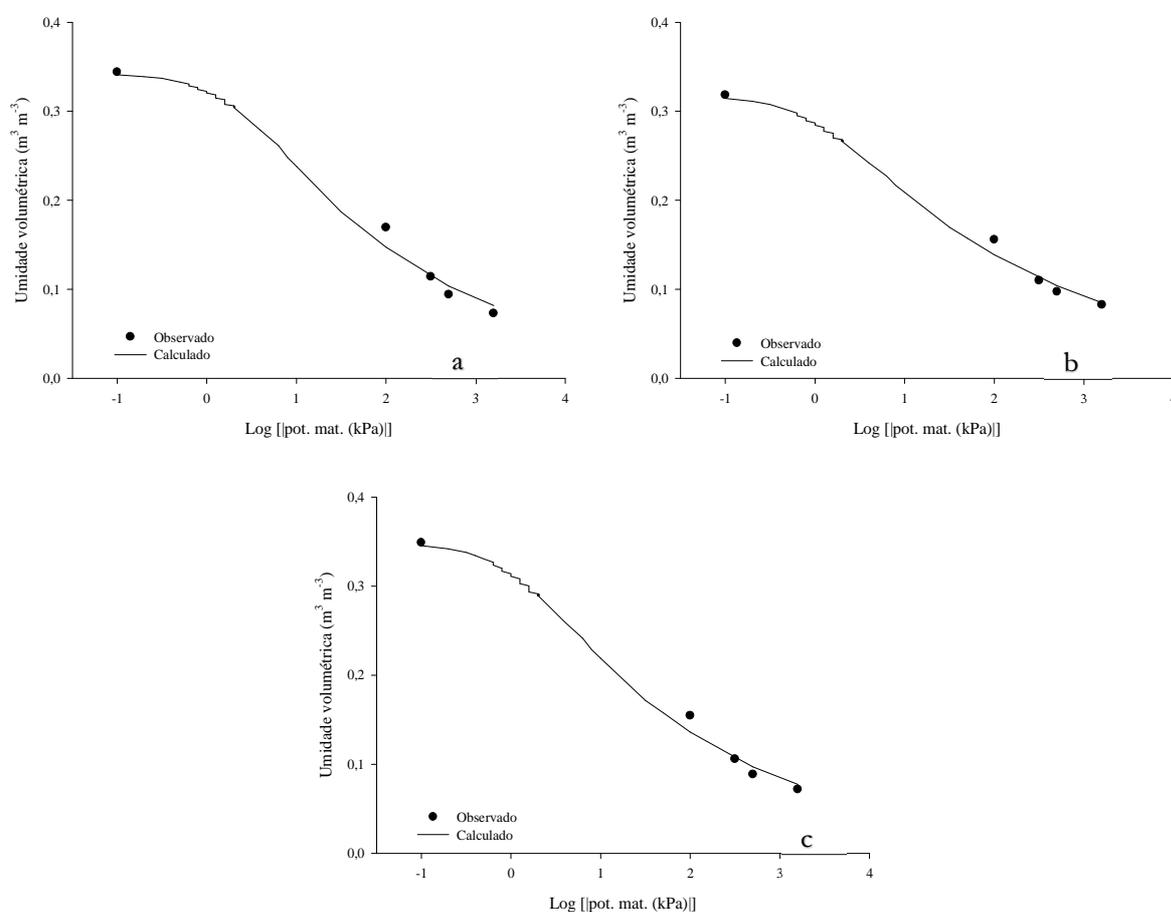


Figura 1. Curva de retenção de água do solo para a camada de 0,0-0,5 m de profundidade para solo cultivado com eucalipto irrigado por gotejamento (a), microaspersão (b) e tratamento controle (c).

Tabela 5. Umidades volumétricas ($m^3 m^{-3}$) na saturação (θ_s), capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}); parâmetros a , m e n gerados pelo modelo de Van Genuchten (1980) e o coeficiente de ajuste (R^2) entre o medido e o estimado pelo modelo.

Prof. (m)	Híbridos	Umidade ($m^3 m^{-3}$)			Parâmetros de VAN GENUCHTEN				Ajuste R^2
		θ_s	θ_{cc}	θ_{pmp}	α	θ_r	m	n	
0,0-0,5	Urograndis	0,33	0,22	0,08	0,0764	0,0002	0,1642	1,1965	0,990
0,0-0,5	Grancam	0,34	0,23	0,08	0,0658	0,0002	0,1757	1,2132	0,989

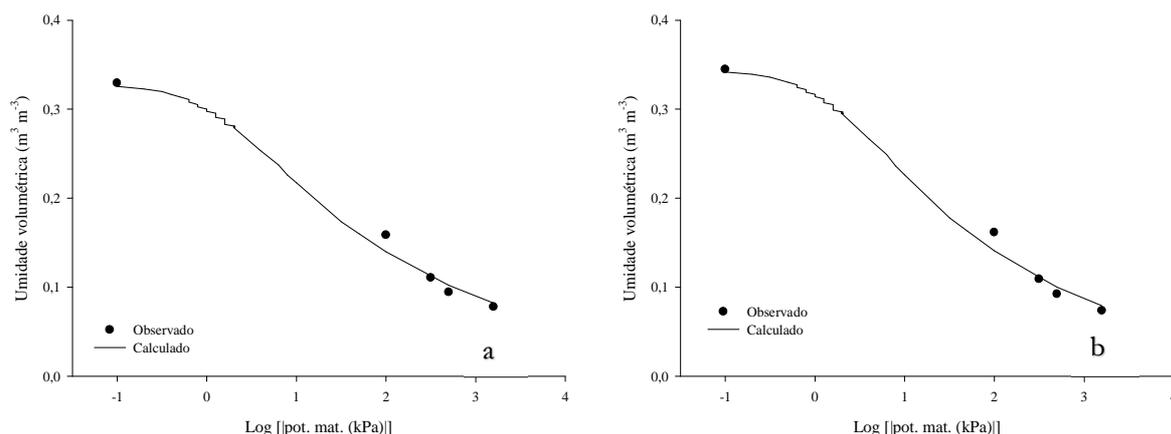


Figura 2. Curva de retenção de água do solo para a camada de 0,0-0,5 m de profundidade para solo cultivado com os híbridos de eucalipto Urograndis (a) e Grancam (b).

Conclusões

A irrigação (gotejamento e microaspersão) proporciona menor resistência do solo à penetração na camada superficial;

De um modo geral, os híbridos de eucalipto não influenciam nos atributos de solo analisados.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 301 p.
- ALVES, M.E.B. **Disponibilidade e demanda hídrica na produtividade da cultura do eucalipto**. Viçosa – MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 136 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BUSKE, T.C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. Santa Maria – RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 67 f.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2013.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.
- CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p. 1541-1549, 2011.
- CAVICHIOLO, S.R.; DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.4, p. 571-577, 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 edição revista. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011. 230p. (Documentos, 132).
- FERNANDES, A.L.T.; FLORÊNCIO, T.M.; FARIA, M.F. Análise biométrica de florestas irrigadas de eucalipto nos cinco anos iniciais de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p. 505-513, 2012.

- INGARAMO, O. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. Corunha: Universidade da Coruña, 2003. 298 f. Tese (Doutorado) – Universidade da Coruña, 2003.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold, 1990. 652p.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p. 959-964, 2000.
- KLEIN, V.A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível de um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p. 646-650, 2006.
- LOPES, J.L.W.; GUERRINI, I.A.; SAAD, J.C.C.; SILVA, M.R. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 97-106, 2005.
- LOPES, A.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; ALVES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, G.Q. Distribution of the root system of peach palm under drip irrigation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.36, n.3, p. 317-321, 2014.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um latossolo distrófico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v.8, n.1, p. 32-41, 2002.
- MISRA, R. K; GIBBONS, A. K. Growth and morphology of eucalypt seedling-roots, in relation to soil strength from compaction. **Plant and Soil**, Netherlands, v.182, n.1, p.1-11, 1996.
- PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em argissolo sob eucalipto e campo nativo**. Santa Maria – RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2012.
- PREVEDELLO, J.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; BRAGA, F.V.A.; GUBIANI, P.I.; CORCINI, A.L.M. **Efeito do manejo do solo nas propriedades físicas e no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis***. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Gramado, Rio Grande do Sul. 2007.
- PREVEDELLO, J.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; VOGELMANN, E.S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J.M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em Argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.1, p. 129-138, 2013.
- REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, M.A.; GOMES, A.N.; OLIVEIRA, C.H.R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp. submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.6, p.921-931, 2006.
- RODRIGUES, V.A.; FENNER, P.T.; SANSIGOLO, C.A.; MORAES, M.H. Estimativa da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis*. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.4, p. 523-533, 2012.
- SANTOS, J.D. **Alterações das propriedades físicas e químicas do solo em função de diferentes sistemas agrícolas – São José da Lapa / MG**. Belo Horizonte – MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- SCHIAVO, J.A.; PEREIRA, M.G.; MIRANDA, L.P.M de; DIAS NETO, A.H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p. 881-889, 2010.
- SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p. 27-34, 2003.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.3, p.229-235, 1991.
- SUZUKI, L.E.A.S.; LIMA, C.L.R. de; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; PILLON, C.N. Condição estrutural de um argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.4, p. 833-843, 2012.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p. 925-933, 2010.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JUNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p. 18-22, 1966.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, p.892-898, 1980.
- WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M.; BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p. 256-265, 2012.
- WINK, C. **Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* sp. implantados em campo nativo**. Santa Maria - RS: Universidade Federam de Santa Maria, 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2009.