

## Alterações físicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho

Wander Luis Barbosa Borges<sup>1</sup>, Isabela Malaquias Dalto de Souza<sup>2</sup>,  
Marco Eustáquio de Sá<sup>3</sup>, Marlene Cristina Alves<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Agronômico de Campinas - IAC, Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, Rod. Péricles Beline, Km 121 + 6 Km (terra), CEP 15500-970, Votuporanga-SP, Brasil. Caixa Postal 61. E-mail: wanderborges@iac.sp.gov.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Rod. Anhanguera, Km 174, CEP 13604-900, Araras-SP, Brasil. E-mail: isadalto@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Av. Brasil, 56, Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil. E-mail: mesa@agr.feis.unesp.br; mcalthes@agr.feis.unesp.br

### RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes coberturas, cultivadas em rotação com soja e milho, sobre os atributos físicos de dois Latossolos. Os experimentos foram instalados em Votuporanga, SP e Selvíria, MS, em março de 2008, após o preparo convencional do solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, utilizando as seguintes plantas de cobertura em diferentes quantidades de sementes ha<sup>-1</sup>: *Sorghum bicolor*, *Pennisetum americanum*, *S. sudanense*, híbrido de *S. bicolor* com *S. sudanense*, *Urochloa ruziziensis* e um tratamento controle com vegetação espontânea. Avaliou-se a produtividade de matéria seca das diferentes coberturas, e a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m. As diferentes plantas de coberturas e as quantidades de sementes utilizadas para grãos, sementes e forragens após dois anos não causaram efeitos em alguns atributos físicos dos dois Latossolos estudados.

**Palavras-chave:** densidade do solo, manejo sustentável do solo, porosidade do solo

### *Physical changes in Oxisols cultivated with cover crops in rotation with soybean and corn*

### ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of different covers, grown in rotation with soybean and corn on the physical attributes of two Oxisols. The experiments were installed in Votuporanga, SP, Brazil and Selvíria, MS, Brazil in March 2008, after conventional tillage. The experimental design was a randomized complete block with four replications, using the following cover crops at different amounts of seeds: *Sorghum bicolor*, *Pennisetum americanum*, *S. sudanense*, hybrid of *S. bicolor* with *S. sudanense*, *Urochloa ruziziensis* and a control with spontaneous vegetation. We evaluated the dry matter yield of different covers, and macroporosity, microporosity, total porosity and bulk density, in the layers of 0-0.05, 0.05-0.20 and 0.20-0.40 m. It concludes that, different covers plants and seed amounts used for grains, seeds and forage after two years did not cause effects on some soil physical properties of the two Oxisols.

**Key words:** bulk density, sustainable soil management, soil porosity

## Introdução

A agricultura brasileira conseguiu nos últimos anos um grande avanço tecnológico, que tem resultado em aumento de produtividade e melhoria nas condições ambientais.

O sistema Semeadura Direta, sistema conservacionista de manejo do solo, que mantém os resíduos culturais em sua superfície, constitui uma importante técnica para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos manejados convencionalmente e de áreas degradadas (Bertin et al., 2005; Caires et al., 2006). No entanto, a diminuição das operações agrícolas não é suficiente para evitar a compactação ou para minimizá-la (Gonçalves et al., 2006).

O uso do solo tem sido intensivo, realizando-se mais de um cultivo ao ano e evitando deixá-lo sem proteção de resíduos culturais ou da própria planta. Sabe-se que a semeadura direta apresenta inúmeras vantagens em relação aos manejos com revolvimento do solo, porém ainda há dúvidas sobre a melhor rotação ou sucessão e quais culturas apresentam maior benefício. Têm-se, por isso, buscado culturas para uso na rotação, as quais proporcionem benefícios, principalmente às culturas produtoras de grãos e ao solo (Suzuki et al., 2007).

A densidade do solo e seu espaço poroso podem ser utilizados como indicadores da sua qualidade de acordo com o manejo a que o mesmo está sendo submetido. Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não destes sistemas de manejo do solo quando se objetiva estabilidade estrutural (Secco et al., 2005).

A densidade do solo em ambientes não cultivados é um atributo físico que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (Hamza & Anderson, 2005).

Argenton et al. (2005) verificaram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$  e Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, constatou que a densidade limitante foi de  $1,33 \text{ kg dm}^{-3}$ .

O caminho natural de crescimento das raízes no solo é pelos macroporos ou espaços vazios que ocorrem entre os agregados. Nos solos em que não ocorre a compactação, esses macroporos quase sempre são interligados entre si (Richart et al. 2005).

Diferentes operações de preparo podem alterar os atributos físicos do solo e essas alterações podem afetar a distribuição, a quantidade e a morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea das plantas e, consequentemente, na produtividade das culturas (Fernandes et al., 2007). Portanto, a escolha de plantas de cobertura que possam eficientemente causar alterações positivas para as condições dos solos, sua preservação e estabelecimento das culturas é fundamental para a sustentabilidade agrícola.

A interação das plantas de cobertura com os atributos físico-hídricos do solo e a consequente produtividade das culturas está relacionada às características intrínsecas de cada espécie, ao manejo dos resíduos culturais e às condições edafoclimáticas de cada região (Sousa Neto et al., 2008).

Segundo Moreira et al. (2009), diferentes plantas de cobertura influenciam, de forma diferenciada, os atributos físicos do solo, como: estabilidade de agregados, diâmetro de poros e densidade do solo.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de cinco plantas de cobertura, utilizadas para produção de grãos, sementes e forragem, em diferentes quantidades de sementes por hectare, e pela vegetação espontânea, cultivadas em rotação com as culturas da soja e do milho, sobre os atributos físicos de dois Latossolos.

## Material e Métodos

Os experimentos foram instalados em março de 2008, no Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agronômico - IAC, estabelecido no município de Votuporanga, SP a  $20^{\circ}20'S$  de Latitude,  $49^{\circ}58'W$  de Longitude e 510 m de altitude, em um Latossolo Vermelho eutrófico de textura arenosa (Embrapa, 2013), e na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria, MS, na Seção de Produção Vegetal, com coordenadas geográficas: Latitude  $20^{\circ}25'S$  e Longitude  $52^{\circ}21'W$ , e altitude média de 335 m, em um Latossolo Vermelho distroférrico típico de textura argilosa (Embrapa, 2013).

O clima da região Noroeste Paulista, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

No início do mês de maio de 2008, na bordadura dos experimentos, realizou-se amostragens de solo deformadas, para fins de análises granulométrica nas camadas de 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m, utilizando-se um trado de rosca e retirando-se dez amostras simples de cada local, as quais originaram uma amostra composta de cada local, que apresentaram as seguintes quantidades de areia, silte e argila para Votuporanga e Selvíria, respectivamente: 865, 10 e  $125 \text{ g kg}^{-1}$  e 460, 39 e  $501 \text{ g kg}^{-1}$ , na camada de 0,05-0,20 m, e 855, 5 e  $140 \text{ g kg}^{-1}$  e 387, 38 e  $575 \text{ g kg}^{-1}$ , na camada de 0,20-0,40 m.

Também no início do mês de maio de 2008, se realizou amostragens de solo indeformadas, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m, para determinação de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, utilizando-se cinco plantas de cobertura, com três diferentes quantidades de sementes  $\text{ha}^{-1}$  de cada planta de cobertura e um tratamento controle com vegetação espontânea, totalizando dezesseis tratamentos, distribuídos ao acaso em parcelas de 2,7 m de largura por 10 m de comprimento cada.

Foram utilizadas as seguintes plantas de cobertura com as seguintes quantidades de sementes: sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar DKB 550, com 85% de germinação: 6, 7 e  $8 \text{ kg ha}^{-1}$ ; milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leek) cultivar BN 2, com 60% de germinação: 10, 15 e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ; capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) com valor cultural (VC) de 43,5%, sendo corrigido para 100%: 12, 15 e  $18 \text{ kg ha}^{-1}$ ; híbrido de sorgo com capim sudão (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) com *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf)

**Tabela 1.** Atributos físicos do solo iniciais, avaliados nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m, em Votuporanga, SP e Selvíria, MS, 2008

Camada (m)	Votuporanga, SP				Selvíria, MS			
	M	$\mu$	PT	DS	M	$\mu$	PT	DS
	$m^3 m^{-3}$			$kg dm^{-3}$	$m^3 m^{-3}$			$kg dm^{-3}$
0-0,05	0,07	0,26	0,33	1,65	0,18	0,34	0,52	1,20
0,05-0,20	0,06	0,25	0,31	1,72	0,05	0,35	0,40	1,55
0,20-0,40	0,08	0,28	0,35	1,60	0,08	0,37	0,45	1,42

M = macroporosidade;  $\mu$  = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

cultivar Cover Crop, com germinação de 74%, sendo acrescido 10%: 8, 9 e 10 kg ha<sup>-1</sup> e *Urochloa ruziziensis* (Syn. *Brachiaria ruziziensis*) (cultivar comum), com VC de 50,7%, sendo acrescido 10%: 8, 12 e 16 kg ha<sup>-1</sup>.

As plantas de cobertura foram semeadas em 24/03/2008 em Votuporanga, mecanicamente, com semeadora de parcelas, e em 26/03/2008 em Selvíria, manualmente, abrindo-se sulcos de plantio com enxadas adaptadas, distribuindo as sementes no sulco, e depois tampando o sulco com enxadas adaptadas.

Foi realizado o corte das panículas do *S. bicolor*, do *P. americanum* e do *S. sudanense*, aos 115, 110 e 125 dias após a semeadura, respectivamente, simulando-se a colheita de grãos e/ou sementes. O híbrido e a *U. ruziziensis* foram cortados a 0,20 m do solo e retirados da área, aos 95 e 145 dias após a semeadura, respectivamente, simulando-se ensilagem do híbrido e fenação da *U. ruziziensis*. No tratamento controle, deixaram-se as plantas daninhas desenvolverem-se. No final do mês de agosto de 2008, todas as parcelas foram roçadas.

No segundo ano de estudo, a semeadura das plantas de cobertura foi realizada nos dias 13/04/2009, em Selvíria, e 18/05/2009, em Votuporanga, manualmente, sobre a palhada de soja cultivada anteriormente, nas mesmas parcelas utilizadas no ano anterior. As adubações foram novamente realizadas mecanicamente com semeadoras de grãos em todas as parcelas, utilizando-se o fertilizante formulado 08-28-16, nas doses de 300 kg ha<sup>-1</sup> e 275 kg ha<sup>-1</sup> em Votuporanga e Selvíria, respectivamente.

O manejo das plantas de cobertura e do tratamento controle foi o mesmo do ano anterior. As plantas de cobertura foram roçadas no final do mês de julho de 2009, em Selvíria, e em setembro, em Votuporanga.

As diferentes quantidades de sementes adotadas foram baseadas em recomendações dos detentores das sementes e de diferentes trabalhos da literatura.

Os espaçamentos entre linhas utilizados foram: *S. bicolor*: 0,45 m; *P. americanum*: 0,225 m; *S. sudanense*: 0,225 m; híbrido de sorgo com capim sudão: 0,45 m e *U. ruziziensis*: 0,225 m.

O tratamento controle com vegetação espontânea era composto principalmente por *Cenchrus echinatus* L. e *Digitaria horizontalis* Willd, nos dois locais. As parcelas com o tratamento controle foram deixadas em pousio, após o preparo do solo, e após o cultivo da cultura da soja, no entanto receberam os mesmos tratos culturais das plantas de cobertura.

O manejo do solo e das culturas da soja, do milho e das plantas de cobertura e os dados climáticos de precipitação pluvial (mm) e temperatura média mensal (°C), em Votuporanga e Ilha Solteira, no período estudado, entre março de 2008 a abril de 2010, estão apresentados em Borges et al. (2015).

Após a colheita do milho realizou-se nova amostragem de solo indeformada para determinação de micro, macro e

porosidade total e densidade do solo, retirando-se dois pontos por parcela, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m. As amostras foram coletadas com anéis de volume de 100 cm<sup>3</sup>, utilizados nas determinações de densidade de solo, pelo método do anel volumétrico, e de macro, micro e porosidade total, pelo método da mesa de tensão (Embrapa, 1997).

As avaliações de fitomassa das coberturas foram realizadas em 2008 e 2009, no momento da colheita de grãos (*S. bicolor*), da colheita de sementes (*P. americanum*, *S. sudanense*) e do corte (híbrido e *U. ruziziensis*), e antes da roçada no tratamento controle, nos dois anos de estudo, na pré-semeadura da soja, em 28/10/2008 e 06/11/2008, em Selvíria e Votuporanga, respectivamente, e na pré-semeadura do milho, em 04/11/2009 e 16/11/2009, em Selvíria e Votuporanga, respectivamente, retirando-se duas amostras de 0,5 x 0,5 m por parcela, as quais foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa termoeletrica regulada a 65-70°C por 72 horas. Na Tabela 2 constam as produtividades acumuladas de matéria seca das diferentes coberturas, obtidas no momento do corte/colheita das coberturas e na pré-semeadura da cultura da soja e do milho.

Os dados foram submetidos ao teste F e realizado o teste de Tukey (p<0,05) para comparação das médias.

## Resultados e Discussão

O experimento caracterizou-se pela fase inicial de implantação do sistema de semeadura direta, com preparo inicial do sistema por meio de semeadura convencional e, estudo do efeito das plantas de cobertura após dois anos.

Para os dois Latossolos apenas para o de Votuporanga, houve diferença (p<0,05) entre as coberturas em relação à porosidade total, na camada de 0-0,05 m, com a quantidade de 7 kg ha<sup>-1</sup> de sementes do *P. americanum* diferindo da quantidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes do *S. bicolor* (Tabela 3), no entanto, as diferentes quantidades de sementes, de cada planta de cobertura, não propiciaram diferenças entre si. Não houve diferenças (p<0,05) em relação à macro e microporosidade e densidade do solo em todas as camadas avaliadas (Tabelas 3, 4 e 5), corroborando com Fabian (2009) que também não verificou diferenças significativas entre as plantas de cobertura e o pousio e citou que é possível que isso se deva ao tempo que a área se encontra sob sistema de semeadura direta.

Em Selvíria, as diferentes coberturas não propiciaram diferenças em relação aos atributos físicos do solo (Tabelas 6, 7 e 8), corroborando com Cardoso et al. (2013), que não verificaram diferenças antes da semeadura e 27 dias após o corte das plantas de cobertura em relação à densidade do solo, micro, macro e porosidade total. Por outro lado, Andrade et al. (2009) constataram diferença entre as coberturas, em relação à macroporosidade, na camada superficial, 0-0,10 m.

**Tabela 2.** Matéria seca acumulada da parte aérea das plantas de cobertura e do tratamento controle, em Votuporanga, SP e Selvíria, MS, em 2008 e 2009

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	Votuporanga		Selvíria	
		2008		2009	
Mg ha <sup>-1</sup>					
<i>S. bicolor</i>	6	17,5	14,3	10,5	22,7
<i>S. bicolor</i>	7	20,0	16,0	9,5	21,7
<i>S. bicolor</i>	8	19,8	14,9	10,4	21,6
<i>P. americanum</i>	10	10,3	9,0	8,3	11,6
<i>P. americanum</i>	15	9,8	9,5	9,1	12,4
<i>P. americanum</i>	20	11,0	8,3	9,0	11,6
<i>S. sudanense</i>	12	19,5	14,6	22,2	21,7
<i>S. sudanense</i>	15	18,3	14,3	21,5	30,3
<i>S. sudanense</i>	18	19,1	15,5	22,0	28,2
Híbrido	8	26,1	16,3	17,4	28,3
Híbrido	9	31,4	14,2	14,2	30,4
Híbrido	10	28,5	16,6	14,5	27,8
<i>U. ruziziensis</i>	8	15,5	16,8	10,9	22,9
<i>U. ruziziensis</i>	12	15,7	17,0	12,0	24,6
<i>U. ruziziensis</i>	16	14,9	14,9	11,6	23,7
Controle	-	6,1	6,8	5,0	6,9

**Tabela 3.** Atributos físicos do solo sob diferentes coberturas na camada de 0-0,05 m, em Votuporanga, SP, 2010

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	M	μ		PT	DS
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>S. bicolor</i>	6	0,06	0,27	0,33	ab	1,64
<i>S. bicolor</i>	7	0,04	0,26	0,28	b	1,69
<i>S. bicolor</i>	8	0,05	0,25	0,30	ab	1,67
<i>P. americanum</i>	10	0,05	0,26	0,31	ab	1,63
<i>P. americanum</i>	15	0,06	0,29	0,36	a	1,76
<i>P. americanum</i>	20	0,05	0,27	0,32	ab	1,65
<i>S. sudanense</i>	12	0,05	0,28	0,33	ab	1,59
<i>S. sudanense</i>	15	0,03	0,38	0,31	ab	1,64
<i>S. sudanense</i>	18	0,03	0,28	0,31	ab	1,66
Híbrido	8	0,04	0,25	0,34	ab	1,62
Híbrido	9	0,05	0,27	0,33	ab	1,63
Híbrido	10	0,05	0,26	0,31	ab	1,69
<i>U. ruziziensis</i>	8	0,06	0,29	0,35	ab	1,57
<i>U. ruziziensis</i>	12	0,05	0,28	0,33	ab	1,60
<i>U. ruziziensis</i>	16	0,05	0,29	0,34	ab	1,61
Controle	-	0,05	0,26	0,30	ab	1,63
DMS		0,06	0,16	0,07		0,19
CV (%)		46,97	22,88	8,04		4,48

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). M = macroporosidade; μ = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

**Tabela 4.** Atributos físicos do solo sob diferentes coberturas na camada de 0,05-0,20 m, em Votuporanga, SP, 2010

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	M	μ		PT	DS
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>S. bicolor</i>	6	0,05	0,24	0,29		1,74
<i>S. bicolor</i>	7	0,07	0,25	0,33		1,70
<i>S. bicolor</i>	8	0,04	0,24	0,28		1,77
<i>P. americanum</i>	10	0,06	0,18	0,22		1,74
<i>P. americanum</i>	15	0,06	0,22	0,29		1,74
<i>P. americanum</i>	20	0,06	0,25	0,31		1,69
<i>S. sudanense</i>	12	0,05	0,22	0,25		1,70
<i>S. sudanense</i>	15	0,06	0,19	0,23		1,75
<i>S. sudanense</i>	18	0,06	0,25	0,31		1,68
Híbrido	8	0,07	0,25	0,32		1,74
Híbrido	9	0,03	0,29	0,32		1,69
Híbrido	10	0,06	0,25	0,29		1,78
<i>U. ruziziensis</i>	8	0,06	0,24	0,30		1,72
<i>U. ruziziensis</i>	12	0,05	0,27	0,32		1,68
<i>U. ruziziensis</i>	16	0,06	0,24	0,29		1,72
Controle	-	0,05	0,23	0,28		1,55
DMS		0,05	0,11	0,13		0,26
CV (%)		37,96	18,86	18,03		5,91

M = macroporosidade; μ = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

**Tabela 5.** Atributos físicos do solo sob diferentes coberturas na camada de 0,20-0,40 m, em Votuporanga, SP, 2010

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	M	μ		PT	DS
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>S. bicolor</i>	6	0,08	0,26	0,33		1,62
<i>S. bicolor</i>	7	0,06	0,26	0,32		1,69
<i>S. bicolor</i>	8	0,05	0,27	0,32		1,69
<i>P. americanum</i>	10	0,07	0,25	0,32		1,68
<i>P. americanum</i>	15	0,03	0,29	0,32		1,68
<i>P. americanum</i>	20	0,06	0,26	0,31		1,68
<i>S. sudanense</i>	12	0,06	0,27	0,33		1,65
<i>S. sudanense</i>	15	0,05	0,26	0,32		1,67
<i>S. sudanense</i>	18	0,07	0,24	0,31		1,67
Híbrido	8	0,06	0,25	0,32		1,67
Híbrido	9	0,08	0,27	0,34		1,65
Híbrido	10	0,06	0,27	0,33		2,03
<i>U. ruziziensis</i>	8	0,07	0,25	0,32		1,69
<i>U. ruziziensis</i>	12	0,06	0,26	0,32		1,67
<i>U. ruziziensis</i>	16	0,08	0,25	0,32		1,67
Controle	-	0,05	0,26	0,31		1,66
DMS		0,07	0,07	0,04		0,07
CV (%)		42,60	10,06	4,54		11,92

M = macroporosidade; μ = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

**Tabela 6.** Atributos físicos do solo sob diferentes coberturas na camada de 0-0,05 m, em Selvíria, MS, 2010

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	M	μ		PT	DS
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>S. bicolor</i>	6	0,05	0,36	0,41		1,56
<i>S. bicolor</i>	7	0,06	0,35	0,41		1,53
<i>S. bicolor</i>	8	0,07	0,37	0,44		1,46
<i>P. americanum</i>	10	0,07	0,35	0,41		1,55
<i>P. americanum</i>	15	0,09	0,35	0,44		1,46
<i>P. americanum</i>	20	0,06	0,35	0,41		1,59
<i>S. sudanense</i>	12	0,07	0,34	0,42		1,50
<i>S. sudanense</i>	15	0,06	0,35	0,40		1,59
<i>S. sudanense</i>	18	0,07	0,35	0,42		1,50
Híbrido	8	0,11	0,32	0,42		1,58
Híbrido	9	0,10	0,32	0,42		1,54
Híbrido	10	0,11	0,32	0,44		1,51
<i>U. ruziziensis</i>	8	0,07	0,36	0,43		1,49
<i>U. ruziziensis</i>	12	0,07	0,38	0,45		1,52
<i>U. ruziziensis</i>	16	0,06	0,38	0,44		1,51
Controle	-	0,08	0,34	0,42		1,50
DMS		0,09	0,08	0,08		0,23
CV (%)		47,83	8,77	7,67		5,86

M = macroporosidade; μ = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

**Tabela 7.** Atributos físicos do solo sob diferentes coberturas na camada de 0,05-0,20 m, em Selvíria, MS, 2010

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	M	$\mu$	PT	DS kg dm <sup>-3</sup>
		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>S. bicolor</i>	6	0,07	0,33	0,40	1,49
<i>S. bicolor</i>	7	0,05	0,33	0,38	1,63
<i>S. bicolor</i>	8	0,04	0,35	0,40	1,54
<i>P. americanum</i>	10	0,06	0,32	0,48	1,57
<i>P. americanum</i>	15	0,05	0,33	0,38	1,55
<i>P. americanum</i>	20	0,06	0,31	0,38	1,53
<i>S. sudanense</i>	12	0,05	0,30	0,37	1,57
<i>S. sudanense</i>	15	0,05	0,32	0,36	1,59
<i>S. sudanense</i>	18	0,07	0,26	0,39	1,49
Híbrido	8	0,04	0,34	0,38	1,55
Híbrido	9	0,02	0,30	0,36	1,57
Híbrido	10	0,04	0,35	0,39	1,55
<i>U. ruziziensis</i>	8	0,06	0,32	0,38	1,53
<i>U. ruziziensis</i>	12	0,04	0,32	0,36	1,58
<i>U. ruziziensis</i>	16	0,05	0,34	0,39	1,54
Controle	-	0,04	0,36	0,40	1,52
DMS		0,07	0,12	0,15	0,18
CV (%)		59,98	14,52	14,68	4,53

M = macroporosidade;  $\mu$  = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

**Tabela 8.** Atributos físicos do solo sob diferentes coberturas na camada de 0,20-0,40 m, em Selvíria, MS, 2010

Coberturas	Quantidade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	M	$\mu$	PT	DS kg dm <sup>-3</sup>
		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>S. bicolor</i>	6	0,07	0,35	0,40	1,48
<i>S. bicolor</i>	7	0,05	0,36	0,41	1,47
<i>S. bicolor</i>	8	0,05	0,53	0,40	1,52
<i>P. americanum</i>	10	0,08	0,33	0,41	1,49
<i>P. americanum</i>	15	0,06	0,36	0,42	1,42
<i>P. americanum</i>	20	0,06	0,35	0,40	1,47
<i>S. sudanense</i>	12	0,06	0,34	0,41	1,50
<i>S. sudanense</i>	15	0,04	0,34	0,39	1,55
<i>S. sudanense</i>	18	0,06	0,34	0,40	1,51
Híbrido	8	0,05	0,36	0,41	1,44
Híbrido	9	0,06	0,35	0,41	1,46
Híbrido	10	0,05	0,36	0,41	1,43
<i>U. ruziziensis</i>	8	0,06	0,35	0,41	1,46
<i>U. ruziziensis</i>	12	0,05	0,35	0,40	1,47
<i>U. ruziziensis</i>	16	0,04	0,37	0,40	1,44
Controle	-	0,07	0,38	0,40	1,43
DMS		0,07	0,11	0,08	0,20
CV (%)		45,69	11,81	7,78	5,34

M = macroporosidade;  $\mu$  = microporosidade; PT = porosidade total; DS = densidade do solo.

Em relação aos valores iniciais, nos dois locais, todas as coberturas propiciaram redução na macroporosidade, nas camadas de 0-0,05 e 0,20-0,40 m, e redução na porosidade total, na camada de 0,20-0,40 m.

Em Votuporanga, todas as coberturas também propiciaram elevação na densidade do solo, na camada de 0,20-0,40 m, e, em Selvíria, também propiciaram redução na porosidade total e elevação da densidade do solo, na camada de 0-0,05 m.

De acordo com Silveira et al. (2008), o sistema Semente Direta contínuo promove aumentos na densidade do solo e na microporosidade e diminuições na macroporosidade e porosidade total do solo, entretanto, a densidade tende a diminuir com o passar do tempo quando se utilizam plantas de cobertura do solo no inverno.

Valores de macroporos inferiores a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> constituem limitação ao crescimento radicular (Vomocil & Flocker, 1961), porém, em Votuporanga, nas três camadas avaliadas,

nenhuma cobertura propiciou macroporosidade superior a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, no entanto, em Selvíria, na camada de 0-0,05 m, as três quantidades de sementes do híbrido propiciaram macroporosidade variando de 0,10 a 0,11 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Vale ressaltar que não houve diferença estatística entre as plantas de cobertura bem como entre as quantidades de sementes. O valor de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> é um indicador de degradação do solo, cujo valor abaixo deste pode causar restrições ao desenvolvimento radicular devido à baixa aeração e aumento da resistência à penetração do solo.

Azevedo & Dalmolin (2006) preconizaram níveis de microporosidade acima de 0,33 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e valores de 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> como limite inferior de porosidade total, para o solo agrícola ideal, no entanto, à medida que a vegetação natural é retirada e o solo manejado com objetivo de produtividade de grãos, fibras, entre outros, há alterações nos seus atributos. Cada tipo de solo tem a sua capacidade de suporte, portanto, as alterações dependem da constituição de cada um. Os Latossolos estudados apresentam classes texturais diferentes, o de Votuporanga é franco arenoso e o de Selvíria argiloso. Portanto, isto explica o fato de primeiro ter microporosidade abaixo de 0,33 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Também relatam Bonini et al. (2015) que a microporosidade do solo é um atributo pouco influenciado pelo manejo do solo; com degradação ou melhoria da sua estrutura a macroporosidade é afetada diretamente, a microporosidade altera pouco, pois esta está mais relacionada a sua textura.

As diferentes coberturas não diferiram entre si ( $p < 0,05$ ) em relação à densidade do solo, corroborando com Spera et al. (2009). No entanto, em Votuporanga, na camada superficial (0-0,05 m), somente a quantidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes do *P. americanum* apresentou densidade superior a 1,7 kg dm<sup>-3</sup>, considerada crítica segundo Reichert et al. (2003), e as três quantidades de sementes do *S. sudanense*, do híbrido e da *U. ruziziensis* e a quantidade de 8 kg ha<sup>-1</sup> de sementes do *S. bicolor* e as quantidades de 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes do *P. americanum* propiciaram menores valores de densidade do solo na camada superficial, corroborando com Sousa Neto et al. (2008), que também verificaram menores valores na camada de 0-0,075 m, demonstrando o efeito benéfico das plantas de cobertura no sistema de semeadura direta, na camada superficial do solo, para esta localidade. Outro fator que também pode ter contribuído com os menores valores de densidade do solo na camada superficial, segundo Wendling et al. (2005), são os sucessivos ciclos de umidificação e secagem, mais atuantes na camada superficial, que promovem a formação de agregados maiores e, conseqüentemente, menor densidade do solo.

De forma geral as plantas de cobertura não causaram efeitos nos atributos físicos estudados para os dois Latossolos, resultados que corroboram com Silva et al. (2009). Os autores estudaram cinco plantas de cobertura durante cinco anos, em Latossolo de cerrado, e verificaram a ausência de efeitos mais marcantes dos tratamentos avaliados sobre a qualidade física do solo, mesmo após cinco anos de uso e manejo, o que sugere sua resistência e, ou, resiliência às práticas agrícolas adotadas, porém, observaram efeito positivo com o tempo sobre as práticas do uso de plantas de cobertura ou pousio. Resultados semelhantes também foram verificados por Alves & Suzuki (2004) e Kitamura et al. (2008), e segundo esses autores, os

atributos físicos de solos de Cerrado respondem lentamente à alterações positivas com plantas de cobertura.

Além do efeito direto das práticas agrícolas sobre os indicadores físicos, considerações acerca da matéria orgânica do solo também são relevantes nesse tipo de estudo, já que perdas e acréscimos desse constituinte orgânico podem ser influenciadas pelas práticas de manejo do solo, assim como a escolha das espécies vegetais para cobertura do solo (Manna et al., 2005; Silva et al., 2009). O incremento de matéria orgânica no solo atua positivamente no processo de recuperação, quer seja por fornecer nutrientes a partir da mineralização e também na melhor estruturação do solo (qualidade física) que vai interferir na porosidade e aeração do solo (Bonini et al., 2015). O tempo de ação das raízes e do material orgânico incorporado é importante no processo de alterações da estrutura do solo e consequentemente nos atributos físicos estudados.

## Conclusões

As diferentes plantas de coberturas e quantidades de sementes utilizadas para grãos, sementes e forragens após dois anos não causaram efeitos em alguns atributos físicos dos dois Latossolos estudados.

## Agradecimentos

À Fundação AGRISUS – Agricultura Sustentável pelo apoio financeiro para instalação e condução da pesquisa científica.

Ao Prof. Dr. Walter Veriano Valério Filho, do Departamento de Matemática da FEIS/UNESP, pela colaboração nas análises estatísticas, e a todos os funcionários do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Seringueira e Sistemas Agroflorestais, do Instituto Agrônomo - IAC, e da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP, pelo apoio na instalação e condução dos campos experimentais.

## Literatura Citada

- Alves, M.C.; Suzuki, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.26, n.1, p.27-34, 2004. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v26i1.1953>>.
- Andrade, R.S.; Stone, L.F.; Silveira, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.4, p.411-418, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>>.
- Argenton J.; Albuquerque, J.A.; Bayer, C.; Wildner, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.425-435, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300013>>.
- Azevedo, A.C.; Dalmolin, R.S.D. Solos e ambiente: uma introdução. 2. ed. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100 p.
- Bertin, E.G.; Andrioli, I.; Centurion, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.27, n.3, p.379-386, 2005. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v27i3.1393>>.
- Bonini, C.S.B.; Alves, M.C.; Montanari, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. *Agrária*, v.10, n.1, p.34-42, 2015. <<http://dx.doi.org/10.5039/ agraria.v10i1a4513>>.
- Borges, W.L.B.; Freitas, R.S.; Mateus, G.P.; Sá, M.E.; Alves, M.C. Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. *Ciência Rural*, v.45, n.5, p.799-805, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131018>>.
- Caires, E.F.; Garbuio, F.J.; Alleoni, F.; Cambri, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia-preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.1, p.87-98, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100010>>.
- Cardoso, D.P.; Silva, M.L.N.; Carvalho, G.J., Freitas, D.A.F.; Avanzi, J.C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. *Agrária*, v.8, n.3, p.375-382, 2013. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i3a2421>>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Fabian, A.J. Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2009. 83p. Tese Doutorado. <<http://hdl.handle.net/11449/105289>>. 03 Nov. 2015.
- Fernandes, F.C.S.; Alves, M.C.; Silva, M.M. Produtividade de culturas e atributos físicos de um latossolo afetados pelo sistema de manejo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p. 295-306, 2007. <<http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v6n3p297-308>>.
- Gonçalves, W.G.; Jimenez, R.L.; Araújo Filho, J.V.; Assis, R.L.; Silva, G.P.; Pires, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.1, p.67-75, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100008>>.
- Hamza, M.A.; Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, v.82, n.2, p.121-145, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>>.
- Kitamura, A.E.; Alves, M.C.; Suzuki, L.G.A.S.; Gonzalez, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.405-416, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100038>>.
- Klein, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.5, n.1, p.26-32, 2006. <<http://200.19.105.203/index.php/agroveterinaria/article/view/5379/3584>>. 03 Nov. 2015.

- Manna M.C.; Swarup, A.; Wanjari, R.H.; Ravankar, H.N.; Mishra, B.; Saha, M.N.; Singh, Y.V.S.; Sahi, D.K.; Sarap, P.A. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crops Research*, v.93, n.2, p.264-280, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.10.006>>.
- Moreira, J.A.A.; Aguiar, R.A.; Stone, L.F.; Bernardes, T.G.; Pereira Filho, I.A.; Cruz, J.C. Efeito de diferentes plantas de cobertura do solo sobre alguns atributos do solo em sistema de produção orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.4, n.2, p.3748-3751, 2009. <<http://www.aba.agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/9238>>. 05 Nov. 2015.
- Reichert, J.M.; Reinert, D.J.; Braidá, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v.27, n.2, p.29-48, 2003. <[http://www.researchgate.net/publication/274250019\\_Qualidade\\_dos\\_solos\\_e\\_sustentabilidade\\_de\\_sistemas\\_agricolas](http://www.researchgate.net/publication/274250019_Qualidade_dos_solos_e_sustentabilidade_de_sistemas_agricolas)>. 16 Nov. 2015.
- Richart, A.; Tavares Filho, J.; Brito, O.R.; Llanillo, R.F.; Ferreira, R. Compactação de solo: Causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, v.26, n.3 p.321-344, 2005. <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n3p321>>.
- Secco, D.; Ros, C.O.; Secco, J.K.; Fiorin, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.3, p.407-414, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300011>>.
- Silva, M.M.; Alves, M.C.; Sousa, A.P.; Fernandes, F.C.S. Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado. *Revista Ceres*, v.56, n.1, p.103-111, 2009. <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3403/1290>>. 12 Mai. 2016.
- Silveira, P.M.; Stone, L.F.; Alves Júnior, J.; Silva, J.G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. *Bioscience Journal*, v.24, n.3, p.53-59, 2008. <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6787/4481>>. 16 Nov. 2015.
- Sousa Neto, E.L.; Andrioli, I.; Beutler, A.N.; Centurion, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.2, p.255-260, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200015>>.
- Spera, S.T.; Santos, H.P.; Tomm, G.O.; Kochhann, R.A.; Ávila, A. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. *Bragantia*, v.68, n.4, p.1079-1093, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000400025>>.
- Suzuki, L.E.A.S.; Alves, M.C.; Suzuki, L.G.A.S. Rendimento do feijoeiro influenciado por sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho de cerrado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n. 1, p. 121-126, 2007. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v29i1.75>>.
- Vomocil, J.A.; Flocker, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v.4, n.1, p.242-246, 1961.
- Wendling, B.; Jucksch, I.; Mendonça, E.S.; Neves, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.5, p.487-494, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500010>>.