

# Caracterização física do solo e desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro

## Physical characterization of soil and operational performance of agricultural machines in the deployment of forage sorghum

José Guilherme Lança Rodrigues<sup>1</sup>; Jairo Costa Fernandes<sup>2</sup>; Flávia Meinicke Nascimento<sup>3\*</sup>; Carlos Antonio Gamero<sup>4</sup>; Sílvio José Bicudo<sup>4</sup>

### Resumo

O sorgo forrageiro pode ser cultivado em áreas e situações ambientais secas e quentes, onde a produtividade de outras forrageiras pode ser normalmente antieconômica. O objetivo do trabalho foi analisar o desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro em quatro sistemas de preparo do solo: semeadura direta; gradagem pesada + semeadura; gradagem pesada + duas gradagens leves + semeadura; cultivo reduzido + semeadura e quatro velocidades de semeadura: 3, 5, 6 e 9 km h<sup>-1</sup>. O experimento foi instalado em condições de campo, na FCA/UNESP, Campus de Botucatu - SP. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em esquema fatorial simples, 4 x 4, sendo o delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Foram estudados o desempenho operacional das máquinas agrícolas, as características físicas do solo, o teor de água e a produtividade de massa seca e verde do sorgo. Concluiu-se que o desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro é influenciado pela velocidade de semeadura e pelo sistema de preparo do solo. O escarificador foi o equipamento que exigiu do trator a maior força média de tração, potência média de tração, patinagem e apresentou a menor velocidade média de trabalho para os sistemas de preparo estudados. O sorgo forrageiro apresentou maiores produtividades no sistema de semeadura direta na velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>.

**Palavras - chave:** Sistemas de preparo do solo, velocidade de semeadura, física do solo

### Abstract

Forage sorghum can be grown in areas presenting dry and hot environmental situations where the yield of other grasses can often be uneconomical. The objective of this study was to analyze the operating performance of agricultural machines in the deployment of sorghum forage in four tillage systems, as follows: no-tillage system, disk harrow + seeding, disk harrow + two light disking + seeding, minimum tillage + seeding and four seeding different speeds, as follows: 3, 5, 6 and 9 km h<sup>-1</sup>. The study was performed under field conditions in FCA / UNESP, Botucatu County, SP, Brazil. The data were subjected to variance analysis in a simple factorial 4 x 4, and a random block design with split plots. Operational performance of the agricultural machinery, physical characteristics the soil, its water content and the yield of dry matter and green sorghum were determined. The operational performance of agricultural machines in the deployment of sorghum forage is influenced by the sowing speed and the soil tillage system used. Chisel plow was the equipment that required the highest mean traction force, mean traction and slip, as well as the lowest mean speed for the studied tillage system. Forage sorghum

<sup>1</sup> Prof. da Associação Educacional do Vale do Jurumim, EDUVALE, Avaré, SP. E-mail: lancarodrigues@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. do Instituto Federal Baiano, IFBA, Itapetinga, BA. E-mail: costajf10@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof<sup>a</sup> da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Lages, SC. E-mail: flaviameinicke@hotmail.com

<sup>4</sup> Profs. da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, SP. E-mail: gamero@fca.unesp.br; sjbicudo@fca.unesp.br

\* Autor para correspondência

showed higher yields in no-tillage systems at a seeding speed of 5 km h<sup>-1</sup>.

**Key words:** Systems of soil tillage, speeding of sowing, soil physics

## Introdução

A moderna planta de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um produto da intervenção do homem, que domesticou a espécie e, ao longo de gerações, vem transformando-a para satisfazer as necessidades agrícolas (MAGALHÃES; DURÃES; SCHAFFERT, 2000). O sorgo é uma eficiente fábrica de energia, de grande utilidade em regiões muito quentes e secas, onde não se conseguem boas produtividades de outros grãos ou forragens, como o milho. Embora de origem tropical, o sorgo vem sendo cultivado em latitudes de até 45° ao norte ou ao sul. Isso só foi possível graças aos trabalhos dos melhoristas de plantas, que desenvolveram cultivares com adaptação fora da zona tropical. É cultivado, principalmente, onde a precipitação anual se situa entre 375 e 625 mm ou onde esteja disponível irrigação suplementar. O sorgo é, entre as espécies alimentares, uma das mais versáteis e eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação.

Os sistemas de manejo do solo são classificados como intensivo (convencional com a utilização de arados e grades), mínimo ou reduzido e semeadura direta, sendo os dois últimos denominados também de manejos conservacionistas. Para o sistema de preparo reduzido, utilizam-se equipamentos de hastes, tais como escarificadores, cinzéis e subsoladores. No sistema de plantio direto apenas a operação de semeadura é realizada, sendo assim, foi convencionado pela Federação de Associações de Plantio Direto na Palha que o sistema seria denominado Plantio Direto (DALLMEYER, 2001).

A constante mobilização do solo de forma inadequada, principalmente em sistemas intensivos de exploração agrícola, leva à degradação de sua estrutura. Essa condição física alterada do solo pode ocasionar diminuição da produtividade das culturas, em vista da complexidade dos fenômenos

que envolvem as relações solo-planta-atmosfera (RODRIGUES, 2001). O solo não deve ser considerado simplesmente como meio de produção. O respeito às suas características e condições, no momento do manejo, são fundamentais para sua preservação e exige uma abordagem holística de suas características, fazendo com que este recurso natural faça parte do sistema de produção empregado (RALISCH, 1999).

Levien et al. (2003), ao avaliarem o desempenho operacional dos métodos de preparo de solo, observaram que a capacidade operacional no preparo reduzido do solo (escarificação) foi três vezes maior, bem como demandou 21% menos potência e 52% menos combustível, por área trabalhada, quando comparado com o preparo convencional.

Rodrigues e Gamero (2006), comparando sistemas de manejo do solo e coberturas vegetais, através da capacidade de campo efetiva, consumo horário e operacional de combustível, verificaram que o sistema semeadura direta foi o que apresentou os melhores índices, independentemente das coberturas vegetais estudadas.

A presente pesquisa teve como objetivo caracterizar fisicamente o solo da área estudada e avaliar o efeito do preparo do solo e da velocidade de operação de semeadura na implantação da cultura do sorgo forrageiro.

## Material e Métodos

O experimento foi instalado e conduzido em área da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP – Botucatu, SP, localizada geograficamente nas coordenadas 22°49' Latitude Sul e 48°25' Longitude Oeste, com altitude média de 786 m, declividade entre 2 a 6% com exposição oeste, no período de dezembro de 2007 a maio de 2008. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo

CWa, subtropical, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. A precipitação média anual é de 1400 mm com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio entre 3 e 18 °C. O solo da área experimental está classificado, segundo Embrapa (1999), como Nitossolo Vermelho Distroférrico.

A área experimental vinha sendo cultivada em sistema semeadura direta desde 1997, por meio de rotação de culturas com aveia preta (safra de inverno), soja (safra de verão), triticale (safra de inverno) e milho (safra de verão). O presente trabalho foi conduzido sob restevas da cultura do milho (safra de verão) seguido de aveia preta (safra de inverno).

Na semeadura da cultura do sorgo, foi utilizada a cultivar BRS 610 com ciclo de 140 dias, apresentando pureza de 94% e poder germinativo de 90%.

Cada unidade experimental apresentou 20 m de comprimento e largura de 10 m, sendo que, entre os blocos foi deixado um carreador com 50 m de largura a fim de permitir as manobras e estabilização dos equipamentos antes do início das coletas dos dados.

O delineamento experimental utilizado foi um fatorial simples, 4 x 4, sem interação entre eles, em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo 4 preparos: SD (Semeadura direta); GP (Gradagem Pesada + semeadura); GPL (Gradagem pesada + duas gradagens leves + semeadura) e CR (Cultivo reduzido e semeadura) e 4 velocidades: 3, 5, 6 e 9 km h<sup>-1</sup>, sendo os dados submetidos à análise de variância e comparados por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As avaliações realizadas foram: superfície de cobertura do solo por resíduos vegetais presentes na área antes e após instalação dos sistemas de manejo, valores médios da densidade do solo, densidade de máxima compactação, teor de água de máxima compactação e densidade relativa, após a colheita do sorgo, valores médios de resistência do solo à

penetração, teor de água no solo no momento da determinação da resistência do solo à penetração e após a colheita do sorgo, teor de água do solo no dia dos preparos, largura de trabalho, velocidade média, força média de tração, potência média de tração, patinagem e capacidade de campo teórica para diferentes sistemas de manejo do solo, valores médios de consumo operacional, consumo horário de combustível, profundidade média de preparo e área de solo mobilizada, teor de água do solo no dia da semeadura do sorgo, produtividade de massa verde e seca do sorgo.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de porcentagem de cobertura na superfície do solo com resíduos vegetais da safra anterior e plantas daninhas presentes na área antes e após os sistemas de manejo, os quais não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, demonstrando, assim, a homogeneidade de cobertura no solo. Antes de qualquer interferência mecânica, havia na superfície do solo mais de 90% de cobertura vegetal, representando uma média de 6376,98 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca.

Vinte dias após a instalação dos manejos, o tratamento GPL foi o que apresentou a menor porcentagem de cobertura sobre o solo, com apenas 8,43% da superfície do solo protegida com resíduos vegetais. Isto ocorreu devido à atuação dos órgãos ativos dos equipamentos na incorporação dos resíduos vegetais que estavam presentes na superfície, o que concorda com os resultados obtidos por Siqueira (1999), quando trabalhou com as operações de gradagens e aração. No sistema de semeadura direta (SD), o valor de 93,45% de cobertura sobre a superfície do solo demonstrou ser superior a valores constatados por Furlani et al. (2004), o que pode ter ocorrido devido à diferenças ambientais, dos resíduos vegetais existentes na área e também à prováveis diferenças entre os órgãos ativos dos equipamentos.

**Tabela 1.** Superfície de cobertura do solo por resíduos vegetais da safra anterior e plantas daninhas presentes na área antes e após instalação dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo do solo	Resíduos Vegetais (%)	
	Antes	Após
SD	93,13 a	93,45 a
GP	93,55 a	34,13 b
CR	93,45 a	31,12 b
GPL	93,45 a	8,43 c

DMS antes do manejo = 16,23; DMS após o manejo = 13,13; CV antes do manejo (%) = 8,09; CV após o manejo (%) = 11,12. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No tratamento CR constatou-se valor de cobertura superficial do solo da ordem de 31,12%, percentagem esta inferior ao valor encontrado por Furlani et al. (2004), mas superior ao que foi constatado por Silva (2000). O tratamento GP apresentou resíduo de palha de 34,13%. Desta maneira, os tratamentos CR, SD e GP podem ser considerados como preparos conservacionistas do solo, pois conforme Magleby e Shertz (1988), o preparo que mantiver cobertura superior a 30% é conservacionista.

Valores de densidade do solo de  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$  e relativa de 0,88, encontrados por Klein (2006), para um solo de mesma fragmentação textural do experimento, é prejudicial e comprometedor para o crescimento e desenvolvimento das culturas.

Os valores médios da densidade do solo entre os sistemas de manejo e profundidades são apresentados na Tabela 2. Verifica-se que na camada de 0-90 mm, os tratamentos GP, GPL e CR apresentaram valores inferiores a  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$  e o tratamento SD apresentou valor acima ao aceitável,  $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ , diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Falleiro et al. (2003), avaliando o efeito de

seis sistemas de manejo do solo sobre algumas características físicas do solo, verificaram que a densidade foi superior na semeadura direta em relação ao preparo convencional e reduzido, estando de acordo com os dados coletados neste experimento. A densidade total, a porosidade e o tamanho de poros são indicadores necessários, mas não suficientes, para avaliar qualidade física do solo. O aumento da densidade superficial em plantio direto, de certa forma explica a atitude de parte dos agricultores em adotar a escarificação eventual (LLANILLO et al., 2006).

Verifica-se também, na Tabela 2, que na profundidade de 150-220 mm, o tratamento de semeadura direta foi o que apresentou maior valor de densidade do solo, diferindo estatisticamente dos outros tratamentos. Abreu, Reichert e Reinert (2004), Cruz et al. (2003) e Costa et al. (2003), comparando sistemas de preparo (convencional e semeadura direta), verificaram que não houve diferença significativa entre os valores de densidade do solo.

Comparando os sistemas de manejo do solo da Tabela 2, entre as profundidades estudadas, verificou-se diferença estatística entre os valores de densidade do solo, os quais foram superiores na camada de 150-220 mm. Já Falleiro et al. (2003) não observaram variação da densidade do solo com o acréscimo de profundidade nos sistemas de manejos relacionados. Provavelmente os menores valores da densidade na camada superior devem ser decorrentes da apresentação de um maior teor de matéria orgânica, o que também foi constatado por Costa et al. (2003). Outro fator relevante que pode ter contribuído para a diminuição dos valores de densidade do solo na primeira camada ou camada superior foi a descompactação, proveniente da aplicação dos equipamentos de preparo dos tratamentos GP, GPL e CR e pelos mecanismos sulcadores da semeadora, pois foi retirado na linha de semeadura.

**Tabela 2.** Valores médios da densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), densidade de máxima compactação ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), teor de água de máxima compactação ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e densidade relativa, após a colheita do sorgo em função da profundidade e sistemas.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo			
	SD	GP	CR	GPL
	<b><sup>1</sup>Densidade do solo (<math>\text{kg dm}^{-3}</math>)</b>			
0-90	1,25 bA	1,13 bB	1,13 bB	1,13 bB
150-220	1,36 aA	1,25 aB	1,25 aB	1,24 aB
	<b><sup>2</sup>Densidade de máxima compactação (<math>\text{kg dm}^{-3}</math>)</b>			
0-100	1,39 A	1,38 A	1,35 B	1,35 B
	<b><sup>3</sup>Teor de água de máxima compactação (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>			
0-100	286,76 C	288,43 B	289,99 A	288,13 B
	<b><sup>4</sup>Densidade relativa</b>			
0-100	0,89 A	0,84 A	0,80 A	0,84 A

<sup>1</sup>DMS interação sistemas de manejo = 0,10; DMS interação profundidade = 0,07; CV sistemas de manejo (%) = 6,33; CV profundidade (%) = 3,95. <sup>2</sup>DMS = 0,02; CV (%) = 0,63. <sup>3</sup>DMS = 0,90; CV (%) = 3,54. <sup>4</sup>DMS = 0,11; CV (%) = 5,76. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando se diz respeito à densidade de máxima compactação, na Tabela 2, verifica-se que o sistema de preparo CR e GPL diferiram significativamente dos demais tratamentos, apresentando um menor índice.

Em relação ao teor de água de máxima compactação, observou-se que o tratamento CR foi o que apresentou maior teor de água de máxima compactação, assim diferindo dos demais tratamentos.

A densidade relativa não apresentou efeito significativo entre os sistemas de manejo, mas, se forem considerados os valores acima de 0,88 como empecilhos ao desenvolvimento normal das culturas, conforme descrito por Klein (2006) verifica-se que apenas o tratamento SD ultrapassou esse valor.

Analisando-se os valores obtidos para resistência do solo à penetração, apresentados

na Tabela 3, entre os diferentes sistemas de manejo, verifica-se que na profundidade de 0-50 mm, os tratamentos CR, GPL e GP foram os que apresentaram os menores valores, diferindo estatisticamente do tratamento SD. Porém observa-se que, independente dos tratamentos, todos os valores obtidos de resistência do solo à penetração podem ser considerados baixos.

Na profundidade de 50-100 mm, o tratamento CR apresentou um valor de resistência do solo menor, seguido do GPL. O tratamento SD apresentou valores de resistência à penetração maior que 2 MPa, valor este, considerado por vários autores, comprometedor para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas (Tabela 3). Este resultado se encontra semelhante e de acordo com Cavalieri et al. (2006), que verificaram valores maiores de resistência à penetração no tratamento com o sistema de preparo semeadura direta.

**Tabela 3.** Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) após a colheita do sorgo em função da profundidade e sistemas de manejo.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo			
	SD	GP	CR	GPL
0-50	1,82 A	0,99 B	0,35 C	0,46 C
50-100	2,57 A	1,89 B	0,69 D	1,12 C
100-150	2,60 A	2,12 B	1,55 C	1,86 B
150-200	2,60 A	2,61 A	1,39 B	2,40 A
200-250	2,82 A	2,61 A	1,59 B	2,57 A
250-300	2,93 A	2,63 A	1,89 B	2,63 A
300-350	2,91 A	2,74 A	2,11 B	2,69 A
350-400	2,94 A	2,74 A	2,20 B	2,76 A
400-450	2,90 A	2,83 A	2,27 B	2,73 A
450-500	2,97 A	2,86 A	2,33 B	2,80 A
500-550	2,91 A	2,92 A	2,34 B	2,88 A

DMS sistemas de manejo = 0,42; CV sistemas de manejo (%) = 33,20. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se verificar que os tratamentos SD e GP, em todas as profundidades, foram estatisticamente superiores aos demais. Desta forma, analisando os dados de resistência à penetração encontrados no experimento, entre os sistemas de manejo do solo e profundidades, observa-se que estes se encontram abaixo de 3,50 MPa, valor este considerado por Torres e Saraiva (1999) como indicativo de baixa compactação, quando o solo se apresenta na condição friável.

No que diz respeito aos atributos físicos do solo, a resistência apresenta maior sensibilidade para a demonstração dos efeitos dos sistemas de manejos do

solo estudados até esta situação, concordando com os resultados obtidos por Santana et al. (2006) e Streck et al. (2004).

Os acréscimos nos valores de resistência à penetração, em função da profundidade de preparo, estão condizentes com os obtidos por Abreu, Reichert e Reinert (2004), que verificaram uma maior resistência com o aumento da profundidade.

Na Tabela 4, são apresentados valores médios do teor de água no solo, no momento da determinação da resistência à penetração.

**Tabela 4.** Teor de água no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no momento da determinação da resistência do solo à penetração (MPa) após a colheita do sorgo em função da profundidade e sistemas de manejo.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo				
	SD	GP	CR	GPL	Médias
0-100	263,34 aA	292,34 aA	274,75 aA	266,51 bA	274,23 b
100-200	281,25 aB	277,78 aB	289,76 aB	307,22 aA	289,00 ab
200-300	292,34 aA	277,78 aAB	299,12 aA	311,34 aA	295,15 a
Médias	278,97 A	282,63 A	287,87 A	295,02 A	

DMS médias por sistemas de manejo = 24,70; DMS médias por profundidade = 13,23; DMS interação sistemas de manejo = 29,19; DMS interação profundidade = 26,45; CV sistemas de manejo (%) = 6,11; CV profundidade (%) = 5,27. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação aos valores do teor de água no solo, obtidos entre os sistemas de manejo, verifica-se que houve diferença significativa na profundidade de 100-200 mm, sendo que o tratamento GPL apresentou maior teor de água, diferindo dos demais. Observa-se que para as outras profundidades não se constatou influência do teor de água entre os sistemas de manejo do solo (Tabela 4). Também se verificou que o aumento da profundidade proporcionou uma elevação do teor de água no solo, mesmo assim, não foi obtido redução dos valores de resistência à penetração como observado na Tabela 3.

Os valores obtidos para o teor de água no dia dos preparos do solo encontram-se na Tabela 5, onde pode se observar que não houve diferença significativa para os sistemas de preparo do solo, envolvidos no experimento e para as profundidades estudadas, discordando dos dados obtidos por Siqueira (1999), que encontrou diferenças estatísticas para o teor de

água no solo, o que demonstra que mesmo diferindo quanto ao teor de água, mantém-se a tendência dos tratamentos com grade pesada diminuírem a porcentagem de cobertura do solo.

Os teores de água se encontram dentro dos valores de friabilidade apropriados para o preparo do solo, (Tabela 5). Em relação ao ensaio de Proctor (Tabela 2), pode ser verificado que esses valores comprometem as condições estruturais do solo e o desenvolvimento radicular da cultura da cultura do sorgo. Outro fator importante é o teor de água existente no solo, no ato dos preparos, ocasionando a compactação pelo tráfico das máquinas (WATTS; DEXTER, 1998).

Assim no momento do preparo do solo não se deve só considerar a faixa de friabilidade, mas também o teor de água de máxima compactação determinado no ensaio de proctor.

**Tabela 5.** Teor de água do solo (g kg<sup>-1</sup>) no dia dos preparos em função da profundidade e sistemas de manejo.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo				
	SD	GP	CR	GPL	Médias
0-100	294,29 aA	295,28 aA	294,30 aA	293,78 aA	294,41 a
100-200	295,39 aA	293,84 aA	298,20 aA	294,44 aA	295,46 a
200-300	297,16 aA	275,47 aA	295,08 aA	294,89 aA	290,65 a
Médias	295,61 A	288,20 A	295,86 A	294,37 A	

DMS médias por sistemas de manejo = 11,05; DMS médias por profundidade = 16,68; DMS interação sistemas de manejo = 19,25; DMS interação profundidade = 23,58; CV sistemas de manejo (%) = 2,91; CV profundidade (%) = 4,28. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores das variáveis velocidades médias, força média de tração, potência média de tração, patinagem do trator e capacidade de campo teórica, encontram-se na Tabela 6.

Nesta tabela não foi possível aplicar um teste de médias para a comparação do desempenho dos equipamentos de preparo do solo, pois entre os

tratamentos foram realizadas operações distintas.

Verifica-se na Tabela 6, que o equipamento escarificador foi o que exigiu do trator a maior força média de tração (42,56 kN), potência média de tração (33,21 kW) e patinagem (19,63 %) e apresentou a menor velocidade média de trabalho (2,99 km h<sup>-1</sup>).

**Tabela 6.** Largura de trabalho (mm), velocidade média (km h<sup>-1</sup>), força média de tração (kN), potência média de tração (kW), patinagem (%) e capacidade de campo teórica (ha h<sup>-1</sup>) para diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistemas de manejo	Equipamentos de preparo	Largura de trabalho	Velocid. média	Força média de tração	Potência média de tração	Patinagem	Capacid. de campo teórica
		mm	Km.h <sup>-1</sup>	kN	kW	%	ha.h <sup>-1</sup>
GPL	Grade pesada + Grade leve	1700	4,00	31,67	25,46	12,12	1,12
		2550	5,03	9,63	13,87	5,55	1,29
GP	Grade pesada	1700	4,02	31,45	25,65	12,00	1,10
CR	Escarificador	2800	2,99	42,56	33,21	19,63	0,83

SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura.

A capacidade de campo teórica é parâmetro que fornece o ritmo teórico de trabalho executado durante a operação, não levando em consideração a área de solo mobilizada pelo equipamento no ato do preparo.

Equipamentos que trabalham em diferentes profundidades, não podem ser comparados, neste caso a grade pesada e o escarificador apresentam profundidade de trabalhos semelhantes. O escarificador foi o que forneceu a menor capacidade de campo teórica, pois apresentou um trabalho com velocidade média menor e largura maior que os demais. Assim Levien (1999), utilizando-se do mesmo trator, escarificador e tipo de solo, operando a uma profundidade média de 17 cm, encontrou valores inferiores para os parâmetros: velocidade média (2,62 km h<sup>-1</sup>), força média de tração (38,22 kN), potência média de tração (27,78kW) e capacidade de campo teórica (0,73 ha h<sup>-1</sup>). Enquanto Lopes et al. (2005), utilizando-se também do mesmo trator, tipo de pneu e trabalhando com o escarificador composto de 7 hastes, com uma profundidade média de 30 cm, constataram uma potência média inferior a 22,66kW. A potência encontrada nesse estudo foi de 33,21 kW, pois o mesmo trabalhou com uma

velocidade maior 3,18 km ha<sup>-1</sup>.

Com relação à operação de gradagem leve, os valores de velocidade média, 5,03 km h<sup>-1</sup> e a capacidade de campo teórica, 1,29 ha h<sup>-1</sup> foram menores que os encontrados por Levien (1999), de 5,87 km<sup>-1</sup> e 1,35 ha h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os autores obtiveram valores superiores para força e potência média de tração. Na operação de gradagem pesada Lopes et al. (2005), utilizando-se trator JD 6600 encontraram valores semelhantes para a grade pesada, não diferindo da capacidade de campo teórica encontrada no presente trabalho que foi de 1,12 e 1,10, pois os referidos autores encontraram valores acima de 1,01 ha<sup>-1</sup>.

Na Tabela 7, são apresentados os dados de consumo operacional e horário de combustível, profundidade média de trabalho e área de solo mobilizada. Analisando o consumo de combustível operacional, entre os sistemas de manejo, pode-se observar que o tratamento CR, teve uma redução de 29,25% no consumo quando comparado ao tratamento GPL e um acréscimo de 12% quando comparado ao GP.



**Tabela 7.** Valores médios de consumo operacional ( $L ha^{-1}$ ), consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ), profundidade média de preparo (mm) e área de solo mobilizada ( $cm^2$ ).

Sistemas de manejo	Consumo operacional ( $L ha^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>	Consumo horário ( $L h^{-1}$ ) <sup>(2)</sup>	Profundidade média de preparo (mm) <sup>(3)</sup>	Área de solo mobilizada ( $cm^2$ ) <sup>(4)</sup>
GPL	30,70 a	22,55 a	165 a	2345,89 b
GP	19,15 b	18,88 b	166 a	2399,89 b
CR	21,75 ab	17,09 b	178 a	4358,98 a

<sup>1</sup>DMS por sistemas de manejo = 9,63; CV (%) = 16,31. <sup>2</sup>DMS por sistemas de manejo = 3,31; CV (%) = 7,45. <sup>3</sup>DMS por sistemas de manejo = 12,63; CV (%) = 3,60. <sup>4</sup>DMS por sistemas de manejo = 195,73; CV (%) = 2,73. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O consumo de combustível operacional para o sistema GPL ( $30,70 L ha^{-1}$ ) foi semelhante ao obtido por Boller (1996), de  $30,43 L ha^{-1}$ , e o consumo horário no GPL,  $22,55 L h^{-1}$  foi inferior ao encontrado por Levien (1999), de  $29,50 L h^{-1}$ .

Na operação de CR e GP, obteve-se o menor consumo de combustível por hora de trabalho ( $L h^{-1}$ ), quando comparado com os sistemas de manejo GPL. O consumo médio para os tratamentos foi de 22,55; 18,88 e 17,09 para os tratamentos GPL, GP e CR, respectivamente; com uma economia média de 5,49  $L h^{-1}$  para o GPL e 1,79 para GP (Tabela 5).

Analisando os valores de profundidade média de preparo, verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos GPL, GP e CR a 5% probabilidade pelo teste Tukey.

Quando analisada a área de solo mobilizada,

observou-se que os tratamentos GPL e GP apresentaram uma menor área, quando comparado ao tratamento CR, devido à maior largura de trabalho do escarificador, pois as profundidades de trabalho médias foram muitos semelhantes.

Para o escarificador, a área de solo mobilizada foi inferior a aquelas encontradas por Siqueira (1999) e Levien (1999), de  $6840,00 cm^2$  e  $4904,00 cm^2$ , respectivamente. No tratamento GPL e GP, os resultados foram semelhantes aos encontrados por Boller, Gamero e Pereira (1997).

Os teores de água no solo, apresentados na Tabela 8, se encontram dentro da faixa de friabilidade que é apropriada para realização da operação de semeadura, mas como ocorrido durante a operação de preparo, nota-se que esse teor de água também foi comprometedor para a estrutura física do solo no ato da realização da semeadura (WATTS; DEXTER, 1998).

**Tabela 8.** Teor de água do solo ( $g kg^{-1}$ ) no dia da semeadura do sorgo em função da profundidade e sistemas de manejo.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo				Médias
	SD	GP	CR	GPL	
0-100	320,00 abA	321,00 aA	271,00 bC	294,00 bB	301,50 b
100-200	325,00 aA	319,00 aA	321,50 aA	252,50 cB	305,00 b
200-300	310,00 bA	315,00 aA	320,00 aA	325,00 aA	317,50 a
Médias	318,33 A	318,33 A	304,17 AB	290,50 B	

DMS médias por sistemas de manejo = 14,87; DMS médias por profundidade = 9,71; DMS interação sistemas de manejo = 21,45; DMS interação profundidade = 19,42; CV sistemas de manejo (%) = 3,79; CV profundidade (%) = 3,57. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os valores das médias do teor de água do solo, no ato da semeadura do sorgo, independente da profundidade, verifica-se que os tratamentos SD e GP apresentaram valores superiores aos tratamentos GPL e iguais ao CR. Na camada de 0 a 100 mm, os tratamentos SD e GP foram os que apresentaram os maiores teores de água, diferindo dos demais sistemas de manejo. Na camada de 100 a 200 o tratamento GPL foi que apresentou o menor valor. Na camada de 200 a 300 não se encontrou diferenças significativas entre os tratamentos. O menor teor de água nas camadas do GPL é explicado pela menor cobertura vegetal presente na superfície do solo.

Após a colheita do sorgo, secagem e pesagem (Tabelas 9 e 10), foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo, sendo que

as maiores produtividades ocorreram nos tratamentos de SD e GP.

Entre as médias dos sistemas de manejo, a semeadura direta (SD) foi a que apresentou a maior produtividade, devido ao fato da área experimental ter sido cultivada há onze anos em sistema de semeadura direta e com isso disponibilizar boa quantidade de nutrientes para as plantas. Além do fato deste sistema manter a umidade do solo por meio da cobertura residual por mais tempo do que os outros sistemas de manejo. Assim na época de baixa pluviosidade que coincide com a fase final do desenvolvimento do sorgo forrageiro, o sistema de semeadura direta mantém as características do solo mais favoráveis ao desenvolvimento. Já as médias das velocidades se diferenciaram entre si, destacando a velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>.

**Tabela 9.** Valores médios de produtividade de massa verde do sorgo (kg ha<sup>-1</sup>) em função dos sistemas de manejo e das velocidades na operação de semeadura.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura (km h <sup>-1</sup> )				Médias
	3	5	6	9	
SD	51.309 aA	51.371 aA	51.321 aA	51.244 aA	51.311 a
GP	51.260 aA	51.294 abA	51.143 bAB	51.033 bB	51.145 ab
CR	51.172 abA	51.156 bcA	49.059 cB	48.099 bC	49.872 b
GPL	50.068 bB	51.126 cA	51.054 bcA	49.006 bC	50.314 c
Médias	50.952 B	51.217 A	50.644 C	49.845 D	

DMS médias = 141,74; DMS interação: 166,66; CV sistemas de manejo (%) = 11,21; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 7,64. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada+ semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 10.** Valores médios de produtividade de massa seca do sorgo (kg ha<sup>-1</sup>) em função dos sistemas de manejo e das velocidades na operação de semeadura.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura (km h <sup>-1</sup> )				Médias
	3	5	6	9	
SD	16.309 aA	16.371 aA	16.321 aA	16.244 aA	16.311 a
GP	16.260 aB	16.294 abA	16.143 bA	16.033 bB	16.183 ab
CR	16.172 abA	16.156 b A	15.959 cB	15.899 bB	16.047 bc
GPL	16.068 bAB	16.126 cA	16.054 bcAB	15.906 bB	16.039 c
Médias	16.202 AB	16.263 A	16.119 BC	16.020 C	

DMS médias = 141,70; DMS interação = 166,58; CV sistemas de manejo (%) = 11,21; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 7,64. SD = Semeadura direta; GP = Grade pesada + semeadura; GPL = Grade pesada + duas gradagens leves + semeadura; CR = Escarificação + semeadura. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O sorgo foi semeado na época recomendada pela literatura, que é a mesma que a do milho (FORNASIERI FILHO, 1992), obtendo-se produtividade de massa verde e massa seca superior à média nacional, que é de 50 toneladas por hectare de massa verde e de 14 toneladas de massa seca por hectare, o que pode ter ocorrido também devido a uma boa precipitação durante o florescimento e enchimento de grãos.

Deste modo, pode-se afirmar que a população de plantas foi menor à medida que se aumentou a velocidade, pois o aumento da velocidade interfere na força com a qual a semente é lançada ao solo, o que reflete na homogeneidade da distribuição da semente no sulco, diminuindo a densidade de plantas na linha de semeadura, embora o mecanismo de distribuição da sementes tenha sido acionado. Fey, Santos e Fey (2000) relataram que o aumento da velocidade na operação de semeadura do milho não afetou a produtividade. Furlani et al. (2004), estudando diferentes velocidades na operação de semeadura do milho, verificaram que a produtividade foi maior em velocidades menores como 3 e 5 km h<sup>-1</sup>.

## Conclusões

Os efeitos do preparo do solo e da velocidade da operação de semeadura influenciam o desempenho operacional da cultura do sorgo forrageiro.

O escarificador é o equipamento que exige do trator maior força média de tração, potência média de tração, patinagem e apresenta a menor velocidade média de trabalho.

O sorgo forrageiro apresenta maiores produtividades no sistema de semeadura direta na velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>.

## Referências

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio

direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

BOLLER, W. *Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando à implantação da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 1996. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BOLLER, W.; GAMERO, C. A.; PEREIRA, O. J. Avaliação de diferentes sistemas de preparo e de condições de cobertura do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 52-63, 1997.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e manejo convencional. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

DALLMEYER, A. U. Opções na semeadura. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 6-9, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa-SPI, Embrapa-CNPIS, 1999. 412 p.

FALLEIRO, R. M.; SOUSA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FEY, E.; SANTOS, S. R.; FEY, A. Influência da velocidade de semeadura sobre a produtividade de milho (*Zea mays L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD-ROM.

FORNASIERI FILHO, D. A. *A cultura do milho*. Jaboticabal: UNESP, Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, 1992. 273 p.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do

- manejo do solo e do manejo da cobertura de inverno. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.
- KLEIN, V. A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 1, n. 5, p. 26-32, 2006.
- LEVIEN, R. *Condições de cobertura e método de manejo do solo para a implantação da cultura do milho (Zea mays L.)*. 1999. Tese (Doutorando em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- LEVIEN, R.; GAMERO, C. A.; FURLANI, E. A. Manejo convencional e reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 277-289, 2003.
- LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.
- LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; REIS, G. N. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu da lastragem e da velocidade de trabalho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 366-370, 2005.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. *Fisiologia da planta de sorgo*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 3).
- MAGLEBY, R. S.; SCHERTZ, D. L. Conservation tillage chalks up steady gains. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 67, n. 1, p. 6-14, 1988.
- RALISCH, R. *Análise comparativa do desempenho de três equipamentos de manejo de solo na descompactação de um Latossolo Roxo*. Botucatu, 1999. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- RODRIGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A. Demanda energética e capacidade de campo efetiva em diferentes sistemas de manejo do solo. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 55-62, 2006.
- RODRIGUES, R. A. F. *Efeitos de tipos de manejos nos seus atributos físicos do solo e nas características fenológicas e produtividades do arroz de terras altas irrigado por aspersão*. 2001. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- SANTANA, M. B.; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 1-12, 2006.
- SILVA, S. L. *Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento*. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- SIQUEIRA, R. *Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo*. 1999. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.
- TORRES, E.; SARAIVA, O. F. *Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja*. Londrina: Soja, 1999. 58 p. (Circular técnica, 23).
- WATTS, C. W.; DEXTER, A. R. Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *European Journal of Soil Science*, Oxford, v. 49, n. 1, p. 73-84, 1998.