

CONSUMO EFETIVO DE COMBUSTÍVEL EM FUNÇÃO DO EMPREGO DE DIFERENTES DISCOS DE CORTE ASSOCIADOS A UMA HASTE SULCADORA

TIAGO RODRIGO FRANCETTO¹, AIRTON DOS SANTOS ALONÇO², CATIZE BRANDELERO³, GABRIEL S. CHAGAS⁴, RAFAEL SOBROZA BECKER⁵

¹ Eng. Agrícola. Mestre em Eng. Agrícola. Doutorando em Eng. Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Departamento de Engenharia Rural, CCR, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria - RS. Endereço eletrônico: tiagofrancetto@gmail.com.

² Professor Associado, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

³ Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

⁴ Acadêmico de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

⁵ Acadêmico de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: O objetivo foi analisar o consumo efetivo de combustível nas interações de uma haste sulcadora com diferentes discos de corte em sistema de semeadura direta em função de diferentes velocidades. O experimento foi realizado em propriedade agrícola situada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul), cujo solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho e textura franco arenosa. Este foi constituído pela interação de uma haste sulcadora com mecanismos de corte (sem disco, disco liso e ondulado) analisados em quatro velocidades de deslocamento ($1,11 \text{ m s}^{-1}$, $1,67 \text{ m s}^{-1}$, $2,22 \text{ m s}^{-1}$ e $2,78 \text{ m s}^{-1}$). Os dados foram obtidos por um fluxômetro e coletados e armazenados por um datalogger. Foi verificado que o consumo foi reduzido com a utilização de discos de corte, apresentando um valor médio de $1,27 \text{ l ha}^{-1}$, sendo significativamente diferente para a condição sem o disco, com $1,33 \text{ l ha}^{-1}$. Além disso, foi constatada redução significativa para todos os níveis, com o acréscimo da velocidade, passando de $1,86$, $1,20$, $1,14$ e $0,95 \text{ l ha}^{-1}$, para as velocidades de $1,11$, $1,67$, $2,22$ e $2,78 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Dessa forma, a utilização de discos de corte associados à haste sulcadora promove redução do consumo efetivo.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, Semeadura direta, Semeadora-adubadora.

EFFECTIVE FUEL CONSUMPTION IN FUNCTION WITH DIFFERENT COULTER DISCS ASSOCIATED WITH A KNIFE TYPE COULTER

ABSTRACT: The objective was to analyze the effective fuel consumption in the interactions of knife type coulters with different coulters discs in a direct sowing system at different speeds. The experiment was conducted in a farm located in Santa Maria (Rio Grande do Sul, Brazil); the soil of the area was classified as Red Argisol and loamy sand texture. It was made by the interaction of a knife type coulters with cutting mechanisms of crop residues (discless, plain and wavy coulters disc) analyzed at four speeds (1.11 m s^{-1} , 1.67 m s^{-1} , 2.22 m s^{-1} e 2.78 m s^{-1}). The data was obtained by a flow meter, and collected and stored by a datalogger. It was found that the consumption was reduced with the use of cutting discs, with a mean value of 1.27 l ha^{-1} , was significantly different for the condition without the disc with 1.33 l ha^{-1} . In addition,

significant reduction was observed for all levels, with the speed increase, from 1.86, 1.20, 1.14 and 0.95 l ha⁻¹, for velocities of 1.11, 1, 67, 2.22, and 2.78 m s⁻¹, respectively. Thus, the use of coulter disks associated with the knife type causes a reduction of the effective consumption.

KEYWORDS: Energy efficiency, Direct sowing, Seeder-fertilizer.

INTRODUÇÃO

De acordo com Boller (1990), as semeadoras são consideradas, depois do trator, as máquinas agrícolas de maior importância. Em complemento, Santos et al. (2008) diz que são o equipamento com maior importância para o sucesso da semeadura direta. Nas semeadoras, o mecanismo que melhor estabelece a relação entre o solo e a máquina é o de abertura de sulco (BERTOL, 1997), sendo considerados por Coelho (1998), o elemento mais importante das semeadoras- adubadoras usadas na semeadura direta.

Esses mecanismos são destinados à abertura de um sulco no solo onde serão depositadas sementes e/ou fertilizantes, podendo ser combinados em função do tipo e preparo de solo, teor de água, grau de compactação, profundidade de semeadura, velocidade de deslocamento e mobilização desejada, devendo propiciar o contato solo/semente adequado. Dos diferentes tipos desses dispositivos, empregados na deposição de adubo, Levien (1999) destaca que as combinações em maior uso no Brasil são os sulcadores de discos duplos desencontrados e defasados (órgão ativo rotativo) e as hastes sulcadoras (órgão ativo fixo). Como resultado no sistema de semeadura direta, um dos problemas encontrados é a seleção das ferramentas de abertura de sulco, visto que um grande número de fatores interfere no desempenho das semeadoras e da complexidade de suas interações, havendo assim, a carência de estudos específicos buscando identificar as demandas energéticas dos diversos componentes que as compõem (SIQUEIRA et al., 2001).

Problemas na compactação do solo em suas camadas superficiais, devido ao tráfego de máquinas e da consorciação lavoura-pecuária, têm dificultado o processo de formação dos sulcos no sistema de semeadura direta, dessa forma, na busca de alternativas que substituam o uso de equipamentos mobilizadores do solo, como escarificadores e/ou subsoladores, necessita-se o emprego de ferramentas que possam atuar em profundidades maiores, como as hastes sulcadoras (SECCO et al., 2004), usadas em 80% das semeadoras em operação no Brasil (CEPIK, 2002), que associadas ao disco de corte, são mais efetivas na redução da densidade e da microporosidade do solo, possibilitando o aumento da macroporosidade (DRESCHER et al., 2011). Neste trabalho, a haste sulcadora foi associada com diferentes discos de corte, que são elementos rompedores que, geralmente empregados em frente a outros mecanismos, têm a finalidade de gerar um pequeno sulco, possibilitando que a ferramenta subsequente realize sua função com menor esforço e/ou maior eficiência (PORTELLA, 1983).

Diferentes mecanismos, por apresentarem variações nas suas demandas de tração, proporcionam variações no consumo de combustível, de acordo com as observações de Levien et al. (2011) e Francetto (2014), onde os autores concluíram que o gasto é significativamente maior quando uma semeadora é equipada com hastes sulcadoras do que quando utilizada com discos duplos, resultado também observado também por Mahl, Gamero e Benez (2007). Tendo em vista esses resultados, se fazem necessários estudos que proporcionem informações sobre o consumo efetivo de combustível referente à haste sulcadora combinada com diferentes discos de corte, que por propiciar maior gasto, deve ser escolhida com maior cuidado.

MATERIAL E MÉTODOS

A área escolhida, devido à disponibilidade de recursos, para a realização do experimento foi uma propriedade agrícola localizada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul), mostrada na Figura 1, situada em região de clima subtropical úmido, precipitações pluviárias médias razoavelmente bem distribuídas ao longo do ano. Foi observada a presença de palha de soja (*Glycine max*) e de plantas de azevém (*Lolium multiflorum*) e algumas plantas daninhas, e verificado, através do método de estufa, 287,20 g m⁻² de matéria seca sobre o solo.



FIGURA 1. Vista da área experimental.

Através de amostras coletadas em profundidade de 0 a 0,20 m, foi realizada a caracterização física do solo, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997) para determinação de densidade do solo e teor de água, pelo método de vettori (VETTORI, 1969) para classificação da textura do solo, além da utilização de um penetrômetro eletrônico, marca Falker modelo PLG 1020, para obtenção dos valores da resistência à penetração do solo. A densidade do solo e a umidade gravimétrica obtiveram valores médios de 1,64 g cm⁻³ e 13,15% respectivamente. O solo foi classificado como argissolo vermelho com textura franco arenosa, composto por 53,97% de areia, 28,44% de silte e 17,59% de argila.

O porta-ferramentas, desenvolvido por Gassen (2011), foi tracionado por um New Holland TL75E Exitus 4×2, com tração dianteira auxiliar (TDA). Durante o experimento a TDA esteve desligada, com o trator operando em condições normais, sem o bloqueio do diferencial acionado. A pressão interna dos pneus foi de 190,00 kPa no dianteiro e de 180,00 kPa no traseiro. A Tabela 1 apresenta algumas especificações do porta-ferramentas e a Tabela 2 as características do trator, ambos mostrados na Figura 2.

TABELA 1. Descrição do porta-ferramentas.

| Descrição | Especificação |
|---------------------------|---------------|
| Largura total (m) | 2,50 |
| Largura de trabalho (m) | 2,00 |
| Número de linhas instadas | 1 |
| Sistema de engate | Arrasto |

TABELA 2. Descrição do trator agrícola.

| Descrição | Especificação |
|--|----------------------------------|
| Modelo | New Holland TL75E 4x2 TDA |
| Massa de embarque (kg) | 3390,00 |
| Torque máximo (Nm) | 264,00 |
| Rotação de potência máxima (rad s-1 - rpm) | 251,33 - 2400 |
| Rotação de torque máximo (rad s-1 - rpm) | 146,61 - 1400 |
| Pneu dianteiro | Good Year Dyna Torque II 12.4-24 |
| Pneu traseiro | Pirelli PD 22 18.4-30 |
| Largura (m) | 1,85 |
| Velocidade 1 (1,11 m s-1) | Grupo II - 1ª marcha - 2450 rpm |
| Velocidade 2 (1,67 m s-1) | Grupo I - 4ª marcha - 1900 rpm |
| Velocidade 3 (2,22 m s-1) | Grupo II - 3ª marcha - 1800 rpm |
| Velocidade 4 (2,78 m s-1) | Grupo II - 3ª marcha - 1750 rpm |



FIGURA 2. Conjunto trator/porta-ferramentas.

A Tabela 3 apresenta os atributos da haste sulcadora utilizada (Figura 3).

TABELA 3. Características construtivas da haste sulcadora

| Descrição | Especificação |
|--------------------------------|---------------|
| Espessura da haste (m) | 0,01 |
| Espessura da ponteira (m) | 0,02 |
| Ângulo de ataque (rad - graus) | 0,96 - 55,00 |
| Profundidade de trabalho (m) | 0,12 |

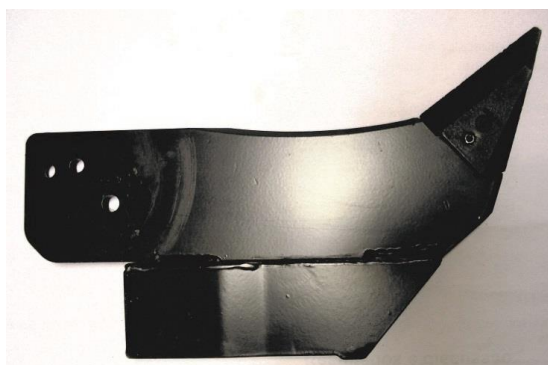


FIGURA 2. Haste sulcadora.

A Figura 3 ilustra os discos de corte utilizados, um disco liso (DL) e um disco ondulado (DO) de 20 ondas. Suas informações dimensionais estão descritas na Tabela 4.

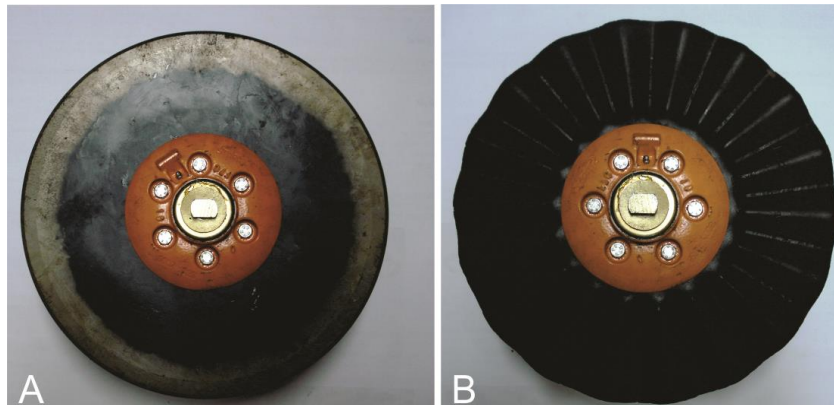


FIGURA 4. Discos de corte de resíduos culturais: liso (A) e ondulado (B)

TABELA 4. Características construtivas dos discos de corte.

| Descrição | Disco liso | Disco ondulado |
|---------------------------|------------|----------------|
| Diâmetro (m) | 0,46 | 0,46 |
| Espessura (m) | 0,0044 | 0,0050 |
| Profundidade de corte (m) | 0,05 | 0,05 |

Os tratamentos foram compostos pela interação dos fatores mecanismo de corte de resíduos culturais e velocidades de deslocamento, combinados à haste sulcadora.

Utilizou-se o delineamento experimental a partir de blocos ao acaso, com 12 combinações de tratamentos, cada um com três repetições, em um esquema fatorial 3×4. Os dados sofreram análises estatísticas de variância e os contrastes entre as médias que diferiram entre si no teste de f, sendo comparadas utilizando o teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados e o teste de Cochran para a homogeneidade de variâncias. Esses foram analisados através do *software* Assistat 7.7 beta 2015.

O experimento foi realizado em uma área total de 5.775,00 m², com as parcelas de 180,00 m² (3,0 metros de largura por 60,0 metros de comprimento) distribuídas na área para experimentação de 4.320,00 m². A largura das parcelas foi definida em função da largura de trabalho do porta-ferramentas e o comprimento em função do número de dados que poderiam ser coletados durante a maior velocidade de deslocamento do conjunto trato/porta-ferramentas, visto que durante as velocidades mais altas são coletados menos dados do que nas mais baixas.

Para a aquisição de dados, utilizou-se um datalogger marca Campbell Scientific modelo CR 1000, que armazena os dados gerados pelos sensores de rotação e fluxômetro. As recomendações de Russini (2009) foram seguidas para a instalação de todos os equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica. Este sistema de aquisição de dados foi escolhido com base nas constatações de Mantovani, Leplatois e Inamassu (1999), onde o seu emprego permite a avaliação do desempenho dos implementos em campo com uma grande capacidade operacional.

Na Tabela 5 estão listados os equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica, sua função e quantidade.

TABELA 5. Lista de equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica.

| Equipamento | Função | Quantidade |
|-----------------|---------------------------------|------------|
| Datalogger | Adquirir e armazenar dados | 1 |
| Sensor indutivo | Mensurar velocidade | 3 |
| Célula de carga | Mensurar força de tração | 1 |
| Fluxômetro | Mensurar consumo de combustível | 1 |

Na determinação do consumo efetivo de combustível foi usado um fluxômetro marca Oval M-III modelo LSF41. O equipamento emite pulsos elétricos que são armazenados pelo datalogger, permitindo, através desses dados aplicados na Equação 1, calcular o consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).

$$C_H = 1,8 P_E \quad (1)$$

em que,

C_H : consumo horário de combustível, $l\ h^{-1}$ e

P_E : pulsos elétricos gerados pelo fluxômetro.

Também foram obtidos os valores para a capacidade de campo teórica, onde os valores obtidos para uma linha foram extrapolados para simular uma semeadora de 10 linhas. Como mostrado na Equação 2.

$$CC_T = N_L E_L V \quad (2)$$

em que,

CC_T : capacidade de campo teórica, $ha\ h^{-1}$;

N_L : número de linhas;

E_L : espaçamento entre linhas, m e

V : velocidade, $km\ h^{-1}$.

Assim, consumo o efetivo de combustível ($l\ ha^{-1}$) é obtido pela Equação 3.

$$C_E = C_H CC_T^{-1} \quad (3)$$

em que,

C_E : consumo efetivo de combustível, $l\ ha^{-1}$;

C_H : consumo horário de combustível, $l\ h^{-1}$ e

CC_T : capacidade de campo teórica, $ha\ h^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) das variáveis, suas médias, níveis e os resultados dos testes de F obtidos através do *software* Assistat 7.7 beta 2015.

TABELA 6. Análise de variância com médias, níveis e os resultados dos testes de F.

| Fator | Consumo efetivo (l ha ⁻¹) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| DISCO DE CORTE | |
| Sem disco | 1,33 a |
| Disco liso | 1,26 b |
| Disco ondulado | 1,28 b |
| VELOCIDADE | |
| 1,11 m s ⁻¹ | 1,86 a |
| 1,67 m s ⁻¹ | 1,20 b |
| 2,22 m s ⁻¹ | 1,14 c |
| 2,78 m s ⁻¹ | 0,95 d |
| CV, DP e MG | |
| Coefficiente de variação (CV) (%) | 3,31 |
| Desvio padrão (DP) | 0,35 |
| Média geral (MG) | 1,29 |
| Teste F | |
| Disco de corte (F1) | 7,45 ** |
| Velocidade (F2) | 775,55 ** |
| F1 × F2 | 7,65 ** |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$).

Todos os fatores apresentaram influência significativa ao nível de 1% de probabilidade sobre o consumo efetivo de combustível, contudo, esses resultados não são correspondentes aos fatores isolados, e sim pela sua interação. Por apresentarem CV de 3,31 e desvio padrão de 0,35, a magnitude de erro experimental é avaliada como baixa, denotando alta precisão experimental. Furlani et al. (2006) avaliando o consumo horário de uma operação de semeadura, encontraram um CV de 4,5% em solo argiloso.

Os resultados individualizados do consumo efetivo de combustível (l ha⁻¹), em função dos mecanismos de corte dos resíduos culturais e a velocidade de deslocamento associados a uma haste sulcadora, são apresentados na Tabela 7. Esses foram obtidos através do *software* Assistat 7.7 beta 2015.

TABELA 7. Consumo efetivo de combustível em função dos fatores.

| Mecanismo de corte | Velocidade | | | |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 1,11 (m s ⁻¹) | 1,67 (m s ⁻¹) | 2,22 (m s ⁻¹) | 2,78 (m s ⁻¹) |
| Sem disco | 1,9394 aA | 1,3076 aB | 1,1250 aC | 0,9421 aD |
| Disco liso | 1,8246 bA | 1,0891 cC | 1,1945 aB | 0,9476 aD |
| Disco ondulado | 1,8258 bA | 1,2143 bB | 1,1120 aC | 0,9667 aD |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: 3,97 %.

Foi verificado que significativamente o consumo efetivo sem a presença de discos de corte é maior para as duas primeiras velocidades, com disco liso nas mesmas velocidades, sendo o mais econômico. A partir de 2,22 m s⁻¹ o mecanismo de corte já não é significativo para a definição do consumo efetivo. Assim como Furlani et al (2006) observou, foi constatado que com o aumento de velocidade o consumo tende a diminuir, exceto para os valores obtidos no disco liso entre 1,67 m s⁻¹ e 2,22 m s⁻¹, onde o consumo aumentou devido à redução inesperada da profundidade de trabalho da haste durante a velocidade 1,67 m s⁻¹.

A Figura 2 mostra a amplitude do consumo efetivo de combustível.

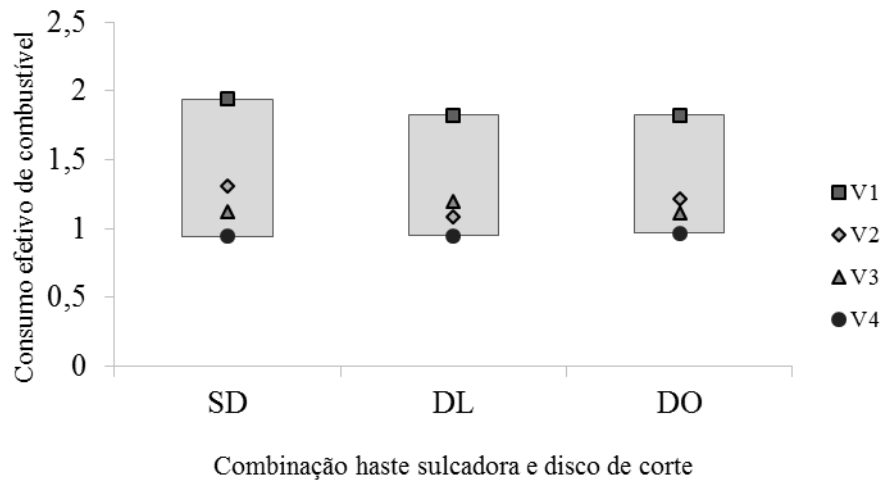


FIGURA 5. Desempenho no consumo específico de combustível.

V1 = 1,11 m s⁻¹. V2 = 1,67 m s⁻¹. V3 = 2,22 m s⁻¹. V4 = 2,78 m s⁻¹. SD = sem disco. DL = disco liso. DO = disco ondulado.

A haste sulcadora sem a presença de disco apresentou a maior amplitude (0,9973 l ha⁻¹), seguindo pelo disco liso (0,8870 l ha⁻¹) e o com menor amplitude sendo o disco ondulado (0,8591 l ha⁻¹). Assim, a presença de discos de corte associados à haste sulcadora diminui a amplitude do consumo específico de combustível.

CONCLUSÕES

O uso de disco de corte nas velocidades baixas apresenta redução do consumo efetivo, já nas velocidades altas a presença ou não dos discos é indiferente.

A presença de discos diminui a amplitude de consumo efetivo de combustível.

Ambas combinações com os discos proporcionam valores semelhantes, ambos mais vantajosos em relação à combinação sem a presença de disco.

REFERÊNCIAS

BERTOL, O. J.; et al. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, 1997, p. 257-262.

BOLLER, W. **Desenvolvimento de complementos para semeadoras em solo sob preparo reduzido**. 1990. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.

CEPIK, C. T. C. **Análise do desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

DRESCHER, M. S.; et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1713-1722, out. 2011.

FRANCETTO, T.R. **Desempenho de mecanismos de corte dos resíduos culturais e abertura de sulco para a semeadura direta**. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FURLANI, C. E. A.; et al. Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento de carga no depósito de adubo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.4, p. 268-275, 2006.

GASSEN, J. R. F. **Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea**. 2011. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays L.*)**. 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

LEVIEN, R.; et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1003-1010, jun. 2011.

MAHL, D., GAMERO, C. A., BENEZ, S. H. Demanda energética de semeadora-adubadora de plantio direto em função de elementos de corte, velocidade e tipo de solo. **Revista Energia na Agricultura**, v. 22, n. 3, p. 15-36, 2007.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M; INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 3, n. 7, jul. 1999.

PORTELLA, J. A. **Um estudo preliminar de forças atuantes de elementos rompedores de semeadoras comerciais**. 1983. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1983.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e tese de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, mar./abr. 2008.

SECCO, D.; et al. Produtividade da soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 5, p. 797-804, set./out. 2004.

SIQUEIRA, R.; et al. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.