

DEMANDA ENERGÉTICA NA SEMEADURA DA SOJA COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE SULCADORES

MARCELO SILVEIRA DE FARIAS¹, JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER², LEONARDO CASALI², MATEUS CASSOL CELLA³, ALFRAN TELLECHEA MARTINI⁴

¹ Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Linha 7 de Setembro, s/n, BR 386, km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil, silveira_farias@hotmail.com.

² Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima n°1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, josefernandoschlosser@gmail.com; leonardo.casali@yahoo.com.br.

³ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima n°1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, mateus996@gmail.com.

⁴ Coordenadoria Acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul, Rua Ernesto Barros, n° 1345, Bairro Santo Antônio, CEP 96506-310, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, alfrantm@gmail.com.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora para plantio direto, com diferentes configurações de sulcadores na implantação da cultura da soja, em áreas de várzea. O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas, tipicamente cultivadas com arroz irrigado, localizadas na região Central do estado do Rio Grande do Sul. Utilizou-se o delineamento de blocos aleatorizados, em arranjo bifatorial, sendo avaliadas quatro configurações de sulcadores (haste sulcadora, haste sulcadora com sistema tapa-sulco, disco ondulado e disco duplo), em duas áreas de características distintas (área agrícola 1 e área agrícola 2). As variáveis estudadas foram: força na barra de tração, velocidade real de trabalho, patinamento das rodas motrizes do trator e consumo específico de combustível. Com base nas análises dos resultados obtidos neste estudo pode-se afirmar que, os mecanismos sulcadores influenciam na demanda energética do conjunto mecanizado, independentemente da área agrícola. O consumo específico de combustível com o uso de hastes sulcadoras quando comparado aos discos foi 0,7 vezes menor, para ambas as áreas.

Palavras-chave: mecanização agrícola, força de tração, consumo de combustível, eficiência.

ENERGY DEMAND OF IN SOYBEAN SOWING WITH DIFFERENT FURROWER CONFIGURATIONS

ABSTRACT: This research aimed to evaluate the energy demand required by a seeder-fertilizer for direct planting, with different configurations of furrowers in the implantation of soybean culture, in lowland areas. The experiment was conducted in two agricultural areas, typically cultivated with irrigated rice, located in the central region of the state of Rio Grande do Sul. A randomized block design was used, in a bifactorial arrangement, and four furrow configurations (shank, shank with furrow-groove system, corrugated disc and double disc) were evaluated in two areas with different characteristics (agricultural area 1 and agricultural area 2). The variables studied were drawbar pull, real travel speed, the slippage of the driving wheels of the tractor and specific fuel consumption. Based on the analysis of the results obtained in this study, it can be said that the furrow mechanisms influence the energy demand of the mechanized set, regardless of the agricultural area. Specific fuel consumption with the use of shanks instead of disks was 0.7 times lower, for both areas.

Keywords: Agricultural mechanization, drawbar pull, fuel consumption, efficiency

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) no estado do Rio Grande do Sul, RS predomina em áreas denominadas de terras altas. Porém, devido, principalmente, ao valor comercial que a commodity atingiu nos últimos anos, associada à dificuldade de controle de plantas daninhas nas áreas de cultivo de arroz irrigado (*Oryza sativa L.*), a soja vem sendo cada vez mais cultivada em ambientes de terras baixas, conhecidos como áreas de várzea; com produtividade média de 2.000 kg ha⁻¹, mesmo com a disposição de materiais genéticos de elevado potencial produtivo (BRASIL NETO et al., 2021).

A principal característica das áreas de várzea é a existência de uma camada inferior de solo de baixa permeabilidade (MARCHELAN et al., 2017). Além disso, Costa et al. (2017) e Parfitt et al. (2017) afirmam que, a compactação do solo, nestas áreas, limita o desenvolvimento radicular da soja e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes e água; o que afeta diretamente a produtividade (DALCHIAVON et al., 2011).

A descompactação do solo, por meio do preparo mecanizado, com escarificadores e subsoladores, resulta em maior rendimento de grãos, em áreas de várzea (BADINELLI et al., 2019; SARTORI et al., 2016). Tal mobilização permite o melhor desenvolvimento radicular e a disponibilidade de nutrientes (VALADÃO et

al., 2017); devido ao aumento da macroporosidade e da permeabilidade do solo à água e ao ar, quando a operação de escarificação for realizada com solo friável e em profundidade adequada (NUNES et al., 2014).

O uso de hastes sulcadoras na semeadora é outra opção para descompactar o solo, permitindo ainda a redução com os custos de preparo do solo, devido à redução do número de operações (BRASIL NETO et al., 2021). Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora para plantio direto, com diferentes configurações de sulcadores na implantação da cultura da soja, em áreas de várzea.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em duas áreas agrícolas, tipicamente cultivadas com arroz irrigado por inundação, localizadas na região Central do estado do Rio Grande do Sul. O clima é do tipo Cfa – úmido em todas as estações, com verão quente (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). A temperatura média anual é de 19,2 °C, e o regime pluvial anual médio de 1.708 mm (MALUF, 2000). A caracterização das áreas experimentais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das duas áreas agrícolas utilizadas no experimento: Área didático-experimental de várzea, do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (A1); Cabanha Tólio's Farm, Formigueiro, RS, Brasil (A2).

Caracterização*	Unidade	Área agrícola 1 (A1)	Área agrícola 2 (A2)
Teor de argila ¹	kg kg ⁻¹	0,25	0,36
Teor de areia ¹	kg kg ⁻¹	0,21	0,25
Teor de silte ¹	kg kg ⁻¹	0,54	0,39
Densidade do solo ²	Mg m ⁻³	1,66	1,13
Umidade volumétrica do solo ²	m ³ m ⁻³	0,20	0,22
Classificação do solo ³	-	Planossolo Háplico eutrófico arênico	Planossolo Háplico eutrófico típico
Unidade de mapeamento ³	-	Vacacaí	São Gabriel
Topografia da área	-	Plano	Suave
Declividade da área	Graus	2	13,6
Resistência à penetração ²	kPa	1.330	1.500

* Média de três repetições. (1) Profundidade de 0 a 0,15 m; (2) Profundidade de 0 a 0,40 m; (3) Segundo EMBRAPA (2013).

2.2 Conjunto mecanizado de pesquisa

No experimento foi utilizado o trator MF 4291 (Massey Ferguson[®], Canoas, Brasil), do tipo 4x2 TDA, equipado com motor de ciclo Diesel, de quatro tempos, da marca Perkins, modelo 1104A - 44T, com quatro cilindros, volume deslocado de 4.400 cm³ e turbocompressor. Segundo o fabricante, o torque e potência máxima são 400 Nm, a 1.400 rpm e 77,2 kW (105 cv), a 2.200 rpm, respectivamente.

O trator possuía massa total de 55,6 kN (5.670 kg), com distribuição de massa estática de 57,8% sobre o eixo traseiro e 42,2% sobre o dianteiro. Os pneus diagonais traseiros Pirelli[®] PD 22 23.1-30 R2 e pneus diagonais dianteiros Goodyear[®] Dyna Torque II 14.9-24 R2. Todos os rodados estavam com 75% de lastragem hidráulica e pressão interna de 133,33 kPa (20 Psi). Além disso, contava com 10 contrapesos dianteiros de 35 kg, totalizando 350 kg.

Acoplada na barra de tração do trator, foi utilizada a semeadora-adubadora MF 407 M45 (Massey Ferguson[®], Ibirubá, Brasil), com seis linhas de semeadura espaçadas em 0,50 m cada e massa em vazio de 21,7 kN (2.210 kg). As linhas de semeadura foram montadas com quatro configurações de sulcadores de fertilizante: haste sulcadora (T1), haste

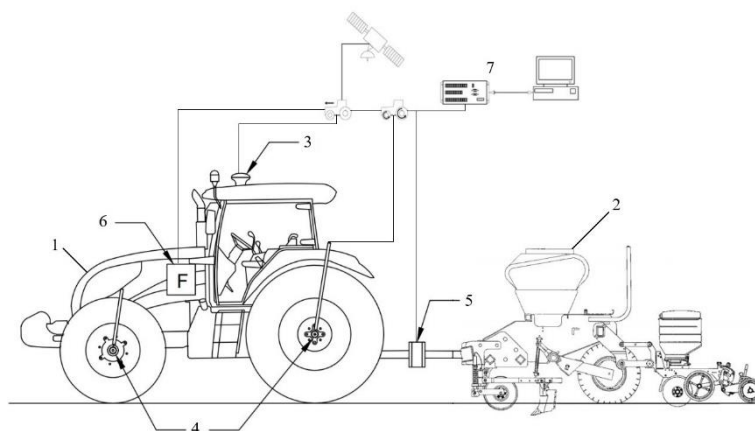
sulcadora com sistema tapa-sulco (T2), disco ondulado (T3) e disco duplo (T4).

O mecanismo tapa-sulco, instalado logo após a haste sulcadora, foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado (GPai), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em parceria com a Massey Ferguson[®] e está em fase de testes para validação. Foi desenvolvido a partir da necessidade de melhorar o contato da semente com o solo, ou seja, reduzir o efeito do espelhamento e a quebra dos agregados maiores de solo, e fechar possíveis galerias que podem ser formadas após a passagem da haste sulcadora.

2.3 Aquisição de dados

Para mensurar os principais parâmetros de demanda energética requerida pela semeadora-adubadora, como: força na barra de tração, velocidade real de trabalho, patinamento das rodas motrizes do trator e consumo horário de combustível utilizou-se a instrumentação eletrônica, desenvolvida por Russini (2009). As informações foram registradas e armazenadas continuamente em um *datalogger* da marca Campbell Scientific[®], modelo CR1000, em um período de aquisição de dois segundos (Figura 1).

Figura 1. Representação esquemática do experimento para obtenção dos parâmetros de demanda energética requerida pela semeadora-adubadora (1. Trator, 2. semeadora-adubadora, 3. velocidade real de trabalho, 4. patinamento das rodas motrizes, 5. força na barra de tração, 6. consumo de combustível, 7. central para armazenamento de dados).



Fonte: Mateus Cassol Cella.

A partir dos dados de consumo horário de combustível e força na barra de tração, conhecidos por meio de fluxômetro e célula de carga calibrada, respectivamente, foram calculados os dados de consumo específico de combustível, por meio da Equação 1.

$$C_e = \frac{Ch \times \rho \times 1000}{N_{BT}} \quad (1)$$

Onde:

C_e é o consumo específico de combustível (g kWh^{-1});

Ch é o consumo horário de combustível (L h^{-1});

ρ é a densidade relativa do combustível ($0,875 \text{ kg L}^{-1}$);

N_{BT} é a potência na barra de tração (kW).

Ainda com os dados de força na barra de tração e de posse dos dados de velocidade real de trabalho, a potência na barra de tração foi calculada por meio da Equação 2.

$$N_{BT} = \frac{F_t \times VR}{3,6} \quad (2)$$

Onde:

N_{BT} é a potência na barra de tração (kW);

F_t é a força na barra de tração (kN);

VR é a velocidade real de trabalho (km h^{-1}).

2.4 Procedimentos experimentais e estatísticos

Para a condução do experimento, utilizou-se o esquema fatorial (4×2), sendo: O fator A constituído de diferentes configurações de sulcadores (haste sulcadora, haste sulcadora com sistema tapa-sulco, disco ondulado e disco duplo); e o fator B diferentes áreas agrícolas (área agrícola 1 e área agrícola 2), em delineamento experimental de blocos aleatorizados, com quatro repetições. Os dados foram analisados quanto a sua normalidade e homocedasticidade. Após, com o auxílio do *software* Sisvar de Ferreira (2014), os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias referentes à demanda energética requerida pela semeadora-adubadora para cada mecanismo sulcador e áreas agrícolas avaliadas são apresentadas na Tabela 2. Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação entre todos os fatores analisados. Ao comparar as médias, observa-se o efeito dos tratamentos independentemente das áreas. O coeficiente de variação difere os tratamentos, em função das características das áreas.

Tabela 2. Médias de força na barra de tração, velocidade real de trabalho, patinamento das rodas motrizes e consumo específico de combustível, para as quatro configurações de sulcadores de fertilizante (T1 - haste sulcadora; T2 - haste sulcadora com sistema tapa-sulco; T3 - disco ondulado; T4 - disco duplo) e áreas agrícolas avaliadas.

Configuração de sulcador	Área agrícola 1	Área agrícola 2	Média	CV (%)
Força na barra de tração (kN)				
T1	35,63 ^{Ba}	39,78 ^{Aa}	37,71	7,78
T2	33,23 ^{Aa}	34,74 ^{Ab}	33,99	3,14
T3	11,32 ^{Ab}	12,08 ^{Ad}	11,70	4,59
T4	9,40 ^{Bb}	13,04 ^{AcD}	11,22	22,94
Velocidade real de trabalho (km h ⁻¹)				
T1	2,73 ^{Bb}	2,95 ^{Ac}	2,84	5,48
T2	2,88 ^{Ab}	3,02 ^{Ac}	2,95	3,36
T3	3,56 ^{Ba}	4,01 ^{Aa}	3,79	8,41
T4	3,74 ^{Aa}	3,86 ^{Ab}	3,80	2,23
Patinamento das rodas motrizes (%)				
T1	29,86 ^{Aa}	24,36 ^{Ba}	27,11	14,35
T2	26,03 ^{Aa}	22,74 ^{Aa}	24,39	9,54
T3	11,16 ^{Ab}	7,83 ^{Ab}	9,50	24,80
T4	7,62 ^{Ab}	6,08 ^{Ab}	6,85	15,90
Consumo específico de combustível (g kWh ⁻¹)				
T1	462,31 ^{Ac}	411,88 ^{Ab}	437,10	8,16
T2	455,07 ^{Ac}	447,11 ^{Ab}	451,09	1,25
T3	677,16 ^{Ab}	606,69 ^{Ba}	641,93	7,76
T4	742,78 ^{Aa}	596,09 ^{Ba}	669,44	15,49

* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

3.1 Força na barra de tração

Os resultados para força na barra de tração demandada pela semeadora-adubadora apontam que, a maior demanda ocorreu quando foi utilizado o mecanismo sulcador do tipo haste (T1), para a área A2. O uso do disco duplo (T4) na área A1 requereu 3,8 vezes menos força para tracionar a semeadora, em relação ao tratamento T1, para a mesma área. Observa-se também que, os resultados dos sulcadores (T1 e T2) para a A1, demandaram, em média, três vezes mais força na barra de tração, em comparação aos discos (T3 e T4).

Os resultados observados para a área A2, apresentam semelhança com a A1, exceto para os tratamentos T1 e T4, que diferiram entre si. Tal fato pode ser explicado pela diferença de profundidade de atuação da haste sulcadora (T1), sendo de 0,19 m para A1 e 0,18 m para A2. Além disso, a área A1 possui ambiente hidromórfico e dessa forma, apresenta

densidade elevada naturalmente (GOMES et al., 2006); a qual acarreta na formação de camada compactada próxima à superfície (MUNARETO et al., 2010).

Além da profundidade de trabalho, as características físicas da área A2 podem explicar a redução da força na barra de tração do T2 em relação ao T1. Esta área possui maior resistência à penetração (Tabela 1), motivo pelo qual a força de tração foi 12,67% superior ao utilizar haste sulcadora (T1). Na comparação com o sistema tapa-sulco (T2), entre A1 e A2, verifica-se redução de 4,54% nos valores da força de tração.

3.2 Velocidade real de trabalho

As diferenças observadas na velocidade de trabalho são atribuídas aos tratamentos, visto que foi utilizada a mesma marcha de trabalho e a mesma velocidade angular do motor do trator em ambas as áreas experimentais. Ao utilizar os

discos (T3 e T4), as velocidades tiveram menor variação, isto é, as velocidades reais foram mais próximas das teóricas, em relação a utilização das hastes sulcadoras (T1 e T2).

A manutenção da velocidade teórica de trabalho pré-estabelecida, observada com o uso dos discos, pode reduzir o consumo operacional de combustível. Pensando no uso, custo e impacto ambiental das operações mecanizadas, a economia de combustível é fundamental para se alcançar a máxima eficiência, em que o aumento da velocidade de trabalho contribui para reduzir o gasto de combustível (ALMEIDA; TAVARES-SILVA; SILVA, 2010).

3.3 Patinamento das rodas motrizes

Quanto ao patinamento das rodas motrizes observa-se que, somente no T1 houve diferença entre as duas áreas agrícolas avaliadas. Ao fazer a comparação entre todos os mecanismos sulcadores pode-se afirmar que, os tratamentos com hastes diferem dos tratamentos que foram utilizados discos, isto é, os menores valores de patinamento coincidem com os maiores valores de força na barra de tração.

Apenas com o uso dos discos, como mecanismos sulcadores, os valores de patinamento das rodas motrizes estavam dentro dos valores aceitáveis visto que, segundo Márquez (2012) e Neujahr e Schlosser (2001), para um solo macio, os valores de patinamento compreendidos entre 5 e 20%, dita como faixa ideal de patinamento, correspondem a máxima eficiência de tração.

3.4 Consumo específico de combustível

Quando ocorre a interação entre solo e máquina, ou seja, com profundidade de trabalho maior, principalmente com o uso de hastes, as mesmas colaboram para o aumento da demanda de energia e patinamento das rodas motrizes do trator (CEPIK et al. 2010). O uso de hastes sulcadoras aumenta a demanda de força de tração e patinamento (SANTOS; VOLPATO; TOURINO, 2008). Dessa forma, o aumento na força requerida pela semeadora-

adubadora acarreta no aumento do consumo horário de combustível (SANTOS, 2010).

A média do consumo específico de combustível para os tratamentos utilizando mecanismos sulcadores do tipo haste (T1 e T2) foi 67,72% menor, quando comparado aos mecanismos compostos por discos (T3 e T4). A maior exigência de torque e, conseqüentemente, potência do motor do trator, para atender as exigências de força de tração da semeadora, explica os menores consumos específicos quando do uso das hastes, visto que potência na barra de tração e consumo específico de combustível são grandezas inversamente proporcionais, conforme a Equação 1.

Baixos valores de consumo específico de combustível significam otimização simultânea do desempenho do motor, da eficiência de tração e da adequação do implemento à fonte de potência, o trator (LYNE; BURT; MEIRING, 1984). A existência de relação inversa entre o consumo específico de combustível e as cargas impostas ao trator pela semeadora-adubadora reforça essa afirmação.

O uso das hastes proporciona maior exigência de energia, tal qual maior for sua profundidade; em contrapartida, as camadas compactadas rompidas, tornam-se benéficas para o desenvolvimento radicular (CONTE et al., 2009; BRASIL NETO et al., 2021). Ainda, quando associado ao mecanismo de “acomodação de solo” na linha de semeadura, denominado de sistema tapa-sulco, melhora o desenvolvimento inicial da lavoura (COELHO et al., 2020).

4 CONCLUSÕES

A uso das hastes sulcadoras demandou, em média, para ambas as áreas agrícolas, três vezes mais força na barra de tração, em comparação ao uso dos discos, para as condições deste experimento.

A média do consumo específico de combustível para os tratamentos utilizando sulcadores do tipo haste foi 0,7 vezes menor, quando comparado aos mecanismos compostos por discos.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. S.; TAVARES-SILVA, C. A.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 7, p. 63-70, jan./mar. 2010.

BADINELLI, P. G.; UHRY JUNIOR, D. F.; MORAES, F. A.; TRINDADE, J. K.; MENEGAT, E.; LEMOS, D.; LEVIEN, R.; FIGUEIREDO, G. C.; MAZURANA, M. Estratégias de descompactação de solos hidromórficos cultivados com soja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., 2019, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú: SOSBAI, 2019. p. 1-4.

BRASIL NETO, E. S.; RUSSINI, A.; AMARAL, L. P.; PINHO, P. J.; FARIAS, M. S.; GIACOMELI, R. Spatial variability of soil penetration resistance in the lowland area cultivated with soybean. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, n. 6, p. e20200452, 2021.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 561-566, 2010.

COELHO, L. L.; MARCHESAN, E.; SARTORI, G. M. S.; SERAFIN, A. D.; DONATO, G.; ARAMBURU, B. B.; FLECK, A.; CASSANEGO, E. I. Manejos do solo no estabelecimento e desenvolvimento de soja em áreas de arroz irrigado. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 1, n. 174, p. 34-41, 2020.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 10, p. 1254-1261, out. 2009.

COSTA, E. L. Desempenho de mecanismos sulcadores sobre a semeadura e emergência de soja em solos de várzea. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 9., 2017, Santana do Livramento. **Anais [...]**. Santana do Livramento: Universidade Federal do Pampa, 2017.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Soybean yield and mechanical resistance to soil penetration under no-tillage in the Brazilian Savannah. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

GOMES, A. S.; SILVA, C. A. S.; PARFIT, J. M. B.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. F. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p. (Documentos, 169).

LYNE, P. W. L.; BURT, E. C.; MEIRING, P. Effect of tire and engine parameters on efficiency. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, v. 27, n. 1, p. 5-11, 1984.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARCHESAN, E.; TONETTO, F.; TELÓ, G. M.; COELHO, L. L.; ARAMBURU, B. B.; TRIVISIOLO, V. S. Soil management and application of agricultural gypsum in a Planosol for soybean cultivation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 11, p. e20161102, 2017.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. Madrid: B&H Grupo Editorial, 2012. 844 p.

MUNARETO, J. D.; BEUTLER, A. N.; RAMÃO, C. J.; DIAS, N. P.; RAMOS, P. V.; POZZEBON, B. C.; ALBERTO, C. M.; HERNANDES, G. C. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 12, p. 1499-1506, dez. 2010.

NEUJAHN, E. B.; SCHLOSSER, J. F. Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação à tração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 180-189, 2001.

NUNES, M. R.; PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 7, p. 531-539, jul. 2014.

PARFITT, J. M. B.; WINKLER, A. S.; PINTO, M. A. B.; TIMM, L. C. Irrigação e drenagem para cultivo de soja e milho. In: EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A.; OLIVEIRA, A. C. B. **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap. 3, p. 45-78.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. 2009. 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.

SANTOS, P. M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E.; DAVID, R.; NICOLOSO, F. T.; SCHORR, M. R. W.; CARGNELUTTI FILHO, A.; DONATO, G. Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in lowland areas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 9, p. 1572-1578, set. 2016.

VALADÃO, F. C. A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 183-195, 2017.