

Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem¹

Demand of energy in various systems of regular soil preparation before and after subsoiling

Nilson Salvador², Sérgio Hugo Benez³, Renildo Luiz Mion^{4,*} e Carlos Alberto Viliotti⁵

Resumo: A utilização inadequada e o desconhecimento dos diferentes implementos de preparo do solo disponíveis no mercado nacional tornaram-se os principais motivos dos insucessos acontecidos, relacionados à conservação do solo e da água. O preparo periódico é tradicionalmente utilizado após a subsolagem para destorroamento, nivelamento do solo e incorporação de resíduos. Este trabalho objetivou avaliar o requerimento energético de diferentes sistemas de preparo periódico do solo realizado antes e depois da subsolagem num solo classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico. Os sistemas de preparo periódico foram: aração com discos; aração com discos mais uma gradagem de nivelamento; grade aradora; grade aradora mais gradagem de nivelamento e escarificação realizados antes e depois da subsoagem. O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 5x2 com 5 repetições dispostos ao acaso. Os resultados evidenciam que os sistemas de preparo periódico do solo baseados em discos apresentam melhor eficiência energética quando realizados antes da operação de subsolagem. O sistema de preparo do solo com escarificador obteve a menor demanda energética em relação aos demais sistemas de preparo periódico do solo quando realizado depois da subsolagem.

Palavras-chave: Trator. Força de tração. Subsolador. Arado. Grade. Escarificador.

Abstract - Both the inadequate use and the ignorance of the different soil tillage implements available in the home market has become one of the leading motives of failures, related to soil and water conservation. The periodical tillage is traditionally utilized after subsoiling for soil clod breaking, leveling and residue incorporation. This work aimed to evaluate the energy requirement for different periodical soil tillage systems performed before and after subsoiling in a soil classified as Distroferric Red Nitosol. The periodic tillage systems were: disk plowing; disk plowing plus one leveling harrowing; disk harrow; disk harrow plus leveling harrowing stirring. The experimental design was a 5x2 factorial scheme with 5 completely randomized blocks. The results show that the periodic soil preparation systems based on disks have better energy efficiency when performed before the operation of subsoiling. The system of soil preparation with harrowing obtained the lower energy demand, in relation to other periodic soil preparation systems, when done after subsoiling.

Keywords: Tractor. Traction of Force. Subsoiler. Plow. Harrow. Stirrer.

* autor para correspondência

¹ Recebido para publicação em 05/10/2007; aprovado em 13/06/2008

² Eng. Agrícola, D. Sc., Prof. Dep. de Engenharia, UFLA, Lavras, MG, Fone: (0xx) 35-3829-1466, salvador@ufla.br

³ Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Dep. Engenharia Rural, FCA/UNESP – Botucatu, SP

⁴ Eng. Agrícola, D. Sc., Prof. Dep. de Engenharia Agrícola, DENA/UFC – Fortaleza, CE

⁵ Eng. Agrícola, D. Sc., Prof. Dep. de Engenharia Agrícola, DENA/UFC – Fortaleza, CE

Introdução

Nos últimos anos tem-se verificado no Brasil uma maior preocupação com relação aos diferentes implementos para realização do preparo periódico e seus efeitos provocados no solo, sendo geralmente realizado após a subsolagem para desagregar o solo, incorporar resíduos e no preparo de um bom leito para semeadura.

O preparo periódico do solo entende-se como o conjunto de operações realizadas com equipamentos mecânicos, desenvolvidos para conseguir um melhor desenvolvimento das sementes e das plantas cultivadas no solo. Para Hunt (1986), o preparo periódico do solo é atividade de inversão mecânica com propósito de permitir o cultivo de plantas.

Segundo Negi et al. (1990), o desempenho de uma cultura é influenciada pelas condições do solo, fatores climáticos e distribuição de chuvas durante o seu ciclo. Um importante benefício do preparo periódico é a manutenção da estrutura do solo adequada para o crescimento das plantas, mantendo um apropriado tamanho e número de poros no perfil do solo a fim de manter uma quantidade suficiente de água disponível para as plantas.

Para Williford (1980), os sistemas de preparo periódico do solo podem ser utilizados para reduzir a compactação, porém o tráfego de rodas e implementos durante e após o preparo podem recompactar o solo.

O requerimento energético dos sistemas de preparo do solo, segundo Michel Júnior et al. (1985), é dependente da seqüência de realização das operações, bem como dos implementos usados. Observações semelhantes são relatadas por Smith e Fornstron (1980) em que as medições do consumo energético em vários implementos fornecem base para seleção dos mesmos e dos sistemas de cultivos.

Estudando diferentes sistemas de preparo do solo em um solo de textura média na Malásia, Keiralla et al. (2004) concluiu que a grade de discos foi mais eficiente energeticamente quando comparado à enxada rotativa, arado de discos e arado de aivecas.

Kosutic et al. (2005) avaliaram o efeito do preparo de solo na produtividade de milho e soja e concluíram que o preparo do solo, com escarificador, obteve menor requerimento energético, entre 37 e 39%, quando comparado com o preparo com uma aração e duas gradagens de nivelamento.

Filipovic et al. (2005) analisaram a influência da velocidade na exigência energética para o arado de aivecas, variando a velocidade de trabalho de 5 a 7 km h⁻¹, e concluíram que o aumento na velocidade contribuiu para elevar o consumo de combustível por hora em 10,32%, a capacidade de campo efetiva em 38,89% e diminuiu a exigência de energia em 20,57% por hectare.

Para Singe e Singe (1986), o elevado consumo de energia nas operações de preparo periódico do solo em relação às demais se deve ao desenho de muitas ferramentas que são baseadas em experiências práticas e não em conhecimentos científicos. A energia requerida para obter um desejado grau de mobilização do solo, conforme Kepner et al. (1977), depende primariamente da resistência do solo e da eficiência de utilização do implemento.

Salvador et al. (1998), estudando o requerimento de energia em sistemas de preparo baseados em aração (discos e aivecas), gradagem (pesada e niveladora) e escarificação num Latossolo Vermelho Amarelo, concluíram que a escarificação proporcionou menor requerimento de energia que os demais sistemas de preparo periódico do solo.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o requerimento energético de diferentes sistemas de preparo periódico do solo realizados antes e depois da operação de subsolagem.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo. A área experimental foi definida pelas seguintes coordenadas geográficas: Latitude Sul 22° 49' 31" e Longitude Oeste 48° 25' 37". A altitude e a declividade média são

de 770 metros e 2,5%, respectivamente. A área estava sendo cultivada há vários anos com a cultura do milho, utilizando-se ininterruptamente o sistema convencional de preparo do solo (aração e gradagem).

As condições operacionais dos equipamentos foram: a) arado de discos, de arrasto com 4 discos de diâmetro de 710 mm e concavidade de 108 mm, peso aproximado de 1350 kgf - operou com ângulo vertical e horizontal dos discos de 22° e 56°, respectivamente; b) grade aradora de discos, de arrasto, com controle de profundidade por rodas e levantamento através de sistema hidráulico, equipada com 10 discos recortados de 810 mm e concavidade de 101,6 mm espaçados de 440 mm e peso de 3508 kgf – trabalhou centralizada em relação ao trator e com ângulos de 45° entre as seções; c) grade niveladora de discos, de arrasto, equipada com 32 discos de 508 mm e concavidade de 60 mm, espaçados entre si de 167 mm, peso de 687 kgf - operaram centralizadas em relação ao trator e com ângulo de 45° entre as seções; d) escarificador de hastes rígidas sem rolo destorroador equipado com 10 hastes, distribuídas em 3 porta-hastes, e ponteiros de 50 mm de largura e ângulo de ataque de 20°; e) subsolador de arrasto, com controle de profundidade por rodas e sistema de levantamento hidráulico, peso aproximado de 710 kgf, dotado de hastes parabólicas e com ponteiros aladas, equiparado com três hastes, na configuração triangular, espaçados entre si de 70 cm f) trator marca Valmet, modelo 128, 4 x 2 com tração dianteira auxiliar, com potência na TDP à rotação nominal do motor de 76,5 kW, lastrado, com peso em ordem de marcha de 6900 kgf e pneus dianteiros usados R-1 (14.9-26) - pressão de inflado de 95 kPa e traseiros usados R-1 (18.4-34) - pressão de inflado de 110 kPa (os pneus do trator estava usados).

A rotação de trabalho do motor do trator com carga foi de 1750 rpm e as operações sempre realizadas no mesmo sentido. As marchas utilizadas para a gradagem aradora e o escarificação foi a 3ª L, gradagem niveladora 3ª M, aração com discos 2ª M e para a subsolagem 2ª L. Para a aração com discos o pneu direto do trator trabalhou dentro de um sulco feito anteriormente com um arado montado de 1 disco.

Para determinação da força, foi utilizada uma célula de carga modelo U1, precisão $\pm 0,3\%$, capacidade de 5 ton, fabricado pela HBM, instalada entre a barra de tração e o cabeçalho de cada implemento. A força média na barra de tração foi obtida utilizando a força integrada e o tempo gasto para percorrer trinta metros, que também foi utilizado para obtenção da velocidade de deslocamento, permitindo ainda o cálculo da potência na barra de tração. A determinação da quantidade de energia requerida por área foi obtido por meio da equação 1:

$$En = (Pb \times Tgs) \times 1000 \quad (1)$$

Em que:

En = Energia requerida por hectare (Wh ha⁻¹);

Pb = Potência na barra de tração (kW);

Tgs = Tempo gasto par trabalhar 1 hectare (h ha⁻¹);

1000 = conversão de unidades

O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial com blocos dispostos ao acaso, constituídos de cinco tratamentos de preparo periódico e de duas condições de subsolagem, com cinco repetições, totalizando 50 parcelas de 30 m de comprimento por 5 m de largura e entre blocos um espaço de 25 m.

Os tratamentos de preparo periódico foram: D - preparo com arado de discos; Dn - preparo com arado de discos seguido de uma gradagem leve (dados coletados separados); G - preparo com grade aradora; Gn - preparo com grade aradora seguida de uma gradagem leve (dados coletados separados) e; E - preparo com arado escarificador. As condições de preparo foram: AS - antes da subsolagem e DS - depois da subsolagem.

O solo utilizado para as determinações foi classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico conforme EMBRAPA (1999) e textura argilosa (areia, 17,4%; silte, 31,4% e argila 51,2%). As operações de preparo periódico foram realizadas quinze dias antes da subsolagem, quando o solo apresentava em média um teor de água de 0,19 e 0,26 m³ m⁻³ nas camadas de 0 a 10 e de 11 a 20 cm de profundidade, e a densidade

do solo foi de 1,40 e 1,41 Mg m⁻³ nas diferentes camadas, respectivamente. O preparo periódico depois da subsolagem foi realizado depois de 17 dias apresentando um teor de água de 0,18 e 0,25 m³ m⁻³ para as camadas de 0 a 10 e 11 a 20 cm, respectivamente.

A profundidade média de trabalho do arado, grade aradora e escarificador foi tomada de 50 em 50 mm no sentido transversal ao da faixa trabalhada utilizando-se um perfilômetro, encontrando os seguintes valores: 185; 160 e 169 mm, respectivamente, enquanto que a do subsolador foi de 312 mm.

Resultados e discussão

Na Tabela 1, observa-se que dentro das condições de preparo, cada implemento teve um comportamento. No preparo antes da subsolagem, a grade aradora e o escarificador superaram o arado em exigência de força de tração. Já no preparo depois da subsolagem, a maior exigência de força foi para grade aradora, seguida do arado e do escarificador. Esse desempenho da grade aradora deve-se a sua largura de corte e seu maior peso, em relação aos demais implementos.

Tabela 1 - Força média de tração (N) requerida pelos implementos, em função do preparo realizado antes e depois da subsolagem

Sistemas de preparo	Força média de tração (N)		Diferença (%)
	Condições de preparo AS	DS	
D	17880 B a	19440 C b	-8,0
Dn D	17730 B a	20060 C b	-11,7
n	5420 A a	7450 A b	-27,3
G	25940 C a	29340 D b	-11,6
Gn G	26690 C a	29400 D b	-9,2
n	6090 A a	8270 A b	-26,5
E	25530 C b	11440 B a	123,2
Média	17610 a	17910 a	4,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Verificando a força de tração requerida pelos implementos, dentro do preparo antes e depois da subsolagem, verifica-se que a melhor condição de uso desses implementos é antes da subsolagem, à exceção do escarificador que exigiu 123,2% a mais de força quando usados antes da operação de subsolagem.

A menor exigência de força de tração do escarificador após a subsolagem é devida à forma de ação das ferramentas ativas. Já a maior exigência de força dos demais implementos no preparo depois da subsolagem se deve a maior profundidade de trabalho dos órgãos ativos, em solos soltos, de suas rodas controladoras de profundidade.

A velocidade média operacional de cada implemento usado, conforme mostra a Tabela 2, foi estatisticamente igual, tanto numa condição de preparo quanto na outra. As diferenças nas velocidades de deslocamentos entre os implementos também eram esperados, pois foram projetados para trabalhar a diferentes velocidades de deslocamento, conforme relata Smith e Fornstron (1980).

Observa-se, na Tabela 3, que na condição de preparo do solo antes da subsolagem, as operações com arado de discos necessitaram

Tabela 2 - Velocidade média operacional (m s⁻¹) para cada implemento, em função das condições de preparo periódico do solo

Sistemas de preparo	Velocidade média operacional (m s ⁻¹)			Diferença (%)
	Condições de preparo AS	DS		
D	1,41 Ba	1,43 Ba		-1,1
Dn D	1,42 Ba	1,38 Bb		2,8
n	1,84 Aa	1,77 Ab		3,4
G	0,82 Ca	0,72 Db		13,8
Gn G	0,80 Ca	0,65 Db		23,1
n	1,80 Aa	1,78 Aa		1,1
E	0,86 Cb	0,91 Ca		-5,5
Média	1,28 a	1,23 b		5,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

de mais potência do que aquelas com grade pesada e com escarificador. No preparo depois da subsolagem, a necessidade de potência teve o mesmo comportamento, porém a operação de escarificação consumiu menos potência do que a de gradagem de nivelamento, face à atuação do escarificador como grade de dentes.

Tabela 3 - Potência média na barra de tração (W) requerida pelos implementos, em função das condições de preparo

Sistemas de preparo	Potência na barra de tração (W)		Diferença (%)
	Condições de preparo AS	DS	
D	25270 C a	27800D b	-9,1
Dn D	25260 C a	27720 D b	-8,9
n	10000 A a	13060AB b	-23,4
G	21240 B a	21330 C a	-0,4
Gn G	21300 B b	19390 C a	9,8
n	10910 A a	14770 B b	-26,1
E	20290 B b	10460 A a	94
Média	19180 a	19220 a	5,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Analisando os dados de potência requerida para cada implemento, numa condição de preparo versus a outra, verifica-se que as operações com arado de discos e com grade niveladora foram melhores quando executadas antes da subsolagem ou em solo firme, considerando as mesmas condições de regulagens e operacionais. Já as operações de gradagem pesada (GnG) e de escarificação (E) necessitaram de menos potência quando realizadas depois da subsolagem.

O menor requerimento de potência da gradagem niveladora pode ser explicado por ser ela um equipamento de operação complementar ao arado de discos e à grade aradora e trabalhar a uma profundidade menor e a uma velocidade maior, demandando menos potência do trator.

Os resultados do requerimento energético apresentados na Tabela 4, para os sistemas

de preparo periódico do solo, foram iguais, independente da condição de preparo. Entretanto, observa-se que, na condição de preparo antes da subsolagem, a escarificação foi o sistema mais eficiente com melhor aproveitamento energético, pois consumiu 9,3% menos de energia do que a gradagem pesada e 20,9% menos do que a aração.

Os sistemas de preparo com operação complementar necessitaram de maior quantidade de energia que os demais, sendo que o sistema de preparo com aração e gradagem consumiu 6,7% a mais de energia do que o sistema com grade aradora e grade niveladora, quando realizados antes da subsolagem.

Tabela 4 - Energia requerida por área (Wh ha⁻¹), em função dos sistemas e condições de preparo

Sistemas de preparo	Energia requerida (Wh ha ⁻¹)		Diferença (%)
	Condições de preparo AS	DS	
D	39710 C a	43180 C b	-8,0
Dn	45420 E a	52830 E b	-14,0
G	34640 B a	39180 B b	-11,6
Gn	42390 D a	48440 D b	-12,5
E	31410 A b	15270 A a	105,7
Média	38710 a	39780 b	11,9

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Comparando os resultados de cada sistema de preparo, numa condição e noutra, observa-se que o preparo realizado antes da subsolagem ou em solo firme foi mais vantajoso, à exceção do sistema de escarificação que consumiu 105,7% a menos de energia quando realizado depois da subsolagem, concordando com Michel Júnior et al. (1985), de que a quantidade de energia requerida por um implemento depende do sistema de preparo no qual ele é empregado e da seqüência de realização das operações, além do que destacam a economicidade energética do sistema de preparo com escarificador.

Conclusões

O sistema de preparo do solo com escarificador obteve a menor demanda energética em relação aos demais sistemas de preparo periódico do solo quando realizado depois da subsolagem. Os sistemas de preparo periódico do solo baseados em discos apresentam melhor eficiência energética quando realizados antes da operação de subsolagem.

Referências

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.
- FILIPOVIC, D.; KOSUTIC, S.; GOSPODARIC, Z. Energy requirement in conventional tillage of silty clay soil in west Slavonia. **Journal of Central European Agriculture**, v. 05 n. 05, p. 383-392, 2005.
- HUNT, D. **Maquinaria agrícola**: rendimento económicos, custos, operaciones, potencia y seleccion de equipo. 7. ed. México: Limusa, 1986. 451 p.
- KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. 3. ed. Westport: Avi, 1977. 527 p.
- KHEIRALLA, A. F. et al. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia. **Soil e Tillage Research**, v. 78, n. 01 p. 21-34, 2004.
- KOSUTIC, S. et al. Effects of different soil tillage systems on yield of maize, winter wheat and soybean on albic luvisol in north-west slavonia. **Journal of Central European Agriculture**, v. 06, n. 03, p. 241-248, 2005.
- MICHEL JÚNIOR, A. J.; FORNSTON, K. J.; BORRELLI, J. Energy requeriments of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. **Transaction of ASAE**, v. 28, n. 06, p. 1731-1735, 1985.
- NEGI, S. C. et al. The effect to compaction and minimum tillage on corn yields and soil properties. **Transaction of ASAE**, v. 23, n. 03, p. 744-747, 1990.
- SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Requerimento energético e desagregação do solo em diferentes sistemas de preparo periódico num Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 06, n. 04, p. 226-234, 1998.
- SANTOS, J. E. G. dos. **Equipamento conjugado de preparo do solo: desempenho em função da posição das hastas escarificadoras, do tipo de ponteira e da rotação do rotor**. 1993. 178 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- SINGE, G.; SINGE, D. Optimum energy model for tillage. **Soil e Tillage Research**, v. 06, n. 03, p. 235-245, 1986.
- SMITH, J. A.; FORNSTON, K. J. Energy requeriments of selected dryland wheat cropping systems. **Transaction of ASAE**, v. 23, n. 04, p. 822-825, 1980.
- WILLIFORD, J. R. A controlled-traffic system for cotton production. **Transaction of ASAE**, v. 33, n. 01, p. 65-70, 1980.