

## Demanda energética na subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo

Energy demand in the subsoiling performed before and after different systems of periodic soil tillage

Nilson Salvador<sup>I</sup> Sérgio Hugo Benez<sup>II</sup> Renildo Luiz Mion<sup>III</sup>

### RESUMO

A subsolagem é uma das operações mecanizadas de elevado custo e demanda energética por área, tradicionalmente utilizada pelos agricultores antes do preparo do solo na descompactação de camadas adensadas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a demanda energética na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico num solo classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico. 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. O trator utilizado como fonte de potência no experimento foi um Valmet 128 (4x2tda). A demanda energética por área foi menor na subsolagem realizada depois do preparo periódico do solo, proporcionando uma economia de 21,9%. A realização da subsolagem depois do preparo periódico do solo resultou numa diminuição da exigência de força de tração em 21,1% e da potência disponível na barra de tração em 15%.

**Palavras-chave:** subsolador, compactação, potência disponível, hastes.

### ABSTRACT

Subsoiling is one of the mechanized operations of high cost and energy demand per area, traditionally utilized by farmers before soil tillage in the decompactation of hardened layers. This research was intended to evaluate the energy demand in the subsoiling operation performed before and after different systems of periodic tillage in a soil classified as Distroferric Red Nitossol. The periodic tillage systems were: plowing with disks; plowing with disks plus one leveling; plowing harrow; plowing harrow plus leveling and chiseling. The tractor utilized as a power source in the experiment was a Valmet 128 (4x2tda). The demand for energy area was lower in subsoiling held after

the regular preparation of the soil, providing a saving of 21.9%. The completion of subsoiling after the preparation of the soil resulted in a decrease in demand for power to pull in 21% and 15% of the power available in the bar of traction.

**Key words:** subsoiler, compaction, available draw power, rods.

### INTRODUÇÃO

Grande parte das práticas agrícolas atuais usadas no processo produtivo tem corroborado para a degradação dos recursos naturais e para dependência, cada vez maior, da agricultura moderna em energia. Esses fatos têm provocado a união de esforços comuns de estudiosos da área agrônômica e de agricultores na busca de sistemas agrícolas econômicos e tecnicamente viáveis (BURT & BAILEY 1982). Dentre as operações mecanizadas de campo necessárias a cada etapa do processo produtivo, a subsolagem é que mais requer energia.

Com a subsolagem, as raízes exploraram maior volume de solo no perfil, com maior densidade e melhor distribuição das raízes, indicando um ambiente mais favorável ao crescimento radicular, embora não tenha afetado a produtividade, conforme conclusão de SEIXAS et al. (2005).

A operação de subsolagem, usada para romper camadas subsuperficiais compactadas, tem sido muito questionada pelos agricultores, devido ao seu elevado custo financeiro e às incertezas da duração de

<sup>I</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil.

<sup>II</sup>Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP, Brasil.

<sup>III</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Bloco 804, 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: rmion@ufc.br. Autor para correspondência.

seus efeitos benéficos. Sugere-se a inversão da tradicional sequência operacional de subsolagem seguida de preparo periódico, uma vez que essas operações mobilizam previamente parte do perfil do solo a ser rompido pelas hastes subsoladoras, reduzindo, dessa forma, a ação das ferramentas, além de reduzir ou dispensar o tráfego da maquinaria para o preparo logo após a operação de subsolagem.

O rompimento de camadas subsuperficiais compactadas proporciona a redução da resistência à penetração, o aumento da infiltração de água, a difusão do oxigênio e a melhoria da condutividade hidráulica, conforme IDE et al. (1987). Os mesmos autores observaram que essa melhoria na estrutura do solo aumenta a umidade e a disponibilidade de nutrientes, o que favorece o aumento da produtividade das culturas.

O requerimento de energia no preparo depende, em parte, da sequência de realização das operações. MICHEL JÚNIOR et al. (1985) afirmam que as medições de exigência de força e potência na barra de tração, do consumo de combustível e a necessidade de energia fornecem bases para seleção de implementos e sistemas de cultivo. Esses parâmetros têm sido usados por LANÇAS (1987), BICUDO (1987), LANÇAS (1988) e BICUDO (1990) para estudar o desempenho de subsoladores.

Outra consideração a respeito da subsolagem que não se tem estudado extensivamente está relacionada ao máximo rompimento do solo, aumentando, desse modo, os benefícios da subsolagem ao longo do tempo (RAPER & SHARMA, 2004). A subsolagem é recomendada rotineiramente quando o solo está mais seco para maximizar o rompimento, mas existem poucos dados para sustentar esta recomendação (SCHULER et al., 2000). Este trabalho objetivou estudar a demanda energética da subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA/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. Esta área estava sendo cultivada há vários anos com a cultura do milho, utilizando-se ininterruptamente o sistema convencional de preparo do solo (aração com disco e gradagens leves). O solo utilizado foi um Nitossolo Vermelho Distroférico,

conforme EMBRAPA (1999). A análise granulométrica no perfil foi: 174g kg<sup>-1</sup> areia, 314g kg<sup>-1</sup> silte e 512g kg<sup>-1</sup> argila, sendo a classe textural desse solo classificada como argilosa.

As características dos equipamentos utilizados são as seguintes: a) arado de arrasto, marca SANS, modelo 1M; b) grade aradora - tipo *off set*, marca Marchesan, modelo GAPC/R; c) grade niveladora - tipo *off set*, marca Marchesan, modelo GNL/32-784; d) escarificador de hastes rígidas sem rolo destorroador, marca JAN, o qual teve seu sistema de engate de três pontos modificado para funcionar como de arrasto; e) subsolador de hastes parabólicas, marca Maschietto e modelo ASA 25x5, equipado com três hastes e ponteiros aladas; f) trator Valmet 128 (4 x 2 TDA.).

Para determinação da exigência de força na barra de tração e velocidade média operacional, foram utilizados: a) célula de carga modelo U1, precisão  $\pm 0,3\%$ , capacidade de 5t, fabricado pela HBM, instalada entre a barra de tração e o cabeçalho de cada implemento; b) indicador de força instantânea, modelo MVD / 2405, capacidade de quatro dígitos, precisão  $\pm$  um dígito, fabricada pela HBM (os aparelhos, bem como um assento para o instrumentador, foram posicionados na parte posterior do trator); c) indicador de força integrada composto de conversor de voltagem/frequência e confeccionado no Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA, Sorocaba, São Paulo; d) freqüencímetro da marca New Port, modelo 6220; e) cronômetro modelo EAA - 110 com base quartzo e precisão  $\pm 0,01$  segundo, fabricado pela Eletronic Assembly.

As condições operacionais dos equipamentos foram: a) arado - ângulo vertical e horizontal dos discos de 22° e 56°, respectivamente; b) grade aradora e grade niveladora - centralizadas em relação ao trator e com ângulo de 45° entre as seções; c) escarificador - equipado com 10 hastes distribuídas em três porta-haste e ponteiros de 50mm de largura com ângulo de ataque de 20°; d) subsolador - equipado com três hastes na configuração triangular, espaçados entre si de 70cm, segundo recomendações de SPOOR & GODWIN (1978) e BICUDO (1987); e) trator lastrado, com peso em ordem de marcha de 6900 kgf, com pneus dianteiros R-1 (14.9-26) - pressão de inflado de 95kPa e traseiros R-1 (18.4-34) - pressão de inflado de 110kPa.

A força média na barra de tração foi obtida utilizando a força integrada e o tempo gasto para percorrer 30m, que também foi utilizado para obtenção da velocidade de deslocamento, permitindo ainda o cálculo da potência na barra de tração. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em

esquema fatorial, constituído de duas condições de subsolagem e de cinco tratamentos de preparo periódico, com cinco repetições, totalizando 50 parcelas de 30m de comprimento por 5m de largura.

Os tratamentos de preparo periódico foram: D - preparo com arado de discos; Dn - preparo com arado de discos seguido de uma gradagem leve; G - preparo com grade aradora; Gn - preparo com grade aradora seguida de uma gradagem leve; e E - preparo com escarificador. As condições de subsolagem foram: AP - antes do preparo e DP - depois do preparo periódico do solo. Para realizar a análise estatística, foi utilizado o pacote estatístico Sanest. Os fatores foram submetidos ao teste F, no nível de 5% de probabilidade de erro. Para comparação das médias, foi utilizado o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade de erro.

Independentemente das condições de subsolagem, foram mantidas as mesmas marcha no trator, a rotação do motor e regulagens no subsolador. A profundidade média de trabalho do arado, da grade aradora e do escarificador, tomada de 50 em 50mm no sentido transversal ao da faixa trabalhada, foi de 185, 160 e 169mm, respectivamente, enquanto que a do subsolador foi de 312mm.

As operações de preparo periódico foram realizadas 15 dias antes da subsolagem, quando o solo apresentava, em média, um teor de água de 19,8 e 26,2Mg m<sup>-3</sup> nas camadas de 0 a 10 e de 11 a 20cm de profundidade, respectivamente. Durante a operação de subsolagem, as médias do teor de água nas camadas de solo de 0 a 10, 11 a 20, 21 a 30 e de 31 a 40cm de profundidade foram de 19,4, 26,6, 24,9 e 31,9Mg m<sup>-3</sup> nas parcelas não preparadas, respectivamente. A densidade do solo nas camadas de 0 a 10, 11 a 20, 21 a 30 e 31 a 40cm de profundidade foram, respectivamente, 1,40; 1,40; 1,42 e 1,41Mg m<sup>-3</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre condições de subsolagem *versus* sistema de preparo periódico foi significativa no nível de 5 % de probabilidade de erro pelo teste de F, para as variáveis força e potência na barra de tração e demanda energética. Entretanto, para a variável velocidade de deslocamento, a interação não foi significativa. A força de tração na condição DP foi estatisticamente maior nos sistemas G e Gn (Tabela 1), o que provavelmente se deve à menor profundidade de ação e conseqüentemente à maior ação das hastes subsoladoras em solo não revolvido ou então se deve à maior velocidade operacional, pois a exigência de força pelas hastes depende, dentre outros fatores, da velocidade de deslocamento e da profundidade de operação, conforme mencionam SHAFER et al. (1969); UPADHYAYA et al. (1984); BICUDO (1987) e LANÇAS (1987).

Quanto à força de tração necessária na operação de subsolagem, pode-se verificar que a subsolagem realizada na condição depois do preparo (DP) foi melhor (Tabela 1), com redução de até 28,8% na exigência de força de tração para o arado de discos seguido de uma gradagem niveladora (Dn), em relação à utilização antes do sistema de preparo periódico do solo. Nota-se que, apesar da maior resistência ao rolamento oferecida às rodas controladoras de profundidade do subsolador, a exigência de força depois do preparo foi, em média, 21,9% menor que a subsolagem realizada antes do preparo. Os resultados na condição AP estão proporcionalmente compatíveis com os observados por LANÇAS (1988) e inferiores aqueles obtidos por BICUDO (1990), quando usou ponteiros sem asas nos ensaios.

Embora a interação não tenha sido significativa, houve diferença estatística da velocidade média em comparação com a operação de subsolagem realizada antes e depois dos diferentes sistemas de preparo periódico (Tabela 2). Quando a subsolagem

Tabela 1 - Força média de tração (kN) requerida na operação de subsolagem e realizada antes e depois do preparo periódico do solo.

Sistemas de preparo	Força média de tração (kN)		Diferença (%)
	-----Condições de subsolagem-----		
	Antes do preparo do solo	Depois do preparo do solo	
Arado de discos	40,62Ab	30,79Aa	-24,2
Arado de discos + gradagem niveladora	42,14Ab	30,00Aa	-28,8
Gradagem pesada	39,64Ab	32,84Aba	-17,2
Gradagem pesada + gradagem niveladora	39,81Ab	34,11Ba	-14,3
Escarificador	40,09Ab	30,39Aa	-25,1
Média	40,09	31,63	-21,9

Médias não seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Velocidade média operacional (Km h<sup>-1</sup>) em função das condições de subsolagem e dos sistemas de preparo.

Sistemas de preparo	Velocidade média operacional (Km h <sup>-1</sup> )		Diferença (%)
	-----Condições de subsolagem-----		
	Antes do preparo	Depois do preparo	
Arado de discos	2,10Ab	2,31Aa	9,1
Arado de discos + gradagem niveladora	2,06Ab	2,35Aa	12,3
Gradagem pesada	2,17Aa	2,22Aa	2,3
Gradagem pesada + gradagem niveladora	2,10Ab	2,39Aa	12,3
Escarificador	2,14Aa	2,25Aa	4,9
Média	2,11 b	2,30 a	8,2

Médias não seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

foi realizada depois do preparo do solo, houve um aumento na velocidade de trabalho de 8,2% em média, apesar da menor aderência e da maior resistência ao rolamento oferecida pela superfície do solo previamente mobilizada, mas favorecido pelo fato de a camada a ser descompactada pelo subsolador ser menor.

Na subsolagem depois do preparo (DP), a maior potência ocorreu no sistema de preparo Gn, devido à maior exigência de força de tração (Tabela 3), pois a potência na barra de tração é função da força de tração requerida e da velocidade operacional, conforme observação relatada também por LANÇAS (1988).

Os resultados da subsolagem antes do preparo (AP) (Tabela 3) estão próximos dos encontrados por LANÇAS (1988), considerando-se o espaçamento usado entre hastes pelo autor. Segundo BURT e LYNE (1989), com melhoramentos na eficiência trativa dos tratores e dos pneumáticos agrícolas, pode-se usar tratores de menor potência para a operação de subsolagem depois do preparo do solo, melhorando a produtividade das culturas reduzindo a compactação do solo e os custos operacionais diretos.

Comparando os valores da potência das condições de subsolagem, dentro de cada sistema de preparo (Tabela 3), pode-se observar que, à exceção do sistema de preparo Gn, a subsolagem depois do preparo (DP) foi reduzida para em média 15% a menos de potência em comparação com a condição antes do preparo (AP).

A demanda de energia por área foi maior quando a subsolagem foi realizada antes do preparo periódico do solo independente do sistema utilizado (Tabela 4). O requerimento energético da subsolagem realizada depois do preparo do solo que envolveu grade aradora (G e Gn) foi maior que os demais. Esse comportamento se deve à maior força de tração nesses sistemas, pois esse parâmetro se correlacionou positivamente com a energia requerida.

Observa-se que a subsolagem na condição (DP) foi mais vantajosa, independente dos sistemas de preparo, pois resultou, em média, numa economia de 21,9% na demanda de energia por hectare. Para SMITH & FORNSTRON (1980) e MICHEL JÚNIOR et al. (1985), o consumo de energia no campo deve ser considerado e depende da forma e da sequência de utilização dos implementos.

Tabela 3 - Potência média na barra de tração (kW) requerida pelo subsolador em função das condições de preparo.

Sistemas de preparo	Potência na barra de tração (kW)		Diferença (%)
	-----Condições de subsolagem-----		
	Antes do preparo	Depois do preparo	
Arado de discos	23,68Ab	19,76Aa	-16,2
Arado de discos + gradagem niveladora	24,13Ab	19,50Aa	-19,2
Gradagem pesada	23,90Ab	20,59Aa	-15,1
Gradagem pesada + gradagem niveladora	23,24Aa	22,58Ba	-2,8
Escarificador	24,07Ab	19,00Aa	-21,1
Média	23,80	19,00	-15,00

Médias não seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Energia requerida por área (kWh ha<sup>-1</sup>) em função das condições de subsolagem e dos sistemas de preparo.

Sistemas de preparo	Energia requerida (kWh ha <sup>-1</sup> )		Diferença (%)
	-----Condições de subsolagem-----		
	Antes do preparo	Depois do preparo	
Arado de discos	54,49Ab	41,30ABa	-24,2
Arado de discos + gradagem niveladora	56,54Ab	40,24Aa	-28,8
Gradagem pesada	53,18Aa	44,06BCa	-17,2
Gradagem pesada + gradagem niveladora	53,40Ab	45,76Ca	-14,3
Escarificador	54,46Ab	40,77ABa	-25,1
Média	54,41	42,43	-21,9

Médias não seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

## CONCLUSÃO

A demanda energética por área foi menor na subsolagem realizada depois do preparo periódico do solo, proporcionando economia de 21,9%. A realização da subsolagem depois do preparo periódico do solo resultou numa diminuição da exigência de força de tração em 21,15% e da potência disponível na barra de tração em 15%.

## REFERÊNCIAS

- BICUDO, S.J. **Subsolador: relação entre a profundidade de trabalho, largura das sapatas e espaçamentos das hastes.** 1987. 83f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, SP.
- BICUDO, S.J. **Subsolador: algumas relações entre profundidade de trabalho, largura das sapatas e números de hastes.** 1990. 130f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, SP.
- BURT, E.C., BAILEY, A.C. Load and inflation pressure effects on tires. **Transaction of the ASAE**, v.25, n.4, p.881-884, 1982.
- BURT, E.C. et al. Ballast and inflation effects on tire tractive. **Transaction of the ASAE**, v.26, n.5, p.1352-1354, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro nacional de pesquisas de solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, 1999. 412p.
- IDE, G. et al. Root growth of winter barley in response to subsoiling. **Soil & Tillage Research**, v.30, n.4, p. 419-431, 1987.
- LANÇAS, K.P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidade de deslocamento.** 1987. 112f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, SP.
- LANÇAS, K.P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes.** 1988. 171f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, SP.
- MICHEL JÚNIOR, A.J. et. al. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. **Transaction of the ASAE**, v.28, n.6, p.1731-1735, 1985.
- RAPER, H.; SHARMA, A.K. Soil moisture effects on energy requirements and soil disruption of subsoiling a coastal plain soil. **Transaction of the ASAE**, v.47, n.6, p.1899-1905, 2004.
- SCHAFER, R.L. et. al. An interpretation of distortion in the similitude of certain soil-machine systems. **Transaction of the ASAE**, v.12, n.1, p.145-149, 1969.
- SCHULER, R.T. et. al. Soil compaction. In: REEDER, R.C. (Ed.). **Conservation tillage systems and management.** Ames, Iowa: Midwest Plan Service, 2000. p.70-76.
- SEIXAS, J. et al. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782005000400007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782005000400007&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 26 mai. 2008. doi: 10.1590/S0103-84782005000400007.
- SMITH, J.A.; FORNSTON, K.J. Energy requirements of selected dryland wheat cropping systems. **Transaction of the ASAE**, v.23, n.4, p.822-825, 830, 1980.
- SPOOR, G.; GODWIN, R.J. An experimental investigation into deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.23, p.243-58, 1978.
- UPADHYAYA, S.K. et al. Energy requirements for chiseling in Coastal Plain soils. **Transaction of the ASAE**, v.27, n.6, p.1643-1649, 1984.