

XI. ENGENHARIA AGRÍCOLA

DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM ARADO DE DISCOS⁽¹⁾

ROBERTO DA CUNHA MELLO⁽²⁾ e PAULO SÉRGIO GRAZIANO MAGALHÃES⁽³⁾

RESUMO

Desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de um arado de três discos, reversível, e estabelecer uma relação em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque horizontal dos discos, caracterizados pela resistência específica e pelo consumo de combustível por volume de solo mobilizado. Os resultados mostraram que a resistência específica do solo não diferiu significativamente nem com a velocidade de deslocamento nem com o ângulo de ataque horizontal dos discos. O consumo de combustível variou com a velocidade, mas não em relação ao ângulo de ataque horizontal dos discos. Os valores da resistência específica variaram na faixa de 6,37 a 7,22 N/cm², em média, enquanto o consumo de combustível por volume de solo mobilizado variou entre 6,17 e 9,05 mL/m³, em média, trabalhando a uma profundidade média de 20 cm, e velocidades de deslocamento de 2,5 a 6,0 km/h, em média.

Termos de indexação: arado, ensaio de desempenho, resistência específica do solo.

ABSTRACT

TEST PERFORMANCE OF A DISK PLOUGH

This study was conducted with the objective of evaluating a disc plough and to establish a relationship between the soil specific resistance and fuel consumption by volume of soil disturbed established as function of the travel speed and the disc horizontal cutting angle. The results showed that the soil specific resistance did not differ significantly with the increment of the travel speed, and neither by alterations in the disc cutting angle. The fuel consumption by volume of soil disturbed

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 19 de outubro de 1994 e aceito em 6 de junho de 1995.

⁽²⁾ Seção de Máquinas de Colheita e Processamento de Produtos Agrícolas, Divisão de Engenharia Agrícola (DEA), Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 26, 13200-970 Jundiaí (SP).

⁽³⁾ Departamento de Máquinas Agrícolas, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), UNICAMP, Caixa Postal 6011, 13081-970 Campinas (SP).

reduced with the increment of travel speed but was not influenced by the disk cutting angle. The values of soil specific resistance was in a range of 6.37 to 7.22 N/cm², in average, and the fuel consumption by volume of soil disturbed was in a range of 6.17 to 9.05 mL/m³, in average, at the cutting depth of 20 cm. The tractor speed was in a range of 2.5 to 6.0 km/h, in average.

Index terms: plough, performance test, soil specific resistance.

1. INTRODUÇÃO

O preparo do solo representa uma operação básica na agricultura, devendo-se, porém, adaptá-lo a uma cultura específica em uma seqüência de produção distinta, pois influencia o desenvolvimento das plantas e altera as condições físicas do solo, as quais são exigidas diferencialmente para cada cultura em intensidade e profundidade (Ouwkerk & Boome, 1970).

Segundo Sousa (1972), a aração, uma das fases do preparo do solo, consiste no corte, elevação e posterior inversão de uma fatia de solo denominada leiva. Visa-se, com essa operação, revolver o solo, arejando as camadas internas; incorporar-lhe restos de cultura, adubos, corretivos e controle de plantas daninhas; facilitar o uso de outras máquinas e tornar o solo um leito favorável à germinação e ao desenvolvimento das sementes.

Apesar de propiciar condições favoráveis ao crescimento e à produção das plantas, o preparo intensivo do solo e a movimentação de veículos e máquinas, geralmente pesados, ao longo da área das culturas, têm provocado a formação de camadas compactadas, que constituem um fator negativo à produtividade agrícola.

A principal vantagem dos arados de discos, quando comparados com os de aivecas, é que, para executar sua função, trabalham com movimento de rotação, sendo, portanto, menos suscetíveis a impactos. Ao encontrar um obstáculo, o disco rola sobre ele, diminuindo a influência do impacto sobre a estrutura. Por esse motivo, obtiveram grande aceitação no País, uma vez que eram os implementos ideais para o preparo do solo feito na abertura de novas áreas destinadas à agricultura, onde a presença de tocos e raízes impedia ou dificultava o

funcionamento dos arados de aiveca. Essa é uma das razões pelas quais ainda predomina o uso dos arados de disco, principalmente quando a tração é motorizada (Balastreire, 1987).

Considerando tais fatores e a escassez de dados sobre esse tipo de implemento, tão importante em nossa agricultura, é que surgiu este trabalho. O interesse é obter dados que contribuam para o desenvolvimento e o aprimoramento do arado de discos, e também o seu uso de maneira eficiente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o ensaio em latossolo roxo, no campo experimental da Universidade de Campinas na unidade do Centro de Pesquisas Pluridisciplinares Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA).

Coletaram-se amostras a 15 cm de profundidade para determinação da densidade aparente e teor de água no solo, as quais revelaram os seguintes valores médios: densidade aparente, 1,27 g/cm³ e teor de água no solo no dia do ensaio, 20,48%.

A análise granulométrica apresentou as seguintes porcentagens médias: 60 de argila, 14 de silte e 26 de areia total.

O valor médio da resistência do solo à penetração foi de 346 N/cm². A coesão do solo teve valor médio de 0,32 kPa e o ângulo de atrito interno foi de 20°.

O terreno, com declividade média de 0,3%, encontrava-se coberto por plantas daninhas de pequeno porte, em sua maioria do tipo picão-preto (*Bidens pilosa* L.), carrapicho (*Acanthospermum hispidum*) e capim (*Rhynchelytrum roseum*).

2.1 Material

Para a determinação da força de tração requerida pelo arado, empregou-se um sistema "comboio", cuja constituição prevê o uso de dois tratores, um em que é acoplado o implemento, o outro, para tracionar o conjunto. Entre ambos, instalou-se uma célula de carga com capacidade de 50 kN.

Utilizou-se, para tracionar o conjunto, um trator de rodas pneumáticas, 4 x 2, marca Massey Ferguson, modelo MF 290 com motor diesel de quatro cilindros, potência máxima de 62,5 kW a 2.200 rpm. O acoplamento do implemento foi realizado em um trator CBT, modelo 8240, com motor diesel de quatro cilindros, potência máxima de 64,0 kW a 2.300 rpm, equipado com controle remoto associado ao sistema hidráulico para reversão do implemento. Obtiveram-se as diferentes velocidades mediante seleção prévia das marchas do trator utilizado para tração, trabalhando sempre na mesma rotação do motor (1.800 rpm). Para a velocidade denominada de V1, correspondente a uma média de 2,5 km/h, utilizou-se segunda reduzida; para V2, relativa a 4,9 km/h, quarta reduzida e, para V3, correspondente a 6,0 km/h, primeira simples.

O arado ensaiado foi um modelo de três discos, montado, reversível, da marca JAN, AR 330, n.º de série 001, com as seguintes características:

- a) Diâmetro dos discos: 30 polegadas (760 mm), com afiação interna;
- b) Concavidade dos discos: 6,52;
- c) Diâmetro da roda-guia: 550 mm;
- d) Espaçamento entre discos: 585 mm;
- e) Altura da torre: 345 mm;
- f) Comprimento da viga principal (apo): 1.430 mm.

A profundidade de corte é controlada, basicamente, pela alavanca de profundidade do sistema hidráulico do trator, regulando-se a pressão da mola da roda-guia.

O ângulo horizontal dos discos é regulado através de um cursor e uma chapa vazada posicionada

entre o chassi e a viga principal. Deslocando o cursor para a frente, aumenta-se, simultaneamente, o ângulo de corte de todos os discos. Para realização do ensaio, os discos apresentaram angulação de: L1 = 35°, correspondente a uma largura de corte de 84,0 cm; L2 = 43° relativa a uma largura de corte de 92,5 cm; e L3 = 52°, correspondente a uma largura de corte de 105 cm.

O ângulo vertical dos discos, com 22° de inclinação, não possui regulagens.

Para medir o consumo de combustível, construiu-se um aparelho semelhante ao descrito por Gamero et al.(1986), composto por uma caixa de alumínio, uma proveta de 500 mL e duas válvulas solenóides de três vias para controle automático do fluxo, com acionamento elétrico.

2.2 Métodos

A área foi previamente demarcada com um sulco aberto, pelo próprio arado, ao longo das parcelas, para que os tratores se deslocassem com as rodas de um dos lados dentro do sulco.

Força de tração

Determinou-se, primeiramente, uma força, denominada tara, necessária para tracionar apenas o trator de acoplamento. Pela diferença entre a força de tração medida durante o ensaio e a tara, obteve-se a componente longitudinal do esforço tratório, exigido pelo implemento.

Resistência específica do solo

Essa resistência é o quociente entre a força de tração e a área trabalhada, estabelecida pela diferença entre o perfil inicial do solo e o perfil final do sulco, medidos com o auxílio de perfilômetro. O solo mobilizado foi retirado com o cuidado necessário para não afetar a área não mobilizada.

Consumo de combustível por volume de solo mobilizado

Mediu-se o volume de combustível (mL) consumido pelo trator durante seu deslocamento na parcela de ensaio. Para determinação do combustível

em mL/m³, dividiu-se seu consumo por parcela pelo volume de solo mobilizado (área da seção trabalhada pelo comprimento da parcela).

Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial, com três repetições, procurando-se analisar o efeito do arado de disco, trabalhando em três velocidades, e três ângulos de ataque horizontal sobre a resistência específica do solo e sobre o consumo de combustível por volume de solo mobilizado.

As médias foram comparadas mediante o teste de Tukey, ao nível de 5%, utilizando-se uma análise de regressão para ajustar os dados a um modelo matemático.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da força de tração e da área da seção trabalhada, em função dos quais foi calculada a resistência específica do solo, encontram-se, respectivamente, nos quadros 1 e 2. Embora tais parâmetros não fossem o objetivo principal do trabalho, os valores são apresentados como subsídio para pesquisas que envolvam a estimativa de requerimentos de tração por arados de discos.

Verifica-se, no quadro 1, que a força de tração não variou significativamente em relação à velocidade de trabalho, o que contradiz resultados de McKibben & Reed (1952): analisaram grande número de ensaios com implementos de preparo do solo em treze solos diferentes, encontrando evidências do aumento da componente longitudinal do esforço tratório à proporção da velocidade de deslocamento. Resultados semelhantes aos de McKibben & Reed (1952) também foram encontrados por Sousa (1972), ensaiando arados de discos de arrasto, e por Kawamura (1985).

Quanto à força de tração, os resultados deste trabalho concordam com os de Moreira et al. (1984). Esses autores, ao estudar exigência de tração de arados e grades de disco de arrasto, concluíram, para arados, que a força de tração não variou com a velocidade de deslocamento, mas foi altamente dependente do ângulo de ataque entre as seções.

Quanto à resistência específica do solo, observa-se - Quadro 3 - que, embora tendesse a crescer com o aumento da velocidade, não foram encontradas diferenças significativas em relação à velocidade de deslocamento e ao ângulo de ataque horizontal, o que se deve, provavelmente, à grande dispersão dos dados obtidos. Tais resultados assemelham-se aos de Moreira et al. (1984) e aos de Mialhe & Silveira, citados por Moreira et al. (1984), para a resistência específica.

Quadro 1. Valores médios da força de tração em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque horizontal

| Ângulo de ataque | Velocidade de deslocamento (¹) | | | |
|------------------|---|---------|----------|--------|
| | V1 | V2 | V3 | Média |
| | kN | | | |
| L1 | 10,04aB | 9,93aB | 10,31aB | 10,09C |
| L2 | 12,43aAB | 12,71aA | 11,58aAB | 12,24B |
| L3 | 13,51aA | 14,59aA | 13,88aA | 14,00A |
| Média | 12,00a | 12,41a | 11,93a | -- |

(¹) Velocidades V1, V2 e V3 = 2,5, 4,9 e 6,0 km/h respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, no sentido horizontal, bem como letras maiúsculas iguais, no sentido vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na figura 1, apresentam-se os dados observados, que variaram entre 6,37 e 7,22 N/cm², em média, e as retas estimadas em função dos mesmos dados e da equação indicada pela American Society of Agricultural Engineers - ASAE Standards (1987) para representar a variação da resistência específica do solo em relação à velocidade de deslocamento para um disco de 26", em solo argiloso.

As equações 1 e 2 referem-se, respectivamente, à encontrada para os dados observados e à indicada pela ASAE Standards (1987):

$$Y = 6,48 + 0,098 \cdot X \quad (r = 0,117ns) \quad (1)$$

e

$$Y = 5,2 + 0,039 \cdot X^2 \quad (2)$$

onde:

Y = resistência específica do solo, em N/cm²;

X = velocidade de deslocamento, em km/h;

r = coeficiente de correlação.

Quadro 2. Valores médios da área da seção trabalhada em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque horizontal

| Ângulo de ataque | Velocidade de deslocamento (¹) | | | |
|------------------|---|---------|--------|-------|
| | V1 | V2 | V3 | Média |
| | cm ² | | | |
| L1 | 1529aB | 1445aB | 1504aB | 1493B |
| L2 | 1971aAB | 1928aAB | 1815aA | 1938A |
| L3 | 2188aA | 2018abA | 1639bA | 1948A |
| Média | 1686a | 1797a | 1686a | — |

(¹) Velocidades V1, V2 e V3 = 2,5, 4,9 e 6,0 km/h respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, no sentido horizontal, e letras maiúsculas iguais, no sentido vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 3. Valores médios da resistência específica do solo em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque horizontal

| Ângulo de ataque | Velocidade de deslocamento (¹) | | | |
|------------------|---|---------|--------|-------|
| | V1 | V2 | V3 | Média |
| | N/cm ² | | | |
| L1 | 6,57aA | 7,47bA | 6,87cA | 6,97A |
| L2 | 6,34aA | 6,59aA | 6,04aA | 6,32A |
| L3 | 6,18aA | 7,22abA | 8,75bA | 7,40A |
| Média | 6,37a | 7,10a | 7,22a | — |

(¹) Velocidades V1, V2 e V3 = 2,5, 4,9 e 6,0 km/h respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, no sentido horizontal, e letras maiúsculas iguais, no sentido vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

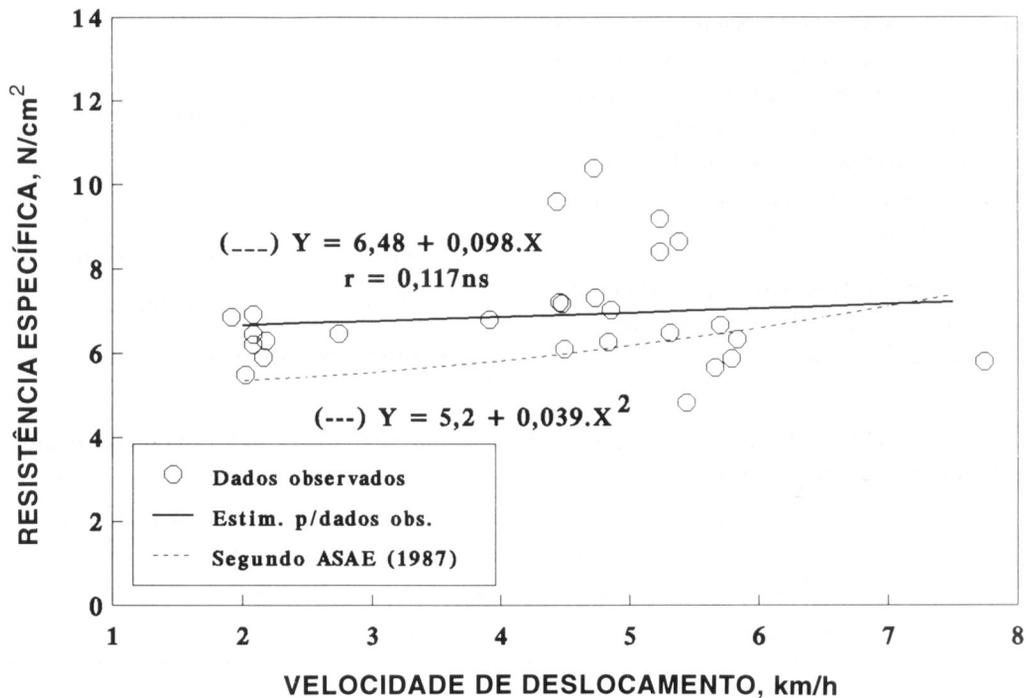


Figura 1. Resistência específica em função da velocidade de deslocamento, comparada com valores estimados pela ASAE Standards (1987).

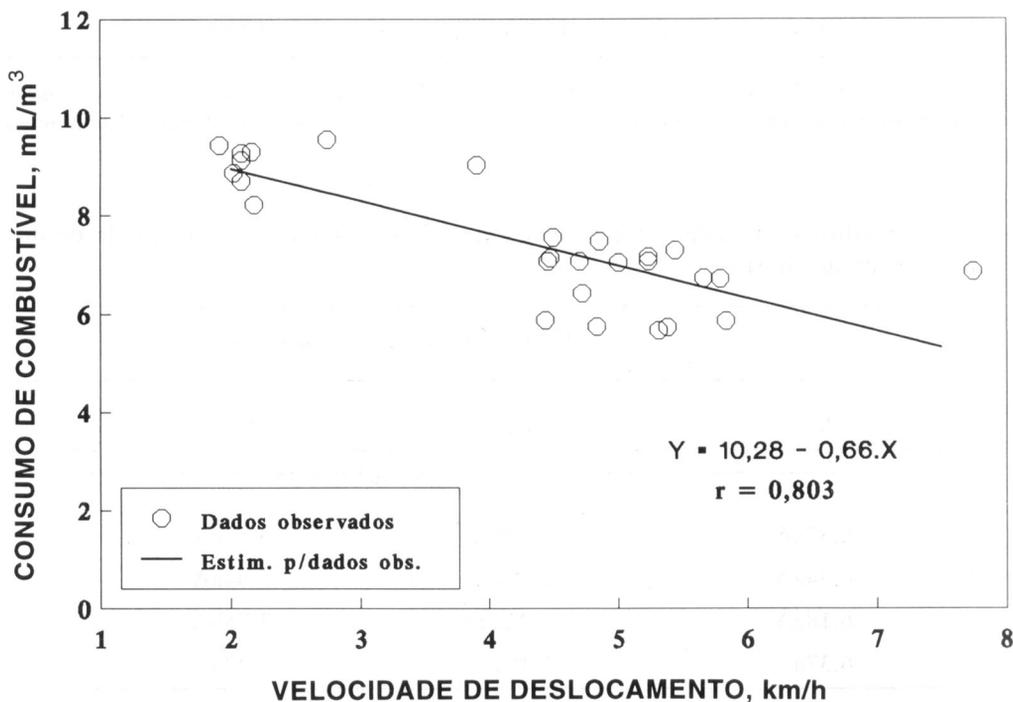


Figura 2. Consumo de combustível por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento

Quadro 4. Valores médios do consumo de combustível, em função da velocidade de deslocamento e do ângulo de ataque horizontal

| Ângulo de ataque | Velocidade de deslocamento ⁽¹⁾ | | | |
|------------------|---|--------|--------|-------|
| | V1 | V2 | V3 | Média |
| | mL/m ³ | | | |
| L1 | 9,08aA | 7,16bA | 6,09cA | 7,45A |
| L2 | 9,23aA | 7,35bA | 6,42cA | 7,67A |
| L3 | 8,83aA | 7,09bA | 6,00cA | 7,31A |
| Média | 9,05a | 7,20b | 6,17c | |

⁽¹⁾ Velocidades V1, V2 e V3 = 2,5, 4,9 e 6,0 km/h respectivamente. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, no sentido horizontal, e letras maiúsculas iguais, no sentido vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A grande dispersão dos dados e o baixo valor do coeficiente de correlação da equação 1 não permitem confirmar, neste trabalho, a dependência da resistência específica do solo em função da velocidade de deslocamento.

3.1 Consumo de combustível

Os valores do consumo de combustível por volume de solo mobilizado, os quais variaram entre 6,17 e 9,05 mL/m³, em média, encontram-se no quadro 4.

Observa-se que o consumo de combustível variou significativamente, diminuindo à medida que a velocidade aumentava, não apresentando, porém, diferença significativa em relação ao ângulo de ataque horizontal.

Atribui-se tal fato à melhor eficiência do conjunto trator-arado, pois o aumento da velocidade para a mesma exigência de tração proporciona aumento na demanda de potência, com melhor aproveitamento do combustível.

A análise de regressão, aplicada aos dados observados, possibilitou expressar a dependência do consumo de combustível por volume de solo mobilizado em função da velocidade de deslocamento, mediante a equação 3:

$$Y = 10,28 - 0,660 \cdot X \quad (r = 0,803) \quad (3)$$

onde:

Y = consumo de combustível por volume de solo mobilizado, em mL/m³;

X = velocidade de deslocamento, em km/h;

r = coeficiente de correlação.

Pela figura 2, pode-se visualizar o comportamento do consumo em função da velocidade de deslocamento.

4. CONCLUSÕES

1. A resistência específica não apresentou variação significativa em relação à velocidade nem ao ângulo de ataque horizontal dos discos em consequência, provavelmente, da grande dispersão dos dados obtidos.

2. O consumo de combustível por volume de solo mobilizado apresentou diferença significativa em relação à velocidade, diminuindo em função do aumento da velocidade de deslocamento, não variando, porém, com o ângulo de ataque horizontal dos discos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudos durante o período de realização do trabalho. A Implementos Agrícolas Jan, por ceder o implemento para o estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS-ASAE STANDARDS. 1987. Agricultural Machinery Management Data D.230.4 Section 4. Draft and power requirements, item 4.1.1.2 Disk plow. 614p.
- BALASTREIRE, L.A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo, Manole, 1987. 207p.
- GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. & FURLANI JUNIOR, J.A. Análise do consumo de combustível e da capacidade de campo de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., São Paulo, 1986. *Anais*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p.1-9.
- KAWAMURA, N. Soil dynamics and its application to tillage machineries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL DYNAMICS, 2., Auburn, 1985. *Proceedings*. Auburn, 1985. p.179-191.
- McKIBBEN, E.G. & REED, I.F. The influence of speed on the performance characteristics of implements. Wisconsin, SAE National Tractor Meeting Milwaukee, 1952. 52p.
- MOREIRA, C.A.; COSTA, J.A.S. & MORAES, R.A.D.M. *Exigências de tração de arados e grades de disco de arrasto*. Campinas, Instituto Agrônômico, 1984. 23p. (Boletim técnico, 86)
- OUWERKERK, C. & BOOME, F.R. Soil-physical aspects of zero-tillage experiments. *Network Journal Agricultural Science*, Wageningen, **18**, 1970. p.247-261.
- SOUSA, A.P. *Efeito da velocidade de operação do arado de disco de arrasto na componente longitudinal do esforço tratório*. Piracicaba, 1972. 54p. Dissertação (Mestrado)-Universidade de São Paulo, 1972.