

CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE UM PROTÓTIPO DE SUBSOLADOR PARA DEPOSIÇÃO DE MATERIAL EM PROFUNDIDADE¹

CONSTRUCTING AND EVALUATING A SUBSOILER PROTOTYPE FOR DEPOSITON OF ENVELOP MATERIAL TO FULFILL MOLE-DRAINS

Haroldo Carlos Fernandes², Roberto Carlos Orlando³, Arlindo José Camilo⁴

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi construir e avaliar um protótipo de subsolador com torpedo para deposição de material poroso em drenos, visando prolongar a vida útil dos mesmos. Para tanto avaliou-se as variáveis de força de tração, consumo de combustível e área mobilizada. O experimento foi conduzido em fatorial (2 x 4) sendo 2 velocidades e 4 profundidades. Todos os tratamentos tiveram 3 repetições. Considerando a menor velocidade encontraram-se as potências médias demandadas pelo implemento de 2,86 kW para a profundidade 15 cm; 5,98 kW para a profundidade 30 cm; 7,83 kW para a profundidade 45 cm e 9,45 kW para a profundidade 60 cm. Considerando a velocidade maior, encontraram-se as potências de 7,67 kW para a profundidade 15 cm; 10,91 kW para a profundidade 30 cm; 17,27 kW para a profundidade 45 cm; e 17,85 kW para a profundidade 60 cm.

PALAVRAS CHAVE: subsolador; drenos; consumo de combustível

SUMMARY

This study aimed at the development of a subsoiler prototype provided with an expander for depositing the envelop materials into mole-drains in order to lengthen its work time.

Evaluation was performed for draft requirement, fuel consumption and mobilized area. The experiment was carried out on a factorial scheme of 2 x 4 (two speeds and four depths) with three replicates. The energy requirement was determined, by calculating the following average powers required by this implement: 2.86 kW, 5.98 kW, 7.83 kW, 9.45 kW at the depths of 15, 30, 45, and 60 cm, respectively, and 7.67 kW, 10.91 kW, 17.27 kW at the same depths. Significant differences were statistically found in interaction between tractor speed and the implement work depth, except for depths of 45 and 60cm.

KEY WORDS: subsoiler, mole-drains, fuel consumption.

¹ Trabalho desenvolvido com apoio financeiro da FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais

² Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa-MG, 36571-000. Tel. (0xx31) 3899 2729. Email: haroldo@ufv.br

³ Engenheiro Agrícola – DS em Engenharia Agrícola. DEA/UFV – Viçosa-MG.

⁴ Estudante de graduação do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV

INTRODUÇÃO

A mecanização na agricultura brasileira tem sido direcionada basicamente para solos secos. Com a maior utilização das várzeas, adaptaram-se e aperfeiçoaram-se máquinas e equipamentos produzidos em outros países como forma de suprir estas necessidades. Portanto, torna-se necessário que a pesquisa seja atuante no sentido de contribuir para o desenvolvimento de equipamentos para estas condições, de modo a suprir a deficiência existente.

As máquinas e equipamentos utilizados na abertura de drenos, bem como os custos hora/máquina, normalmente são muito altos para um produtor. Em solos com condutividade hidráulica muito baixa e, ou, com camada impermeável que impeça a colocação de drenos a profundidades maiores, aumentando o gradiente do lençol freático, a distância entre drenos terá que ser diminuída para que se consiga a drenagem necessária. Ocorre que, ao tomar esta decisão, está-se aumentando os custos com maquinário e materiais, e se o sistema escolhido for de drenos abertos, a mecanização da área ficará comprometida, podendo tornar inviável o aproveitamento desta área.

Os drenos livres, segundo Daker (1984), são canais cilíndricos, artificialmente feitos no subsolo, sem escavação da superfície. Estes drenos livres são como drenos de tubos, porém não possuem revestimento nem material estabilizador e filtrante. É construído pela utilização de um subsolador que leva um ou dois torpedos cilíndricos presos na extremidade de uma haste.

Os drenos livres apresentam muitas vantagens, como as destacadas por Calheiros (1994). Segundo ele, as principais vantagens dos drenos livres são: a) baixa tecnologia; b) podem apresentar grande longevidade; c) baixo custo de implantação e manutenção; d) rapidez de instalação; e) inexistência de perda de área; f) desnecessidade de precisão nos trabalhos de nivelamento do terreno.

Os drenos livres apresentam certas limitações quanto ao seu uso, sendo que o

principal deles é a estabilidade. Como são drenos desprovidos de envelope, a água chega até eles com velocidade relativamente alta, carregando partículas do solo como areia fina e silte, provocando um colapso de suas paredes.

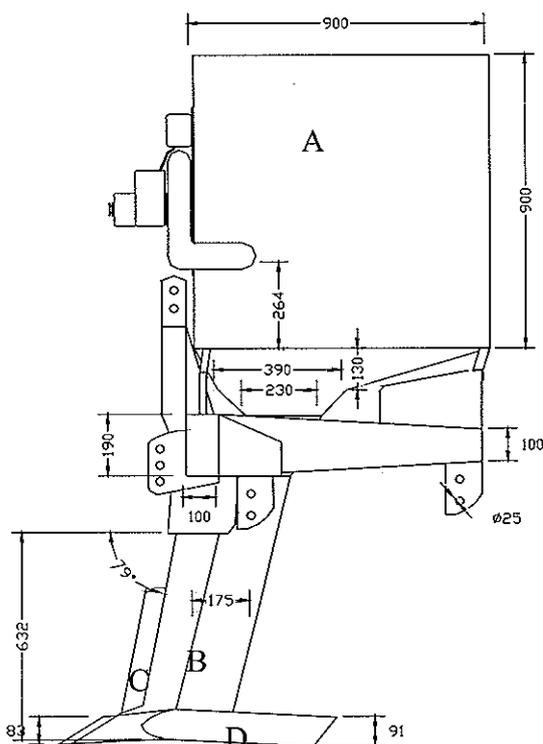
Visando resolver esses problemas, que limitam a utilização dos drenos livres, este trabalho teve por objetivo:

- construir um protótipo, de um subsolador de baixo custo, com dispositivo para colocação de material poroso em drenos livres; e
- avaliar o protótipo quanto ao seu desempenho energético e operacional.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do protótipo

O protótipo consiste basicamente de uma caixa reservatório, montada na parte superior da estrutura, com autonomia para preenchimento de aproximadamente 100 m de drenos; uma haste, parafusada na viga frontal da estrutura, alcançando a profundidade de 630 mm, com espessura de 25 mm e largura 250 mm; conjunto pé/torpedo fixo, vazado, com 91 mm de diâmetro, preso a extremidade inferior da haste, com a finalidade de dar forma e expandir o canal, bem como dar passagem ao material de enchimento dos drenos; uma calha, com dimensões úteis de 50 mm e 130 mm para espessura e largura respectivamente, fixada atrás da haste, com função de ligar o reservatório ao torpedo vazado, permitindo o fluxo do material; um motor dois tempos, fixado na parte frontal da caixa reservatório, é responsável pelo fluxo de ar no qual o material é transportado até o dreno, conforme Figura 1. Para facilitar o controle da aceleração e do fluxo de ar do motor, cabos de aço de pequenas dimensões foram fixados em alavancas, num ponto de fácil acesso para o operador.



- A- Reservatório
- B- Calha
- C- Haste
- D- Torpedo

Figura 1 - Vista lateral do protótipo (dimensões em mm).

Caracterização do solo

Analisou-se a composição textural, teor de matéria orgânica e água, densidade do solo e de índice de cone, em cada uma das profundidades trabalhadas.

As análises mostraram que o solo possui textura muito argilosa em todas as profundidades trabalhadas, com distribuição uniforme da quantidade de argila no perfil, como pode ser observado na Tabela 1. Os dados de índice de cone apresentaram diferenças significativas, variando desde 0,123 MPa até 0,384 MPa para as profundidades de 15 cm e 60 cm, respectivamente. Essa variação pode ocorrer devido à diferença de teor de água do solo, fator que possui grande influência sobre este parâmetro, já que a densidade e textura do solo não apresentaram uma diferenciação que justificasse o aumento do índice de cone com o acréscimo da profundidade. No momento da realização dos testes, os teores de água do solo encontravam-se em 25,26%, 28,96%, 30,98% e

32,11% para as profundidades de 15 cm, 30 cm, 45 cm e 60 cm, respectivamente.

Delineamento experimental

O experimento foi montado num esquema fatorial de 2 x 4, para velocidade e profundidade, respectivamente, com 3 repetições, na realização dos testes de esforço requerido.

Requerimento energético

Avaliou-se a força de tração, potência na barra de tração, velocidade de deslocamento, consumo de combustível e área mobilizada no solo, para as profundidades de 15 cm, 30 cm, 45 cm e 60 cm.

Na medição da força de tração utilizaram-se dois tratores, sendo um responsável pela tração, MF 95X e o outro como porta-ferramentas, MF 265, 4x2 auxiliar, com 47,8 kW

Tabela 1 - Características do solo nas profundidades estudadas

Propriedades	PROFUNDIDADES			
	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
Argila (%)	76	75	76	77
Silte (%)	21	22	20	21
Areia grossa (%)	2	2	1	2
Areia fina (%)	1	1	3	2
Matéria Orgânica (%)	3,02	2,88	1,54	1,13
Índice de cone (MPa)	0,123a	0,219b	0,319c	0,384d
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,13	1,13	1,15	1,16

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

de potência nominal. Para a leitura dos esforços, instalou-se uma célula de carga presa entre os tratores por correntes fixadas nas barras de tração, previamente aferida, esta célula da marca KRATOS, modelo KLS, com capacidade para 50000 N, leitura digital e constante de leitura igual a 0,5 (a leitura da célula equivale ao dobro do esforço real). Os valores foram lidos um após outro em um percurso de 50 m, com três repetições para cada uma das quatro profundidades de trabalho. Coletou-se também, nas mesmas condições, os dados de esforço de tração para o trator sem implemento, para que fossem descontados nos cálculos de esforço do implemento (esforço relativo ao implemento = esforço do trator mais implemento trabalhando - esforço do trator mais implemento levantado).

Utilizaram-se duas velocidades de deslocamento nos testes de esforço requerido, relativas às marchas (V1= 2,7 km/h) e (V2 = 4,9 km/h), com o motor na rotação parcial de 1.700 rpm.

Determinação do consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado utilizando-se um sistema medidor, da marca ISTEK, com leituras em galões e

precisão de 0,001 galão, instalado no circuito de alimentação do motor.

Determinação do teor de água do solo

Antes da realização dos testes de esforço requerido pelo protótipo foram coletadas 5 amostras, para cada uma das quatro profundidades, em pontos escolhidos aleatoriamente na área demarcada para a execução do teste. Para a determinação da umidade, utilizou-se o método-padrão de estufa, seguindo a metodologia recomendada pela Empresa... (1979).

Determinação do índice de cone

Antes da realização dos testes de esforço requerido realizaram-se leituras do índice de cone no local do experimento. Foram feitas 12 leituras por meio de um penetrógrafo da marca SOIL CONTROL, modelo SC-60. Obtiveram-se os valores por meio da média das leituras de 15 em 15 cm até 60 cm em kgf/cm² e transformada para a unidade do Sistema Internacional de Medidas (Pa).

Área mobilizada do solo

A área mobilizada do solo foi determinada utilizando-se um perfilômetro de varetas, desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, com 1,10 m de largura, varetas espaçadas de 2,5 cm e painel para fixação de papel. As medidas foram repassadas para o programa computacional AUTOCAD¹ versão 14, para realizar o cálculo da área removida no perfil do solo, que é a área compreendida entre o perfil natural do solo e o perfil após a mobilização.

Força média por unidade de penetração da haste

Pela mensuração da profundidade de trabalho do implemento e de posse da força de tração média, determinou-se o acréscimo de força solicitada para cada centímetro de penetração da haste.

$$F_{cm} = \frac{F_m}{H} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que

F_{cm} - acréscimo de força, em N/cm;

F_m - força de tração média, em N;

H - profundidade de trabalho, em cm.

Potência disponível na barra de tração

A potência disponível na barra de tração foi determinada utilizando-se a velocidade média de deslocamento do trator e a força média, conforme a equação:

$$P_b = \frac{F_m \times V_m}{3.600} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que

P_b = potência disponível na barra de tração, em kW;

F_m = força de tração média, em N;

V_m = velocidade média de deslocamento, em km/h.

Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível foi calculado pela equação:

$$C_e = D \times \frac{C_h}{P_b} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que

C_e = consumo específico de combustível, em g/kW. h;

D = massa específica do combustível, em g/L;

C_h = consumo horário de combustível, em L/h;

P_b = potência na barra de tração, em kW.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância realizadas nos parâmetros avaliados, mostraram que as interações foram significativas. Assim, procedeu-se ao desdobramento para a aplicação dos testes de comparação de médias (teste de Tukey, a 5% de probabilidade). Para o fator com apenas dois níveis utilizou-se o teste de Tukey para comparar as médias dentro de cada profundidade, e para o estudo do efeito de profundidade foram ajustadas equações de regressão.

Força média de tração por unidade de penetração da haste

Observou-se que a relação força requerida/profundidade de trabalho (Tabela 2) não apresentou diferenças significativas com o acréscimo da profundidade de trabalho para a velocidade de 2,7 km/h. Porém, para a velocidade de 4,9 km/h, a relação apresentou diferença significativa para a profundidade de 15 cm. Isto ocorreu, provavelmente, porque em uma das leituras de força (repetições), para a velocidade V_2 na profundidade de 15 cm, o valor observado foi 68% superior aos demais, acabando por elevar a média e consequentemente a uma diferença estatisticamente significativa também quando se comparou as duas velocidades. A média geral da

¹ A citação do nome comercial do produto não significa a recomendação do mesmo.

relação força/profundidade foi de 258,3 N/cm, mantendo-se dentro do intervalo estipulado pela ASAE (1990) para solos argilosos que é de 175 N/cm a 280 N/cm. O valor encontrado de 258,3 N/cm situa-se mais próximo do limite superior do intervalo porque o solo da área onde se realizou os testes é muito argiloso.

Tabela 2 – Valores médios da relação força/profundidade (N/cm) em relação às profundidades (cm) e velocidades de trabalho (km/h)

Profundidades (cm)	Velocidades (km/h)	
	2,70	4,90
15	235,56 a	352,02 b
45	229,18 a	289,22 a
30	253,77 a	259,48 a
60	219,07 a	228,52 a
Médias (N/cm)	234,40	282,31
CV (%)	13,69	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula, em linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Área mobilizada do solo

Ao quantificar as áreas mobilizadas do solo, verificou-se que o formato do perfil mobilizado do solo se aproxima de uma curva de distribuição normal, fato também observado por Stafford e Tanner (1976).

Observa-se, também, um aumento crescente da área mobilizada com o aumento da profundidade e da velocidade, observação também destacada pelos mesmos autores, sendo que a maior diferença ocorreu entre a profundidade de 30 cm e 45 cm, como pode ser

visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Área mobilizada do solo (m²) em função da profundidade e da velocidade de trabalho

Profundidades (cm)	Velocidades (km/h)	
	2,70	4,90
15	0,0636	0,0704
30	0,0698	0,0867
45	0,1087	0,1566
60	0,1485	0,1357

Potências requeridas pelo implemento

As potências requeridas pelo implemento, mostrada no Tabela 4 e Figura 2, são semelhantes às encontradas por Garcia (1993) e Lanças (1988), quando comparadas para uma mesma profundidade.

Consumo específico de combustível

Os resultados de consumo específico de combustível, exposto na Tabela 5 e Figura 3, tiveram um decréscimo com o aumento da profundidade, não diferenciando significativamente entre as profundidades de 45 cm e 60 cm, para ambas as velocidades de trabalho. A profundidade de 15 cm foi a que apresentou maior valor, devido à baixa potência exigida da máquina

Lanças (1988), utilizando um subsolador com haste reta inclinada, trabalhando a 40 cm de profundidade, encontrou um valor de consumo específico de 0,74 l/kW.h. Este valor é próximo dos valores obtidos na profundidade de 45 cm (0,68 l/kW.h) para a velocidade de 2,7 km/h e a 30 cm (0,73 l/kW.h) para a velocidade de 4,9 km/h. A densidade do combustível utilizada para o cálculo foi de 837,91 g/l, para uma temperatura, observada no campo, de 35° C.

Tabela 4 - Análise estatística das potências médias (kW), requeridas pelo implemento, em relação às velocidades (km/h) e profundidades de trabalho (cm)

Profundidades (cm)	Velocidades (km/h)	
	2,70	4,90
15	2,86 a	7,67 b
30	5,98 a	10,91 b
45	7,83 a	17,27 b
60	9,45 a	17,85 b
Médias (kW)	6,53	13,43
CV (%)	12,64	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula, em linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 5 - Resultados da análise estatística, do Consumo específico de combustível (g/kW.h) em relação às profundidades e velocidades de trabalho

Profundidades (cm)	Velocidades (km/h)		Médias (g/kW.h)
	2,70	4,90	
15	1213,5a	846,2 b	1029,9
30	766,8 a	610,4 a	688,6
45	574,1 a	375,0 b	474,6
60	415,7 a	374,2 a	394,9
Médias (g/kW.h)	742,53	551,4741	647,00
CV (%)	15,6		

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula, em linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

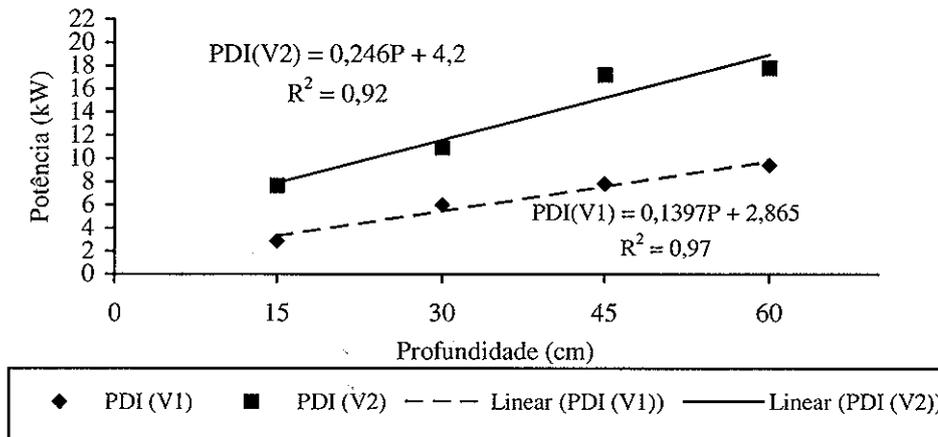


Figura 2 - Potência demandada pelo implemento(PDI) em função da profundidade de trabalho para as velocidades V1 e V2

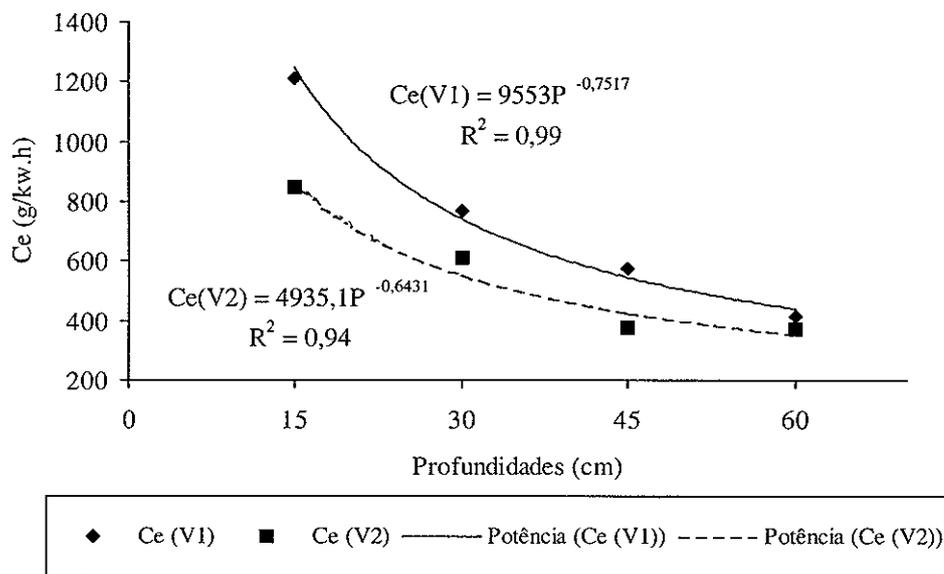


Figura 3 - Consumo específico de combustível (g/kW.h), em relação as profundidades de trabalho (cm), nas duas velocidades (km/h).

CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi realizado, os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- A maior força requerida pelo implemento (13711,1 N), bem como a maior potência (17,85 kW), foi observada para a velocidade de 4,9 km/h, na profundidade de 60 cm, sendo menores do que as encontradas na

literatura para subsoladores com hastes retas inclinadas;

- A força média requerida pelo protótipo foi de 9299,4 N, sendo menor do que a encontrada na literatura;
- A média da potência requerida pelo implemento, 9,98 kW, e pelo conjunto trator implemento, 12,26 kW, está próxima aos valores encontrados na literatura;
- A área mobilizada do solo foi menor do que a observada por outros pesquisadores para hastes retas inclinadas;
- Em média, a relação força de tração/profundidade de trabalho encontra-se dentro do limite estabelecido pela ASAE para solos argilosos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management data**. In: ASAE Standards 1990, Standards engineering practices data. 37 ed., St. Joseph, 1990. p.285-291, 717p.

CALHEIROS, R. O. **Exploração agrícolas de solos minerais de várzea (glei pouco Húmico) utilizando o sistema de drenagem tipo torpedo**. Londrina: IAPAR, 1994. 54p. Boletim técnico, 44.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem, água na agricultura**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. v. 3.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: 1979. Não paginado.

GARCIA, A. S. **Subsolador: desempenho energético e operacional em função da velocidade de deslocamento e do teor de água no solo**. 1993. 141p, Dissertação (mestrado em agronomia) Botucatu: UNESP,. – Curso de Pós

Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função das formas geométricas das hastes, tipos de ponteiros e número de hastes**. 1988. 171p, Tese (doutorado em Agronomia) Botucatu, UNESP,. - Curso de Pós Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

STAFFORD, J. V.; TANNER, D. W. An investigation into the effect of speed on the draught requirements of a chiesel tine. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 7, 1976, Sweeden. **Anais...** Sweeden: Natinal Institute of Agricultural Engeneering, 1976. p. 1- 6.