

AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA NUMA OPERAÇÃO CONJUGADA DE PREPARO DO SOLO

Haroldo Carlos Fernandes¹
Renildo Luiz Mion²
João Cleber Modernel da Silveira³
Paula Cristina Natalino Rinaldi⁴
Alcir José Modolo⁵

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o requerimento energético de um implemento conjugado de preparo do solo modelo RP 2000 da STARA. A avaliação foi realizada num solo classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo. Os parâmetros avaliados foram: energia requerida por área; área de solo mobilizado; volume de solo mobilizado; energia requerida por volume de solo mobilizado; consumo horário de combustível; consumo específico de combustível, por volume de solo mobilizado e tempo gasto por área. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em um esquema fatorial com três velocidades de deslocamento e quatro profundidades, perfazendo um total de doze tratamentos e quarenta e oito parcelas experimentais. Os resultados mostraram que as variáveis energia requerida por área, área de solo mobilizado, volume de solo mobilizado, energia requerida por volume de solo mobilizado, consumo horário de combustível, consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado foram significativas para a interação estudada.

Palavras-chaves: operações conjugadas, energia, consumo de combustível

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ENERGY DEMAND IN A CONJUGATED OPERATION OF PREPARATION OF THE SOIL

The main purposes were evaluating the energetic requirement a conjugate implement for soil preparation model RP 2000 of STARA. The evaluation was taken in a Red-Yellow Podzolic soil. The following parameters were under evaluation: the require of energy by area, the area of mobilized soil, the volume of mobilized soil, the energy by the volume of mobilized soil, the consumption of fuel by hour, the specified consumption of fuel, the specified consumption of fuel by the volume of mobilized soil. The experimental delineation casual blocks in a factorial outline with three speed and four depths, which had a twelve treatments and forty eight experimental portions. The results showed that the variables the required energy by area, the area of mobilized soil, the volume of mobilized soil, the required energy by the volume of mobilized soil, the consumption of fuel by hour, the specified consumption of fuel by the volume of mobilized , were significant to the studied interaction.

Key-words: conjugated operation; energy; fuel consumption

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Av. P. H. Rolfs s/n - Campus UFV CEP 36570-000, Viçosa-MG. E-mail: haroldo@ufv.br

²Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, CE.

³Doutorando em Mecanização Agrícola – DEA/UFV, Viçosa, MG – Brasil. CEP: 36570-000. Fone (0xx31) 3899-1860. E-mail: jmodernel@vicosa.ufv.br

⁴Mestranda em Mecanização Agrícola – DEA/UFV, Viçosa, MG – Brasil. CEP: 36570-000. Fone (0xx31) 3899-1860. E-mail: pcrinaldi@yahoo.com.br

⁵Curso de Agronomia – UTFPR. Via do Conhecimento km 01, Caixa Postal 571, CEP: 85501-970, Pato Branco – PR. e-mail: alcir@pb.cefetpr.br Fone: (0xx46) 3220-2536

INTRODUÇÃO

A utilização de máquinas e equipamentos agrícolas, de maneira adequada, melhora a eficiência operacional, aumenta a capacidade efetiva de trabalho, facilita as tarefas do homem no campo, possibilita a expansão das áreas de plantio, proporciona melhores produtividades e permite atender ao cronograma de atividades em um tempo hábil (Modolo, 2003).

De acordo com Machado et al. (1996), o preparo do solo é o resultado de um conjunto de operações que visam adequá-lo para o recebimento das sementes, de forma a permitir o pleno desenvolvimento produtivo da cultura.

As operações conjugadas de preparo do solo, segundo a ASAE (1982), são aquelas realizadas simultaneamente, utilizando-se diferentes ferramentas de preparo, objetivando a utilização das máquinas e reduzir o número de operações sobre o solo. Denardin (1984) propôs a utilização de escarificadores para o preparo conservacionista do solo, adaptando-se um rolo destorroador; uma seção de grades de discos ou outro acessório, que permita a semeadura após uma única operação de preparo do solo.

Utilizando discos de corte na frente de hastas escarificadoras rígidas com destorroador de discos, Maia (1990) obteve bons resultados no preparo do solo no cerrado. Salvador (1992) relata que o consumo de energia varia em função do tipo de equipamento e do número de operações. Salienta, ainda, que a economia de energia pode ser obtida pela eliminação de algumas operações de preparo do solo.

A eficiência de aproveitamento da potência de um trator é bem conhecida, existindo perdas na ordem de 17 % no sistema de transmissão e de 23 % na interface solo/pneu (Milan & Molin, 2002). É evidente que no trator existem recursos técnicos que aumentam essa eficiência, dentre elas tração nos quatro rodados e uso de esteiras ao invés de pneus. Entretanto, os estudos são pouco avançados com relação a sua eficiência energética.

Uma estimativa com maior exatidão, melhor que o simples dado de consumo de combustível, é o desempenho do implemento analisado independentemente do trator que o traciona (Maciel, 2000).

Bentivenha (2001) verificou que na operação de escarificação, sulcos rasos, com até 0,2 m, tiveram menor gasto de energia sem haver diferenças na produção da floresta ao final do ciclo, sendo apenas detectadas diferenças até os 24 meses pós o plantio. De acordo com

Gonçalves et al. (2002), o crescimento inicial estimulado por maior volume de solo mobilizado pode ser considerável se analisado pela menor demanda de operações no controle das plantas invasoras.

Sasaki (2000) estudou a diferença para a profundidade efetiva de trabalho e a área de solo mobilizado, utilizando um subsolador, verificou que a haste reta – inclinada apresentou os melhores resultados quanto à demanda por força de tração e desempenho operacional. As ponteiras com asa exigiram cerca de 20 % a mais de força de tração, 22 % menos resistência específica operacional e mobilizaram 20 % mais solo do que as ponteiras sem asas, e que, com o aumento da profundidade de trabalho de 20 para 40 cm, houve um incremento da força de tração, da potência na barra de tração e da patinagem.

Milan & Molin (2002), afirmam que na estimativa da ASAE para o cálculo de potência necessária para um determinado implemento existem variações de até 50 %.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar requerimento energético em função da mobilização do solo para diferentes profundidades e velocidades de deslocamento do conjunto trator-implemento numa operação conjugada de preparo solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de 0,5 ha, pertencente ao Departamento de Fitotecnia (DFT), localizado no município de Viçosa, com longitude de 42° 52' 40"W (Gr) e latitude 20° 45' 20" S, a 658 m de altitude, e no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com frações texturais presente no solo de 64 % de argila, 15 % de silte, 15 % de areia grossa e 11 % de areia fina. A densidade do solo na área experimental para as profundidades de 0 a 15; 15 a 20; 20 a 25 e de 25 a 30 cm de profundidade foram de 1,13; 1,04; 1,08 e 1,00 kg dm⁻³, respectivamente. Os teores de água no solo para as profundidades de 0 a 15; 15 a 20; 20 a 25 e de 25 a 30 cm foram de 26,4; 27,8; 29,8 e 31,6 kg kg⁻¹, respectivamente. O índice de cone para as profundidades foi de 0 a 15; 15 a 20; 20 a 25 e de 25 a 30 cm foi de 1,61; 1,75; 1,87 e 1,96 MPa, respectivamente. A cobertura média da massa vegetal existente na área experimental antes da realização do ensaio foi de 4,52 ton ha⁻¹.

Para a realização do estudo, foi utilizado um trator da marca Massey Ferguson, modelo MF 275 4 x 2 (TDA) com 73 cv (53 kW) de potência máxima, a 2000 rpm, e massa em ordem de marcha de 4650 kg. No momento do ensaio o trator encontrava-se, com massa total de 4400 kg, a rotação de trabalho de 1700 rpm. Foi utilizado o equipamento RP 2000 (Renovadora de Pastagens), marca STARA, sem as caixas de distribuição de sementes e corretivos, de arrasto, constituído de cinco discos de corte, cinco hastes escarificadoras e um rolo destorroador, peso de 1250 kg e largura efetiva de 187,5 cm. No momento do ensaio, o espaçamento utilizado entre hastes foi de 37,5 cm, conforme a configuração do equipamento, com ponteiras reversíveis sem asas de 15 cm de comprimento e 8 cm de largura, formando um ângulo de 25°, hastes inclinadas com 50 cm de comprimento, rolo destorroador com diâmetro de 26 cm, sendo que o ajuste da profundidade de trabalho realizado pelos pneus montados ao chassi.

O consumo de combustível foi determinado por um equipamento desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola da UFV, constituído por uma bureta graduada com registro direcionador, ao qual fornecia o consumo em mililitros por unidade de tempo, e o registro direcionava o fluxo do tanque para a bureta, e da bureta para o sistema de alimentação. A densidade do combustível utilizada para o cálculo foi de 830,93 g L⁻¹, para a temperatura de 30° C, observada no campo.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizado (DBC), num esquema fatorial 3 x 4, sendo 3 velocidades de operação (1ª, 2ª e 3ª reduzidas), que correspondiam as velocidades V1 (2 km h⁻¹), V2 (3 km h⁻¹) e V3 (5 km h⁻¹), aproximadamente, e quatro profundidades de trabalho (15; 20; 25 e 30 cm), correspondendo a P1, P2, P3 e P4, respectivamente. Cada unidade experimental era constituída de 60 m², sendo 20 m de comprimento e 3,0 m de largura.

A velocidade média operacional foi calculada pela equação seguinte:

$$V = \frac{E}{T} \cdot 3,6 \quad (1)$$

Em que:

V = velocidade média de operacional (km h⁻¹);

E = percurso útil na parcela (m); e

T = tempo gasto na parcela (s).

Para determinar a força de tração e potência na barra de tração, foi utilizado uma célula de carga da marca

Kratos, modelo KLS, com capacidade nominal de cinco toneladas, leitura digital, posicionada entre a barra de tração do conjunto motomecanizado. As leituras foram realizadas a cada três metros durante o percurso de vinte metros. A força de tração foi obtida diretamente no visor acoplado a célula de carga.

O cálculo para a potência na barra de tração foi utilizada a equação descrita por Salvador (1992):

$$Pb = \frac{F_{mbt} \cdot V}{366,97} \quad (2)$$

Em que:

Pb = potência média na barra de tração, kW;

F_{mbt} = força média na barra de tração, kgf; e

V = velocidade média de operacional, km h⁻¹.

Para determinar o consumo horário de combustível utilizou-se a equação descrita por Oliveira (1997):

$$Ch = \frac{hc \cdot 3,6}{T} \quad (3)$$

Em que:

Ch = consumo horário de combustível (L h⁻¹);

hc = altura do deslocamento do nível de combustível (mL); e

T = tempo gasto na parcela (s).

Para cálculo do consumo específico de combustível utilizou-se a seguinte equação:

$$Ce = \frac{Ch}{Pb} \cdot \rho \quad (4)$$

Em que:

Ce = consumo específico de combustível (g kW h⁻¹);

Ch = consumo horário de combustível (L h⁻¹);

Pb = potência média na barra de tração, kW; e

ρ = densidade do combustível (g L⁻¹).

O cálculo do consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado, considerando a potência na barra de tração foi determinada utilizando a equação:

$$Ce_o = \frac{Ce}{Vm} \quad (5)$$

Em que:

Ce_o = consumo específico operacional (g kW h⁻¹ m⁻³);

Ce = consumo específico de combustível (g kW h⁻¹); e

V_m = volume de solo mobilizado (m³).

Para determinar a área de solo mobilizado foi utilizado um perfilômetro de superfície e de profundidade, e os cálculos foram realizados por um programa de computador denominado “perfilom”. Após determinada a área mobilizada de solo, o valor foi multiplicado pelo comprimento da unidade experimental, obtendo assim, o volume de solo mobilizado.

A energia requerida por área foi considerada a potência e o tempo gasto por hectare, conforme Michel Júnior *et al.* (1985). Contudo, para o cálculo da energia por volume de solo foi considerado a quantidade de solo mobilizado na área trabalhada, conforme Salvador *et al.* (1998). A equação utilizada para o cálculo da demanda de energia por hectare é descrita a seguir:

$$E_n = Pbt \cdot Tgh \quad (6)$$

Em que:

E_n = energia (kWh ha⁻¹);

Pbt = potência na barra de tração (kW); e

Tgh = tempo gasto para preparar um hectare (h ha⁻¹).

A demanda de energia por volume de solo mobilizado foi calculada conforme as equações descritas por Salvador *et al.* (1998), nas quais são descritas a seguir:

$$K = \frac{10000 \text{ m}^2}{Le} \cdot A_m \quad (7)$$

Em que:

K = volume de solo mobilizado (m³ ha⁻¹);

Le = largura efetiva do implemento (m); e

A_m = área de solo mobilizado (m²).

$$E_{nV} = \frac{E_n \cdot 1000}{K} \quad (8)$$

Em que:

E_{nV} = energia por volume de solo mobilizado (Wh m⁻³);

E_n = energia (kWh ha⁻¹); e

K = volume de solo mobilizado (m³ ha⁻¹).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as curvas de regressão em função da velocidade e profundidade operacional. Para a velocidade V1 o aumento da força é proporcional ao aumento da profundidade, na velocidade V2 a força máxima ocorreu na profundidade de 26,29 cm decrescendo após com o aumento da profundidade e na velocidade V3 a

força aumentou até a profundidade de 26 cm, diminuindo em seguida com o aumento da profundidade.

As curvas de potência em função da variação da profundidade e da velocidade de operação (Figura 2) mostraram que para a velocidade V1 o aumento da potência é proporcional ao aumento da profundidade. Já na velocidade V2 a potência máxima ocorreu na profundidade de 25 cm diminuindo em seguida e na velocidade V3 a potência máxima foi na profundidade de 24 cm.

Os resultados do tempo gasto para preparar uma área de um hectare, são apresentados na Figura 3.

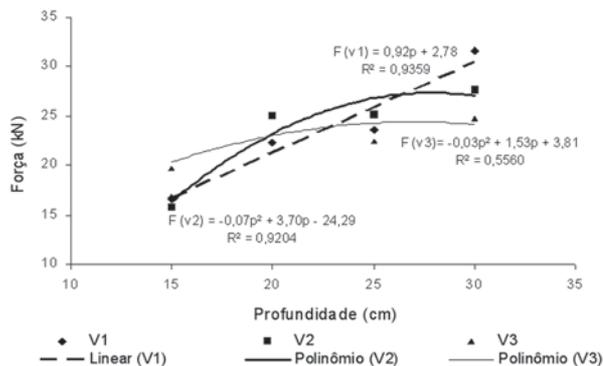


Figura 1 - Força média de tração em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

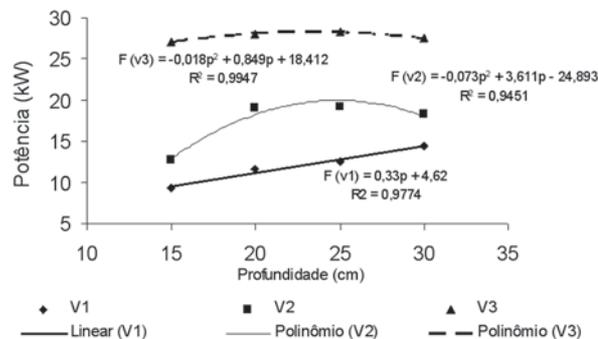


Figura 2 - Potência na barra de tração em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

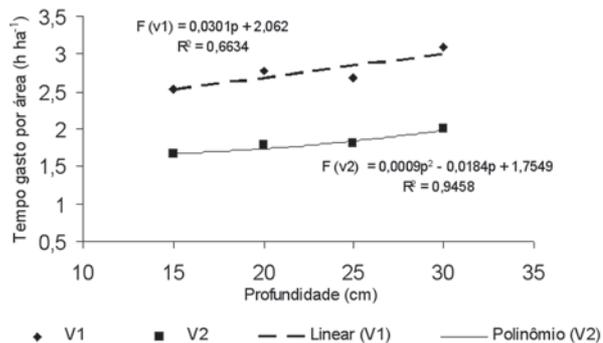


Figura 3 - Tempo gasto por área em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

O aumento da velocidade operacional diminuiu o tempo gasto para preparar um hectare. Essas observações são importantes devido ao tempo disponível para preparar o solo, uma vez que isso se torna fator limitante do planejamento na utilização do maquinário agrícola.

A energia requerida por área é apresentada na Figura 4. Para a profundidade de 15 cm, a velocidade V3 foi mais exigente energeticamente que as demais, já nas profundidades de 20 e 25 cm, a velocidade V2 exigiu mais energia que as velocidades V1 e V3. A velocidade V1 na profundidade de 30 cm obteve maior requerimento energético que as demais. Esse comportamento se deve ao fato da energia requerida estar relacionada com a potência na barra de tração e o tempo gasto por área.

Na Figura 4 estão apresentadas às curvas de ajustes da energia por área em função da velocidade e da profundidade. Observa-se que na velocidade V1 o aumento da energia requerida por área é proporcional ao aumento da profundidade operacional, na velocidade V2 o maior requerimento de energia por área ocorreu na profundidade de 26 cm e na velocidade V3 a interação não foi significativa.

A Figura 5 pode ser verificada que a maior área mobilizada no solo foi obtida na velocidade V2 a uma profundidade de 30 cm, enquanto a menor foi verificada na velocidade V1 e profundidade de 15 cm. Pelas curvas de regressão da área de solo mobilizado em função da velocidade e da profundidade operacional apresentadas na Figura 5, mostra que nas velocidades V1 e V2, o aumento da área de solo mobilizado é proporcional ao aumento da profundidade operacional e na velocidade V3 a maior área de solo mobilizado ocorreu na profundidade de 30 cm.

As curvas de regressão do volume de solo mobilizado em função da velocidade e da profundidade operacional, são apresentadas na Figura 6. Para a velocidade V1 e V2 o aumento do volume de solo mobilizado do solo é proporcional ao aumento da profundidade operacional, na velocidade V3 o volume de solo mobilizado máximo ocorreu na profundidade de 28 cm.

Na Figura 7, são apresentadas às curvas de regressão da energia por volume de solo mobilizado em função da velocidade e da profundidade operacional. Para a velocidade V1 o aumento da energia por volume de solo mobilizado é proporcional ao aumento da profundidade operacional, na velocidade V2 a profundidade de 20 cm requer mais energia por volume de solo mobilizado e na velocidade V3 a profundidade de 15 cm requer menor energia por volume de solo mobilizado.

Para as curvas de regressão do consumo horário de combustível em função da velocidade e da profundida-

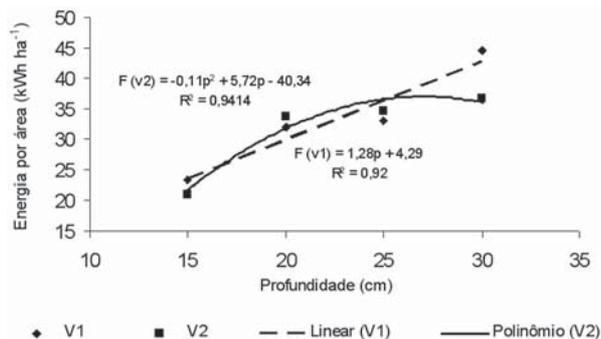


Figura 4 - Energia requerida por área em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

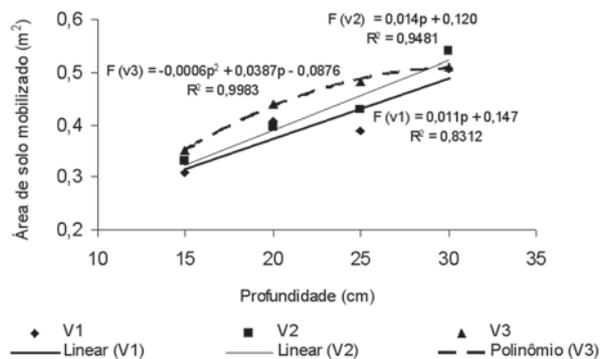


Figura 5 - Área de solo mobilizado em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

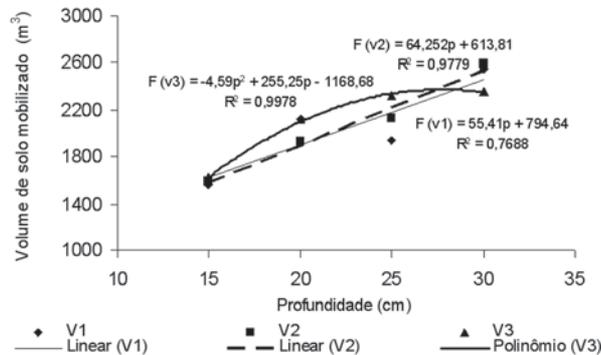


Figura 6 - Volume de solo mobilizado em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

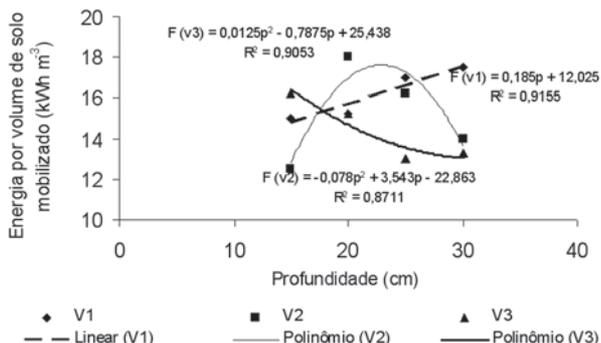


Figura 7 - Energia por volume de solo mobilizado em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

de operacional são apresentadas na Figura 8. Pode-se observar que independente da velocidade estudada o aumento do consumo horário de combustível é proporcional ao aumento da profundidade operacional.

Na Figura 9, estão apresentados às curvas de regressão do consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado em função da velocidade e da profundidade operacional. Para a velocidade V1 o decréscimo do consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado é proporcional ao aumento da profundidade operacional, na velocidade V2 a profundidade de 28 cm proporcionou o menor consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado e na velocidade V3 a interação não foi significativa.

De um modo geral recomenda-se a velocidade de 4,45 km h⁻¹ pelo fato de apresentar a menor energia por volume de solo mobilizado, capacidade de campo teórica de 60,65 % maior e 60,73 % para o tempo gasto por hectare em relação à velocidade de 1,85 km h⁻¹.

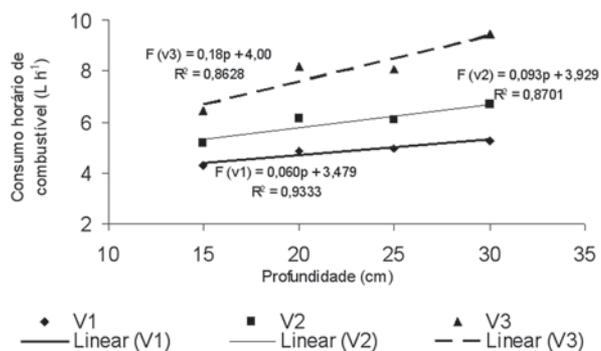


Figura 8 - Consumo horário de combustível em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

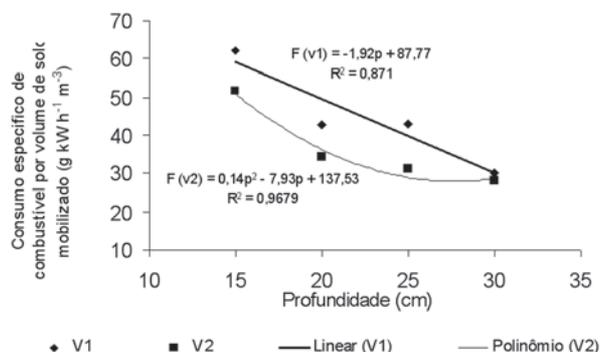


Figura 9 - Consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado em relação às profundidades de trabalho nas velocidades estudadas.

CONCLUSÕES

Os melhores resultados do consumo específico de combustível (g kW⁻¹) e tempo gasto por hectare (h ha⁻¹) foram obtidos na velocidade de 4,95 km h⁻¹ a 15 cm de profundidade.

O maior volume de solo mobilizado foi obtido na velocidade de 2,38 km h⁻¹ a 30 cm de profundidade.

O menor consumo específico de combustível por volume de solo mobilizado (g kW h⁻¹ m⁻³) foi obtido na velocidade de 2,76 km h⁻¹ e a 25 cm de profundidade.

REFERÊNCIAS

- ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1982) Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships. Engineering Practice, 291:229-241.
- Bentivenha SRP (2001) Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 60 p.
- Denardin, JE (1984) Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: 3º Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil, Passo Fundo. Anais, PIUCS/UPF. p. 107-123.
- Gonçalves JLM, Stape JL, Wichert, MCP & Gava, JL Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: Gonçalves, JLM, Stape JL (Ed.) (2002) Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF. 498 p.
- Machado ALT, Reis AV, Moraes MLB & Alonço AS (1996) Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais. Pelotas. 229 p.
- Maciel AJ (2000) Projeto e otimização do sistema de transmissão para um trator agrícola: notas de aula. Campinas: UNICAMP, FEAGRI.
- Maia JCS (1990) Influência de diferentes tipos de preparo do solo sobre as propriedades físicas e comportamento da soja (*Glycine max L. Merril*) em solo de cerrado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. CPGEA/UFSM. 120 p.
- Michel Júnior AJ, Fornstron KJ, Borrelli J (1985) Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. Transactions of the ASAE, 28: 1731-1735.
- Milan M & Molin JP Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: Gonçalves JLM, Stape JL (Ed.) (2002) Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF. 498 p.
- Modolo AJ (2003) Demanda energética de uma semeadora adubadora com diferentes unidades de semeadura. Dissertação de mestrado. Cascavel, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 78 p.

- Oliveira AD (1997) Arado de discos: desempenho em função do ângulo do apoio e das condições de superfície de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico Fase terraço. Dissertação de mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 66p.
- Salvador N (1992) Consumo de energia na operação de subsolagem realizada antes e depois de sistemas de preparo periódico do solo. Tese de doutorado. Botucatu, Universidade Estadual Paulista. 166 p.
- Salvador N, Mion RL & Benez SH (1998) Requerimento energético e desagregação do solo em diferentes sistemas de preparo periódico, num Latossolo Vermelho-Amarelo. *Engenharia na Agricultura*, 6: 226-234.
- Sasaki CM (2000) Força de tração e desempenho operacional de hastes subsoladoras em solos com diferentes texturas e umidade. Dissertação de mestrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 53 p.