

**COMPARAÇÃO ENTRE EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO
DE ESCARIFICADORES**

**COMPARATION BETWEEN PREDICTION EQUATIONS OF TOOL DRAUGHT OF
CHISEL PLOWS**

Daniel ALBIERO¹

Antonio J.S. MACIEL²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo comparar equações de resistência a tração com dados experimentais. Foram utilizados dados relativos a escarificadores, sendo que estes valores foram confrontados com os valores calculados pelas equações. Os resultados mostram que em geral estas equações super-dimensionam a resistência a tração oferecida por escarificadores.

Palavra-chave: (1)-Preparo de solo; (2) Equações de predição; (3) Escarificadores.

ABSTRACT

This work has the objective to compare tools draught equations with experimental data. It had been used data relative the chisel plows, these values it had been compared with values calculated for the equations. The results show which in general these equations super-dimensioning the tool draught offered for the chisels plows.

Keywords: (1)-Soil tillage; (2) Prediction equations; (3) Chisel plow.

¹Eng^o Agric, Al. Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, (019) 3788-1054, email: daniel.albiero@gmail.com

²Eng^o Agríc., Prof.Dr., Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP

INTRODUÇÃO

No projeto e dimensionamento de equipamentos de preparo de solo, é de grande importância o valor da resistência a tração que o órgão ativo deste equipamento exige, pois através deste dado, é possível otimiza-lo em termos de geometria e dimensões. Para a determinação deste valor pode-se utilizar modelos matemáticos bem definidos, que dependem principalmente da operação que se deseja, do tipo de solo, das condições do mesmo, e da energia de acionamento disponível. Segundo SRIVASTAVA et al. (1995) após análise das forças que atuam entre a ferramenta e o solo é possível desenvolver expressões para a resistência total a tração, GILL e VANDEN BERG (1968), apresentam análises para vários tipos de solo. Os solos em geral apresentam grande variabilidade em suas propriedades físicas, dependendo de numerosos fatores, sendo a influência de cada um

variável também (UPADHYAYA et al., 1994). Devido a este fato torna-se muito delicado afirmar que determinado valor de resistência a tração é exato, segundo HILLEL (1980) a complexidade do solo é tamanha, que torna-se praticamente impossível definir completamente seu exato estado físico em qualquer momento. No entanto como estimativa para um pré-projeto supõe-se que modelos matemáticos sejam aplicáveis com relativo sucesso. Neste trabalho foram feitas comparações entre diversos modelos tradicionalmente utilizados para o cálculo da resistência a tração, e dados experimentais obtidos em caixa de solo. Foram utilizados dados obtidos por CHANG et al.(1994), que testou escarificadores. Segundo MIALHE (1996) este órgão ativo atua disposto na extremidade inferior de uma coluna, e atua nas camadas sub-superficiais, rompendo a massa de solo à frente e lateralmente.

MATERIAL E MÉTODOS

(1)-Testes experimentais: Foram utilizados os dados obtidos por CHANG et al. (1994), que testou vários equipamentos de preparo de solo em uma Caixa de Solo projetada (CHANG, 1993) com 5 m de lado e 2 m de largura, preenchida com uma altura de solo compactado de 0.6 m . O equipamento escolhido para as comparações foi o escarificador de largura w de 5 cm, e comprimento l de 10 cm, e com ângulo de ataque α de 21° , que trabalhou a profundidade d de 13 cm, sendo conduzido a velocidade v de 0.2 m/s, com coeficiente de ferramenta I (DESBIOLLES, 1997) de 1.1, os dados dos testes são apresentados na Tabela 1. **(2)- Dados do solo:** O solo onde

foram realizados os testes é de textura Franco-Argilo Arenosa com 29 % de argila, 18 % de silte e 53 % de areia; no momento dos testes possuía teor de água U de 9.99 %, e densidade γ de 1.26 g/cm^3 ; o índice de cone CI era de 1380 kPa; o ângulo de atrito interno do solo ϕ foi considerado de 20° , o ângulo de atrito solo/metal δ foi considerado de 13.3° ; o ângulo da superfície de falha frontal β , foi calculado segundo a metodologia descrita por MCKYES (1985), que minimiza o valor do fator de densidade do solo N_γ em função do ângulo β , seu valor foi calculado como de 80° ; a tensão de coesão do solo c foi considerada de 17.2 kPa; a tensão de adesão do solo c_a , segundo FIELKE e

RILEY (1991) pode ser considerada como metade do valor de c , portanto o valor de c_a foi considerado de 8.6 kPa. O valor da sobrecarga na superfície do solo q , foi considerado 0. Os valores dos fatores de densidade do solo N_γ , de tensão de coesão N_c , de tensão de adesão N_{ca} , de sobrecarga N_q , e de aceleração N_a , foram calculados segundo as respectivas metodologias propostas por cada equação **(3)-Equações utilizadas:** Foram avaliadas onze equações: (1) a Equação Universal de Movimentação de Solo, definida por

REECE (citado por MCKYES, 1985); e seis outras derivadas desta, (2) e (3) definidas por MCKYES (1985); (4) HETTIARATCHI e REECE (citado por MCKYES, 1985) e (5) GODWIN e SPOOR (citado por MCKYES, 1985); (6) e (7) DESBIOLLES (1997, 1999); além de outras quatro equações definidas por (8) SOHNE (citado por KOOLEN, 1983); (9) SOEHNE (citado por GILL e VANDEN BERG, 1968); (10) ASAE (1997); (11) CRC (citado por SRIVASTAVA et al., 1995), estas equações são apresentadas abaixo.

$$H = \left((\gamma * g * d^2 * N_\gamma) + (c * d * N_c) + (q * d * N_q) \right) * w * \text{sen}(\alpha + \delta) \quad (1)$$

$$H = \left((\gamma * g * d^2 * N_\gamma) + (c * d * N_c) + (q * d * N_q) + (c_a * d * N_{ca}) \right) * w * \text{sen}(\alpha + \delta) + (c_a * d * w * \cot(\alpha)) \quad (2)$$

$$H = \left((\gamma * g * d^2 * N_\gamma) + (c * d * N_c) + (q * d * N_q) + (c_a * d * N_{ca}) + (\gamma * v^2 * d * N_a) \right) * w * \text{sen}(\alpha + \delta) + (c_a * d * w * \cot(\alpha)) \quad (3)$$

$$H = \left((\gamma * g * d^2 * N_\gamma) + (c * d * N_c) + (q * d * N_q) + (c_a * d * N_{ca}) \right) * w * \text{sen}(\alpha + \delta) + (c_a * d * w * \cot(\alpha)) + \left((\gamma * g * (d + (q / (\gamma * g))))^2 * w'' * N_{s\gamma} \right) + (c * w'' * d * N_{sc}) * Kb \quad (4)$$

$$\text{onde : } w'' = d / (\tan(\beta) * \text{sen}(\alpha + \theta) / (2 * \text{sen}(\theta))); \theta = (1/2) * (\delta + \phi + (\pi/2) + \text{sen}^{-1}(\frac{\text{sen}(\delta)}{\text{sen}(\phi)}))$$

$$Kb = (\tan^{-1}(\text{sen}(\alpha) * \cot(\beta)) / ((\pi/2) - \beta))$$

$$H = \left((\gamma * g * d^2 * N_\gamma) + (c * d * N_c) + (q * d * N_q) + (c_a * d * N_{ca}) \right) * (w + (r * (1 - (d * \frac{\cot(\alpha)}{r^2})^2))) * \text{sen}(\alpha + \delta) + (c_a * d * w * \cot(\alpha)) \quad (5)$$

$$\text{onde : } r = ((\cot(\alpha) + \cot(\beta)) * d)$$

$$H = \left((\gamma * g * d^2 * N_\gamma) + (c * d * N_c) \right) * (\text{sen}(\delta) + \cos(\delta)) * (0.707 * w + 1.225 * d) * I \quad (6)$$

$$H = (CI * d * (0.054 + 0.0015 * U + (0.00694 * e^{-d})) * (0.707 * w + 1.225 * d) * I \quad (7)$$

$$H = ((l * c_a) - (\gamma * w * d * v^2 * (\text{sen}(\alpha) / \text{sen}(\alpha + \beta)))) - ((d * c) / \text{sen}(\beta)) \quad (8)$$

$$H = \frac{G}{z} + \frac{(c * (\frac{w * d}{\text{sen}(\beta)}) + (\frac{\gamma}{g} * w * d * v^2 * \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\alpha + \beta)}))}{z * ((\text{sen}(\beta) + \tan(\phi) * \cos(\beta)))} \quad (9)$$

$$\text{onde: } G = l * w * \gamma * \cos(\alpha); z = \frac{(\cos(\alpha) - \tan(\delta) * \text{sen}(\alpha))}{(\text{sen}(\alpha) + \tan(\delta) * \cos(\alpha))} + \frac{(\cos(\beta) - \tan(\phi) * \text{sen}(\beta))}{(\text{sen}(\beta) + \tan(\phi) * \cos(\beta))}$$

$$H = F * (A + B * v + C * v^2) * w * \text{ donde: } F, A, B, e C. \text{ são constantes } F = 0.65, A = 91, B = 5.4, e C = 0 \quad (10)$$

$$H = (520 + 49.2 * v) * (d / 8.26)^2 \quad (11)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos testes realizados por CHANG (1994), são apresentados na Tabela 1. Os valores de resistência a tração calculados pelas equações são apresentados na Tabela 2, a

comparação entre a média dos valores experimentais e os valores calculados pelas equações pode ser vista no gráfico 1.

Tabela 1. Resultados dos testes com escarificador (CHANG et al. 1994).

.MÉDIA	UMIDADE (%)	IC (kPa)	Densidade (g/cm ³)	RES. TRAÇÃO (N)
Média 1	10.21	1377	1.24	251
Média 2	9.87	1142	1.22	269
Média 3	9.89	1622	1.32	297
Média Geral	9.99	1380	1.26	272.3

Tabela 2. Valores calculados para a resistência a tração pelas equações avaliadas, e desvio (Desvio=((H/272)-1)*100) em relação a média encontrada por CHANG (1994).

Equação	Reece	McKyes1	McKyes2	Hettiar.	Godwin	Desbiol1	Desbiol2	Sohne	Soehne	ASAE	CRC
H (N)	100	211	293	454	365	918	1250	352	394	801	1312
Desvio(%)	-63	-22	7	67	34	237	360	29	45	194	382

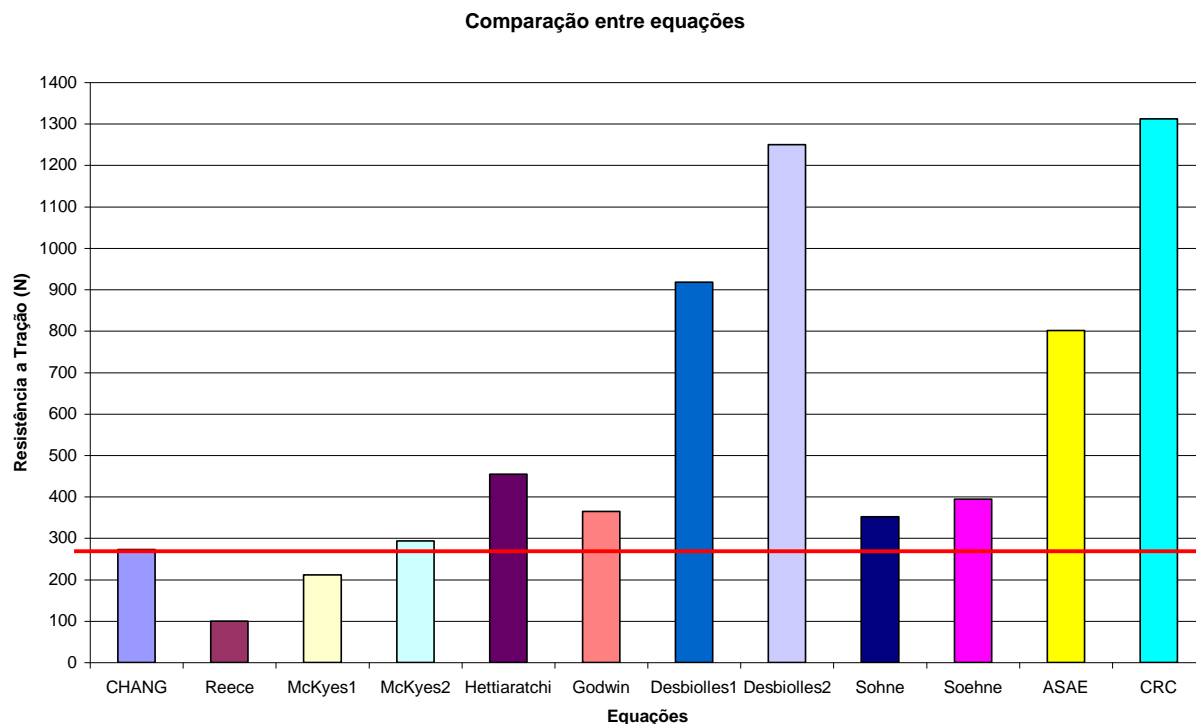


Gráfico 1. Comparação entre equações avaliadas, o traço vermelho indica a resistência a tração do escarificador encontrado experimentalmente por CHANG (1994).

Percebe-se que existe grande dispersão entre os valores calculados pelas equações em relação aos valores de resistência a tração encontrados por CHANG (1994). Quatro equações (McKyes1, McKyes2, Godwin, Sohne e Soehne) possuem desvios variando de -22% a 45% em relação aos dados experimentais, sendo a equação McKyes2, a que obteve maior sucesso com apenas 7% de desvio em relação a média experimental, estes valores são aceitáveis para pré-projetos, pois estes desvios são abarcados facilmente pelos coeficientes de segurança utilizados. A equação de Reece teve um desvio de -67%, sendo um valor muito inferior do real, portanto deve ser pensada com cuidado, ressalta-se no entanto seu valor como pioneira. A equação de Hettiaratchi é definida segundo McKYES (1985) própria para lâminas curtas que tenham largura de cerca de 1/6 da profundidade

de operação, no experimento conduzido por CHANG (1994) a relação é em torno de 1/3, o que explica seu desvio de 67%. As equações de DESBIOLLES possuíram desvios de 235 a 360%, em relação a equação Desbiolles1, credita-se tal desvio pelo fato de não ter sido encontrado um Coeficiente de ferramenta I para o escarificador testado, sendo utilizado um Coeficiente de ferramenta relativo a um subsolador, quanto a equação Desbiolles2, a razão que relaciona umidade com índice de cone, é encontrada através de análise dimensional, sendo específica para o solo experimento onde foi realizado o experimento, no entanto desde que seja encontrada a razão correta é uma boa opção. A equação ASAE, com um desvio de 194% prioriza constantes definidas pelo padrão americano, portanto com coeficientes pré-definidos, considerando médias nacionais do EUA. A equação

CRC como desvio de 383%, é restrita para solos francos sendo uma

CONCLUSÃO

Conclui-se que as equações de predição utilizadas devem ser consideradas sempre em relação as simplificações inerentes as sua formulações, pois cada uma delas possuiu particularidades referentes ao

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASAE. **Standards of ASAE**. Standard D497.3, Nov 1993. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1997.

[2] CHANG, C. S., ALMEIDA, H. C. CASÃO Jr., R., CONTRERAS, G. A. M. A laboratory study on conservation tillage performance. In: Intern. Congress of Agricultural Engineering, 1994, Milano. **Proceedings**...Milano. Univercitta. di Milano, v1.,p.418–425, 1994.

[3] DESBIOLLES, J.M.A., GODWIN, R. J., KILGOUR, J., BLACKMORE, B. S. A novel approach to the prediction of tillage tool draught using a standard tine. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Silsoe, v.66, n.4, p. 295-309, 1997.

[4] DESBIOLLES, J.M.A., GODWIN, R. J., KILGOUR, J., BLACKMORE, B. S. Prediction of tillage implement draught using cone penetrometer data.. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Silsoe, v.73, n.4, p. 65-73, 1999.

[5] FIELKE, J.M., RILEY, T. W. Universal earthmoving equation applied to chisel plough wings. **Journal of Terramechanics**. London, v. 28, n.1, p. 11-19, 1991

aproximação super-dimensionada para solos franco arenosos.

tipo de solo, condição física e mecânica do solo para os quais foram desenvolvida, além das características da operação desejada. Em geral estas equações super-dimensionais o valor de resistência a tração.

[6] GILL, W. R., VANDENBERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction**. United States Department of Agriculture, Washington, 1968.

[7] HILLEL, D. **Fundamentals of Soil Physics**. Academic Press, Inc., San Diego, 1994.

[8] KOOLEN, A. J., KUIPERS, H. **Agricultural soil mechanics**. Springer Verlag, Berlin, 1983.

[9] MCKYES, E. **Soil Cutting and tillage**. Elsevier, Amsterdam, 1985.

[10] MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**. FEALQ, Piracicaba, 1996.

[11] SRIVASTAVA, A. K., GOERING, C. E., ROHBACH, R. P. **Engineering principles of agricultural machines**. ASAE, St. Joseph, 1993.

[12] UPADHYAYA, S. K.; CHANCELLOR, W. J.; PERUMPRAL, J. V.; SCHAFER, R. L.; GILL, W. R.; VANDENBERG, G. E. **Advances in soil dynamics**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 1994.