

UTILIZAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA PREVISÃO DO ESFORÇO DE TRAÇÃO EM FERRAMENTAS ESTREITAS DE MOBILIZAÇÃO DO SOLO

EMILIA ESTEFANIA VILLALBA MORINIGO¹; ROBERTO LILLES TAVARES MACHADO²; ANTÔNIO LILLES TAVARES MACHADO³

¹Universidade Federal de Pelotas – *emibta@hotmail.com*

²Universidade Federal de Pelotas – *rlilles3@gmail.com*

³Universidade Federal de Pelotas – *lilles@ufpel.edu*

1. INTRODUÇÃO

Os implementos agrícolas têm sido utilizados há milhares de anos, principalmente no preparo do solo, eles são e sempre serão indispensáveis para a agricultura (DESIR, 1981). Dentro de todos os cuidados realizados dentro do ciclo agrícola, o preparo do solo é considerado uma das tarefas mais importantes no que diz respeito ao desenvolvimento das plantas, produtividade e eficiência do processo produtivo, o qual também deve considerar o uso de energia na execução das tarefas (MOLINA, 2017). No entanto, preparar o solo, sempre é uma preocupação para os agricultores no que diz respeito à disponibilidade de tempo e custo financeiro, sendo considerada uma das tarefas agrícolas que mais demanda energia. Além disso, existem outras barreiras como a compactação, o controle de plantas daninhas e a conservação dos solos, que fazem parte do que se entende por preparo do solo.

Atualmente as ferramentas estreitas estão sendo difundidas no mercado de máquinas agrícolas por tratarem-se de uma forma eficiente para o rompimento das camadas compactadas, manutenção da estrutura do solo podendo também auxiliar na redução de condições favoráveis para a ocorrência da erosão dos solos através da menor mobilização que provocam. Os agricultores pouco a pouco estão trocando os arados por ferramentas estreitas. No entanto, para a seleção e o dimensionamento adequado do conjunto trator-implemento, por meio principalmente da estimativa do consumo de energia, há necessidade do conhecimento adequado da exigência do esforço de tração pelo equipamento ao trator. Normalmente os agricultores baseiam a escolha do conjunto na sua experiência, porém, com os novos equipamentos disponíveis no mercado, esses conhecimentos podem ser pouco confiáveis (GRISSE et al. 1996; FEILKE & RILEY, 1991).

O método mais eficiente para estimar-se a necessidade de energia de um equipamento agrícola é medindo-se o esforço empregado para a execução de determinada condição operacional, através de ensaios a campo (EHRHARDT et al, 2001), sendo estes mais dispendiosos e demorados. Outra forma é através do modelamento matemático, que vem a ser de custo mais baixo, sendo capaz de proporcionar resultados muito próximos aos dos ensaios de campo (MACHADO, 2001). Não obstante, poucas pesquisas foram conduzidas no Brasil com relação ao cálculo das estimativas de esforço de tração para ferramentas estreitas.

Os modelos matemáticos de Reece (1965); Hettiaratchi & Reece (1967); Godwin & Spoor (1977); Grisso (1980) e Mckyes & Ali (1977) permitem prever comportamentos que envolvem fatores complexos de múltiplas variáveis que atuam entre si durante a ruptura do solo e que produzem vários efeitos simultâneos.

A facilidade, agilidade e precisão proporcionada pelos modelos matemáticos é o motivo que justifica a realização deste trabalho de pesquisa, que visa principalmente analisar os modelos matemáticos de previsão de esforço de tração para ferramentas estreitas com a finalidade de compará-los com dados de esforço de tração de campo (coletados em base de dados de artigos científicos) no sentido de verificar qual ou quais modelos teriam boa aplicabilidade, principalmente em função de sua precisão e facilidade de uso.

2. METODOLOGIA

Este trabalho vem a ser classificado como pesquisa teórico-conceitual, desta forma adotou-se o método baseado na revisão de literatura sistemática por meio de consulta as bases de dados disponíveis no portal de periódicos da (CAPES). Foi conduzido em três fases distintas; na primeira e segunda fase, foram selecionadas as palavras-chave para a consulta na fonte de dados da literatura sobre os modelos matemáticos e os ensaios a campo de ferramentas estreitas (escarificadores e sub-soladores). No caso deste último foram escolhidos apenas estudos realizados no Brasil.

Utilizou-se como critério de inclusão artigos que investigaram temas sobre modelos matemáticos, ponteiros estreitos, cisalhamento do solo tridimensional, desempenho operacional, descompactadores, força de tração, mobilização e preparo do solo primário, termos no título, resumo e/ou palavras-chave disponíveis na íntegra independentemente do ano e do idioma utilizado fosse inglês, espanhol ou português.

A caracterização da fonte de dados da literatura, ocorreu mediante a criação de uma base de dados em uma planilha eletrônica registrando-se primeiramente os autores, a localização, identificando-os através da frase caso (I e II), o tipo de solo e o tipo de implemento.

A terceira fase, foi realizada em decorrência da primeira e a segunda, onde se partiu dos modelos matemáticos escolhidos. Para o procedimento de análise e comparação dos dados quantitativos, foram tomados os resultados de dois trabalhos independentes escolhidos da fonte de literatura que contassem com os dados mais abrangentes com relação as características da ferramenta e do solo. A partir disso executaram-se os cálculos e comparações dos modelos matemáticos com os resultados a campo. Por último, a escolha do modelo baseou-se na maior proximidade dos resultados aos resultados reais de campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais modelos matemáticos analíticos selecionados para realizar os cálculos de esforço de tração de ferramentas estreitas foram:

$$\text{Reece (1965): } H = P \cdot \sin(\alpha + \phi) + c \cdot d \cdot w \cdot \cot \alpha \quad (1)$$

$$\text{Hettiaratchi \& Reece (1967): } H = (\gamma \cdot g \cdot d^2 \cdot N \gamma + c \cdot d \cdot N_c + q \cdot d \cdot N_q + c_a \cdot d \cdot N_{ca}) \cdot w \cdot \sin(\alpha + \delta) + C_a \cdot d \cdot w \cdot \cot \alpha + P_2 \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$\text{McKyes \& Ali (1977): } H = P \cdot \sin(\alpha + \delta) + C_a \cdot d \cdot w \cdot \cot \alpha \quad (3)$$

$$\text{Grisso et al. (1980): } P = (\gamma \cdot g \cdot d^2 \cdot N \gamma + c \cdot d \cdot N_c + C_a \cdot d \cdot N_{ca}) \cdot w \quad (4)$$

$$\text{Godwin \& Spoor (1977): } H = (\gamma \cdot g \cdot d^2 \cdot N \gamma + c \cdot d \cdot N_c + C_a \cdot d \cdot N_{ca} + q \cdot d \cdot N_q) \cdot (w + s) \cdot \sin(\alpha + \delta) + C_a \cdot d \cdot w \cdot \cot \alpha \quad (5)$$

$$\text{Perumpral et al. (1983): } 2 \cdot SF_2 \cdot \cos \phi + Ps \cdot \sin(\phi + \beta) + 2 \cdot CF_2 \cdot \cos \phi + CF_1 \cdot \cos \phi \quad (6)$$

Selecionaram-se dois estudos independentes de ensaios a campo entre os mais recentes encontrados na literatura, a tabela 1 descreve a fonte de dados.

Tabela 1 - Identificação de casos de estudos independentes

Autores	Caso	Localização	Solo	Implemento
Bellé et al. (2014)	I	Boa Vista do Incra, Rio Grande do Sul.	Latossolo Vermelho Distrófico típico.	Escarificador
Rosa et al. (2011)	II	Santa Maria. Rio Grande do Sul.	Argissolo Vermelho-amarelo distrófico arênico.	Subsolador

Os dados referentes aos parâmetro de solo, ferramenta e a interação ferramenta-solo usados para a realização dos cálculos foram os seguintes:

Caso I - Latossolo: teor de água $0,16 \text{ Kg.kg}^{-1}$; velocidade = $5,89 \text{ km.h}^{-1}$; densidade do solo (γ) = $1,66 \text{ g.cm}^{-3}$; aceleração devido à gravidade (g) = $9,81 \text{ m.s}^{-2}$; ângulo de atrito solo-material (δ) = $35,22^\circ$; largura da ferramenta (w) = $0,015 \text{ m}$; profundidade de trabalho (d) = $0,25 \text{ m}$; ângulo de atrito (ϕ) = $23,50^\circ$; ângulo de ataque (α) = 20° ; índice de coesão do solo (C) = $32,90 \text{ kPa}$; ângulo de ruptura do solo na frente da ferramenta (β) = $33,25^\circ$; índice de adesão solo-material (Ca) = $7,8 \text{ kPa}$.

Caso II - Argissolo: teor de água $0,29 \text{ Kg.kg}^{-1}$; velocidade = $4,3 \text{ km.h}^{-1}$; densidade do solo (γ) = $1,71 \text{ g.cm}^{-3}$; aceleração devido à gravidade (g) = $9,81 \text{ m.s}^{-2}$; ângulo de atrito solo-material (δ) = $31,80^\circ$; largura da ferramenta (w) = $0,080 \text{ m}$; profundidade de trabalho (d) = $0,23 \text{ m}$; ângulo de atrito (ϕ) = $39,63^\circ$; ângulo de ataque (α) = 20° ; índice de coesão do solo (C) = $32,20 \text{ kPa}$; ângulo de ruptura do solo na frente da ferramenta (β) = $25,20^\circ$; índice de adesão solo-material (Ca) = $6,30 \text{ kPa}$. Os resultados dos valores de esforço de tração obtidos a campo e por meio dos modelos matemáticos são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da demanda de esforço de tração (H), em kN, para cada ferramenta, medido a campo e calculado por meio dos modelos matemáticos.

Caso	Campo	Perumpral et al. (1983)	McKyes & Ali (1977)	Grisso et al. (1980)	Hettiaratchi & Reece (1967)	Reece (1965)	Godwin & Spoor (1977)
I	H= 4,11	H =8,92	H=0,32	H=9,05	H=5,83	H=0,55	H=5,29
II	H=18,57	H=8,37	H=1,65	H=8,63	H=12,68	H=3,11	H=8,00

Os resultados obtidos por meio dos modelos matemáticos demonstram uma grande variabilidade quando comparados àqueles obtidos em campo. De forma geral, identifica-se que para o caso I (Latossolo), o resultado mais próximo ao de campo foi o obtido por meio do modelo proposto por Godwin & Spoor (1977) e Hettiaratchi & Reece (1965). Para o caso II (Argissolo), observou-se uma maior aproximação para os resultados obtidos pelo modelo de Hettiaratchi & Reece (1967). Estes dados comprovam as observações de Machado & Trein (2013).

Vale ressaltar a diferença da demanda de força real medida a campo por haste para o caso I (Latossolo), foi de $4,11 \text{ kN}$ e de $18,57 \text{ kN}$ para o caso II (Argissolo), considerando que ambos os solos agrícolas se encontravam em condições semelhantes de manejo, destinavam-se à semeadura direta há mais de dez anos, no momento do ensaio encontravam-se no estado de friabilidade, sendo a profundidade de trabalho de $0,25 \text{ m}$ para o Latossolo, e de $0,23 \text{ m}$ para Argissolo. Isto indica que a natureza dos solos é um fator altamente importante quando se trata do preparo do solo primário, com isso demonstra-se que entre os diferentes modelos

matemáticos podem se recomendar um modelo determinado para cada tipo de solo.

4. CONCLUSÕES

Comprovou-se que os modelos matemáticos possibilitam a obtenção de resultados aproximados com relação aqueles obtidos em campo. Os modelos propostos por Godwin & Spoor (1977) e Hettiaratchi & Reece (1967) forneceram os resultados mais próximos àqueles medidos em campo, destacando-se na precisão e na facilidade de uso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLÉ, Mateus P. **Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.18, n.5, p.551–558, 2014.

DESIR, Finbar Lambert. **A field evaluation of the wedge approach to the analysis of soil cutting by narrow blades**. 1981. 260f. Thesis (Master of Science). McGill. University, Montreal, Quebec, Canada. 1981.

EHRHARDT, J.P.; et al. **Using the veris electrical conductivity cart as a draft predictor**. ASAE Paper No. 011012 at Sacramento Convention Center, Sacramento, CA, Jul, 29–Ag. 2001.

GODWIN, R. J.; SPOOR. G. **Soil failure with narrow tines**. Journal of Agricultural Engineering Research, 1977. 22(4):213-228.

GRISSE, R. D., PERUMPRAL, J. V., & DESAI, C. S. **A soil e tool interaction model for narrow tillage tools**. St. Joseph, MI 49085: ASAE.p.80-1518. 1980.

GRISSE, R. D., YASIN, M., KOCHER, M. F. Tillage implement forces operating in silty clay loam. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, V. 39, n. 6, p.1977–1982. 1996.

HETTIARATCHI, D. R. P.; REECE. A.R. **Symmetrical three-dimensional soil failure**. Journal of Terramechanics, 1967 4(3):45-67.

MACHADO, Antônio Lilles Tavares & TREIN, Carlos R. **Draft prediction models for soil engaging tines in two soils of Rio Grande do Sul, Brazil**. Eng. Agric., Jaboticabal, v.33, n.1, p.167-175, jan./fev. 2013.

McKYES, E.; ALI. O. S. **The cutting of soil by a narrow blade**. Journal of Terramechanics. 1977. 14(2): p.43-58.

MOLINA, Walter Francisco Jr. **Comportamento Mecânico do Solo em Operações Agrícolas**. Piracicaba. ESALQ/USP. ISBN:978-85-922384-0-7. DOI: 10.11606/9788592238407, 2017. 223p.

ROSA, David Peres da et al. **Cultivo mínimo: Efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.11, p.1199–1205, 2011.