

# PREVISÃO DO ESFORÇO DE TRACÇÃO EM GRADES DE DISCOS OFFSET: VALIDAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO

## DRAUGHT FORCE PREDICTION FOR TRAILED DISC HARROWS: MODELS VALIDATION

J. M.P.R. SERRANO<sup>1</sup>, J. O. PEÇA<sup>1</sup>, A. C. PINHEIRO<sup>1</sup>, M. J. CARVALHO<sup>1</sup>,  
M. NUNES<sup>2</sup>, L. RIBEIRO<sup>2</sup>, F. SANTOS<sup>3</sup>

---

### RESUMO

Neste artigo faz-se uma breve abordagem aos estudos de modelação desenvolvidos para estimar e prever a resistência que o solo oferece ao avanço em grades de discos "offset", com especial atenção às propostas da ASAE Standards. A modelação das solicitações de tracção em alfaias de mobilização do solo requer o conhecimento das variáveis com influência directa no parâmetro físico referido. São utilizados dados de campo obtidos em diferentes locais e condições de solos no Alentejo para enquadrar os modelos apresentados e para propor um modelo de referência adequado.

Justifica-se o interesse do conhecimento das solicitações de tracção com base nas

questões de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia e na comparação de itinerários técnicos alternativos.

**Palavras chave:** Tractor; Grade de discos; Solo; Interação; Modelação.

### ABSTRACT

This paper reviews available information about draught requirements of trailed disc harrows, principally the ASAE Standards models. Draught requirements of trailed disc harrows measured in real cultivating conditions in various soils of Alentejo (Southern Portugal) were used to validate these models and to develop a reference model.

Results are put against draught predicting models, based on harrow weight per disc and on working forward speed, to select farm machinery and to compare the performance of alternative farming systems.

**Keywords:** Tractor; Implement; Soil; Interaction; Modelling.

---

<sup>1</sup> Universidade de Évora (UE), Departamento de Engenharia Rural, Núcleo da Mitra, 7000 Évora, e-mail: jmrs@uevora.pt

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Laboratório de Medidas Eléctricas, Lisboa

<sup>3</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural, Vila Real

## INTRODUÇÃO

Nos sistemas tradicionais de mobilização do solo no Alentejo é frequente a utilização de grades de discos tanto em mobilizações primárias, especialmente na instalação de culturas de Outono-Inverno ou em solos fracos, como em mobilizações secundárias, na preparação final da cama de semente.

O conhecimento das exigências de tracção específicas de cada alfaia permite:

- seleccionar os tractores, em termos de potência;
- servir de referência para efeitos de projecto e desenvolvimento da alfaia.

Muitos estudos têm sido conduzidos para medirem as necessidades de tracção de várias alfaias de mobilização em diversas condições de trabalho. Inclusivamente, têm sido desenvolvidos modelos de previsão do esforço de tracção necessário, contudo, a heterogeneidade dos solos aliada à complexidade da interacção entre o solo e as peças activas da alfaia e a constante evolução ao nível dos materiais e da concepção dos equipamentos tornam difícil a sua generalização. Por essas razões, os dados e a informação recolhida para uma determinada alfaia incluem uma larga variabilidade, dependente, fundamentalmente, das características específicas e das regulações da alfaia e das condições em que se encontra o solo. Justifica-se, por isso, a obtenção de dados de campo nas mais diversas condições de trabalho, para que a base de dados assim constituída possa ser utilizada como uma ferramenta de apoio às decisões dos fabricantes e dos agricultores.

## OBJECTIVOS

O projecto PAMAF 8.140 "Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo" permitiu o

estabelecimento de um banco de dados de tracção com grades de discos "offset" em condições típicas do Alentejo (Serrano, 2002). Estes dados são utilizados neste trabalho para validar diferentes modelos de previsão do esforço de tracção em grades de discos "offset" rebocadas, procurando confirmar a importância das variáveis envolvidas. De entre os modelos apresentados na literatura para prever este parâmetro em grades de discos, podem distinguir-se 3 grupos, utilizando como variáveis independentes, respectivamente: I-a massa da grade; II-a velocidade de trabalho; III-simultaneamente, a profundidade e a velocidade de trabalho. Nos ensaios realizados, foram utilizadas grades de discos rebocadas e desprovidas de mecanismos reguladores de profundidade, pelo que apenas são testados os dois primeiros modelos. O principal objectivo deste trabalho é, por isso, o de determinar qual dos modelos apresentados se ajusta melhor ao desempenho nas condições típicas do Alentejo, com grades de discos "offset" de fabrico nacional.

## REVISÃO DO ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS

### A modelação do esforço de tracção em grades de discos

#### Modelo I - O modelo ASAE (1995)

A ASAE (American Society of Agricultural Engineers) propôs como modelo geral de previsão do esforço solicitado pelas grades de discos, uma função linear da massa da grade,  $M$  em kg (Equação 1 e Quadro 1), sendo o coeficiente  $k$  estabelecido em função da textura do solo.

$$T = k \times M \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde  $T$  é a tracção na barra, em N.

**Quadro 1** – Previsão da tracção solicitada por grades de discos “offset” (ASAE, 1995).

| Tipo de solo   | Tracção (T, em N) |
|----------------|-------------------|
| Argiloso       | 14,7 x M          |
| Franco-limoso  | 11,7 x M          |
| Arenoso-franco | 7,8 x M           |

Onde M é a massa da alfaia em kg.

Este modelo pode considerar-se uma referência uma vez que considera provavelmente os dois parâmetros com maior importância na definição do esforço solicitado por estas alfaias: a massa da alfaia e o tipo de solo. No entanto, é apontado na bibliografia como pouco rigoroso, uma vez que não considera o efeito da velocidade de trabalho e, no que respeita à profundidade apenas o valida para “...a profundidade de trabalho típica das grade de discos...”. Por estas razões, muitos outros modelos têm sido desenvolvidos, procurando dar respostas mais precisas a esta questão, podendo considerar-se diferentes formas de aproximação à realidade, com graus de complexidade variáveis.

**Modelo II - O modelo linear da velocidade (Harrigan & Rotz, 1994; Siemens, 1996), actualmente conhecido como modelo ASAE (2000)**

Para a grade de discos e para cada tipo e condição de solo em cada profundidade de trabalho, a relação entre esforço de tracção e velocidade toma a forma da Equação 2:

$$R = A + B(v_r) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: R - é a resistência específica por unidade de secção de solo mobilizado (em N cm<sup>-2</sup>); v<sub>r</sub> - é a velocidade de avanço (em km h<sup>-1</sup>); A, B - são constantes dependentes da

alfaia, do tipo e da condição de solo.

No Quadro 2 apresentam-se os valores dos coeficientes propostos por Ramp & Siemens (1990), Harrigan & Rotz (1994), e Siemens (1996) para a grade de discos “offset” em função do tipo e da condição do solo.

Os coeficientes apresentados traduzem a consideração por parte dos autores de um factor constante para traduzir o efeito da textura do solo e da condição do solo. Quanto à textura, consideram que a resistência específica em solo de textura média é cerca de 88% da resistência específica em solo de textura fina, enquanto em solo de textura grosseira é de prever uma resistência específica de cerca de 78% da resistência específica em solo de textura fina. No que concerne à condição do solo, o esforço exigido aos discos é normalmente maior em mobilizações primárias relativamente às mobilizações secundárias, contudo, por vezes, acontece o inverso devido à maior profundidade de trabalho em solo já mobilizado (Harrigan & Rotz, 1995; Siemens, 1996). Harrigan & Rotz (1995) e Siemens (1996), relativamente a esta problemática, citam os resultados publicados por Reid *et al.* (1983): “...o esforço exigido à grade de discos “offset” na mobilização secundária foi cerca de 63% da mobilização primária em solo franco-argiloso, 58% em solo franco-argilo-arenoso e 93% em solo arenoso-franco”. Harrigan & Rotz (1995) e Siemens (1996) indicam no modelo um factor constante, intermédio destes (0,70), para a utilização da grade de discos em mobilização secundária, relativamente à mobilização primária.

Os valores dos parâmetros indicados são resultado da pesquisa de dados publicados, algumas vezes obtidos em condições específicas de solos, outras vezes resultantes de extrapolações a partir de dados obtidos com alfaias semelhantes e de preferência representativos das 3 principais classificações de solos: textura fina (argiloso), média (franco) e gros-

**Quadro 2** - Coeficientes propostos por Ramp & Siemens (1990), Harrigan & Rotz (1994 e 1995) e Siemens (1996) para as equações de previsão do esforço de tracção em grades de discos e em diversas condições de solo.

| Alfaia e condição do solo                          | Textura do solo | A    | B    |
|--|-----------------|------|------|
| Grade de discos "offset" em mobilização primária   | Fina            | 3,64 | 0,19 |
|  | Média           | 3,20 | 0,16 |
|  | Grosseira       | 2,84 | 0,14 |
| Grade de discos "offset" em mobilização secundária | Fina            | 2,54 | 0,13 |
|  | Média           | 2,24 | 0,12 |
|  | Grosseira       | 1,99 | 0,09 |

seira (arenoso), método de agrupamento dos solos vulgarmente utilizado para alfaias de mobilização do solo e já apresentado por Hunt (1977), White (1977), Rotz & Black (1985), citados por Harrigan & Rotz (1994).

Os trabalhos apresentados nesta secção permitiram a actualização do modelo de previsão dos Standards da ASAE (ASAE, 2000), com base no conhecimento da largura, da profundidade e da velocidade de trabalho, tendo ainda em consideração a textura e a condição do solo (Equação 3).

$$T = F_i \times [A + B(v_i)] \times l \times d \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: T - tracção na barra (N);  $F_i$  - parâmetro adimensional de ajustamento à textura do solo (i=1 para solo de textura fina; i=2 para solo de textura média; i=3 para solo de textura grosseira); A e B - parâmetros específicos para grades de discos "offset";  $v_i$  - velocidade de trabalho ( $\text{km h}^{-1}$ ); l - largura de trabalho (m); d - profundidade de trabalho (cm).

No Quadro 3 apresentam-se os parâmetros  $F_i$ , referentes à textura do solo, e os parâmetros A e B, propostos pelo modelo para grades de discos "offset", em função da condição do

solo.

Ao contrário do que se passa com os anteriores modelos apresentados, as tentativas de modelação conhecidas que incluem a profundidade e a velocidade de trabalho resultaram em sistemas muito complexos e foram desenvolvidos a partir de condições de trabalho muito particulares (Grisso *et al.*, 1994; Al-Janobi & Al-Suhaibani, 1998), não procurando a generalização, por esse motivo esses modelos não são considerados nesta validação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de campo obtidos em ensaios realizados no âmbito do projecto PAMAF 8.140 - "Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo".

Foi desenvolvido e instalado um sistema de aquisição de dados (Serrano, 2002) que permitiu o registo dos seguintes parâmetros: regime do motor, velocidade de avanço, patinagem das rodas, consumo horário de combustível e tracção na barra. Para além destes foram também medidos, a largura e a profundidade

**Quadro 3** - Coeficientes propostos no modelo ASAE (2000), Equação 3, para estimativa do esforço de tracção em grades de discos.

| Condição do solo       | A   | B    | Textura do solo |              |                  | Variação (%) |
|------------------------|-----|------|-----------------|--------------|------------------|--------------|
|                        |     |      | $F_1$ -Fina     | $F_2$ -Média | $F_3$ -Grosseira |              |
| Mobilização primária   | 364 | 18,8 | 1,0             | 0,88         | 0,78             | ±50          |
| Mobilização secundária | 254 | 13,2 | 1,0             | 0,88         | 0,78             | ±30          |

de trabalho e avaliadas as características dos solos (textura, condição e teor de humidade).

O Quadro 4 apresenta o conjunto dos locais onde foram realizados ensaios com grades de discos "offset" dos agricultores, indicando-se as características do solo: textura, condição do solo e índice de argila.

Uma vez que qualquer dos dois modelos que se pretendem validar consideram o efeito da textura do solo, subdividindo-a em 3 grupos, solos de textura grosseira, solos de textura média e solos de textura fina, procedeu-se a semelhante subdivisão nos solos correspondentes aos locais de ensaio, tendo por base o índice de argila (Equação 4). O critério definido para esta subdivisão foi o seguinte:

- solo de textura fina (limite considerado para este grupo: índice de argila superior a 50% correspondendo a um teor de argila superior a 33%);
- solo de textura média (limite considerado para este grupo: índice de argila entre 30 e 50% correspondendo a um teor de argila entre 24 e 33%);
- solo de textura grosseira (limite considerado para este grupo: índice de argila inferior a 30% correspondendo a um teor de argila inferior a 24%).

$$I_{\text{argila}} = \frac{\text{argila}}{\text{areia} + \text{limo}} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:  $I_{\text{argila}}$  é o índice de argila do solo (em %); argila - é o teor de argila do solo (em %); areia - é o teor de areia do solo (em %); limo - é o teor de limo do solo (em %).

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No Quadro 5 são apresentadas as características das grades dos agricultores utilizadas nos ensaios e os respectivos dados de campo

médios registados nos ensaios: modelo, largura  $l$ , em m), profundidade ( $d$ , em m), velocidade real de trabalho ( $v_r$ , em  $\text{km h}^{-1}$ ) e tracção na barra ( $T$  em kN).

No Quadro 6 estão registados os dados referentes à grade Herculano, modelo HPR 20-24", com 1300 kg de massa, pertencente ao projecto e utilizada sempre que possível como referência na comparação entre locais.

### Validação dos modelos apresentados

Depois de apresentados os modelos propostos na bibliografia, interessava avaliar qual deles se ajustaria melhor às condições de trabalho normalmente encontradas em operação com grades de discos "offset" no Alentejo.

### Validação do Modelo I – modelo linear da massa ou modelo ASAE (1995)

A discussão recairá sobre os solos dos grupos de textura grosseira e média dada a sua preponderância na região, evidente na amostra utilizada no ensaio (Quadro 4). Apenas uma breve referência aos solos de textura fina para confirmar a grande aproximação do modelo de previsão relativamente aos poucos valores (apenas 3) efectivamente medidos, relativos a 2 grades de discos. O desvio percentual entre os valores previstos e os valores medidos neste grupo de textura foi inferior a 13%.

No que se refere aos valores de tracção medidos em solos de textura grosseira ou de textura média, verifica-se em primeiro lugar uma clara tendência linear positiva por efeito da massa da grade, tal como prevê o modelo. Para confirmar esta clara tendência, os coeficientes de determinação das rectas de regressão adaptadas aos valores medidos são de 0,82 e de 0,98, respectivamente para solos de textura grosseira e solos de textura média. O desvio percentual dos valores previstos para os valores medidos é, nos 7 casos estudados de

**Quadro 4** – Características do solo nos locais de ensaio.

| Locais de ensaios | Classificação Textural<br>(Condição do solo)                | Índice de argila<br>(%) | Grupo de Textura |
|-------------------|---|-------------------------|------------------|
| Selmes-B          | Argiloso<br>(Mobilizado', após chisel)                      | 104                     | Fina             |
| Vale Figueira     | Franco-argiloso<br>(Não mobilizado)                         | 59                      | Fina             |
| Barrocal          | Franco-argilo-arenoso<br>(Mobilizado', após chisel e grade) | 49                      | Média            |
| Mencoca-C         | Franco-argilo-arenoso<br>(Mobilizado, após lavoura)         | 44                      | Média            |
| Selmes-A          | Franco/Franco-argiloso<br>(Não mobilizado)                  | 39                      | Média            |
| Outeiro           | Franco-argiloso<br>(Não mobilizado)                         | 39                      | Média            |
| Mencoca-B         | Franco-argilo-arenoso<br>(Mobilizado, após charrua e grade) | 36                      | Média            |
| Lentisca-B        | Franco-argilo-arenoso<br>(Não mobilizado)                   | 33                      | Média            |
| Fitojardim        | Franco-argilo-arenoso/<br>Franco-arenoso (Não mobilizado)   | 25                      | Grosseira        |
| Campo da Mira     | Franco<br>(Não mobilizado)                                  | 23                      | Grosseira        |
| Tojal             | Franco-arenoso<br>(Não mobilizado)                          | 22                      | Grosseira        |
| Lentisca-A        | Franco-arenoso<br>(Não mobilizado)                          | 22                      | Grosseira        |
| Oliveiras         | Franco-arenoso<br>(Não mobilizado)                          | 20                      | Grosseira        |
| Arreimonda        | Franco-arenoso<br>(Não mobilizado)                          | 20                      | Grosseira        |
| Lagoa-B           | Franco-arenoso<br>(Mobilizado; após charrua)                | 19                      | Grosseira        |
| Louseiro-A        | Franco-arenoso/Franco<br>(Não mobilizado)                   | 19                      | Grosseira        |
| Cabanas           | Franco-arenoso<br>(Não mobilizado)                          | 18                      | Grosseira        |
| Louseiro-B        | Franco-arenoso<br>(Não mobilizado)                          | 16                      | Grosseira        |

solos de textura média, inferior a 15%. Nos solos de textura grosseira, e especialmente no caso das grades mais leves (abaixo de 2500kg de massa), há uma clara tendência para o modelo subvalorizar os valores de tracção. Em primeira análise, tal pode justificar-se pelo facto do modelo atribuir aos solos de textura média uma quebra na tracção prevista de cerca de 20% relativamente aos solos de textura fina, confirmado pelos resultados obtidos, enquanto no caso dos solos de textura grosseira a quebra prevista é da ordem dos 50%, quando os

valores realmente medidos não o confirmam. Naturalmente que estas indicações poderão servir como tal, no entanto, condições particulares, nomeadamente, o teor de humidade do solo e a história de antecedentes culturais deverão ser ponderados uma vez que condicionam o efeito da textura. Também o critério utilizado no agrupamento dos solos em três classes permite discussão e poderá justificar parte desta diferença, uma vez que, na realidade, alguns dos solos que foram classificados como pertencentes à classe de textura grosseira

**Quadro 5** - Características das grades de discos dos agricultores e dados de campo médios registados nos ensaios.

| Locais de ensaio | Modelo               | M<br>(kg) | l<br>(m) | d<br>(cm) | v <sub>r</sub><br>(km h <sup>-1</sup> ) | T<br>(kN) |
|------------------|----------------------|-----------|----------|-----------|---|-----------|
| Selmes-B         | Galucho-GLHR 36-26"  | —         | 3,80     | 18,0      | 7,4                                     | 30,0      |
| Vale Figueira    | Fialho-FI/RTM 26-24" | 1700      | 2,54     | 15,0      | —                                       | 22,6      |
| Vale Figueira    | Fialho-FI/RTM 24-24" | 1540      | 2,37     | 16,0      | —                                       | 22,5      |
| Barrocal         | Fialho-FURTF 24-26"  | 1950      | 2,65     | 16,0      | 8,5                                     | 23,3      |
| Mencoca-C        | Galucho-GLHR 40-26"  | 3900      | 4,50     | 18,0      | —                                       | 39,6      |
| Selmes-A         | Galucho-GLHR 36-26"  | 4,00      | 10,0     | 8,0       | —                                       | 18,8      |
| Outeiro          | Galucho-GSM 24-28"   | —         | 2,89     | 18,0      | 6,4                                     | 27,7      |
| Mencoca-B        | Galucho-GLHR 28-26"  | 2500      | 3,30     | 20,0      | —                                       | 29,4      |
| Lentisca-B       | Galucho-A2CP 24-26"  | 1460      | 2,52     | 17,0      | 5,8                                     | 19,2      |
| Lentisca-B       | Galucho-A2CP 22-24"  | 1180      | 2,20     | 14,0      | 6,9                                     | 16,1      |
| Fitojardim       | Herculano-HPR 24-24" | 1460      | 2,50     | 17,0      | 6,4                                     | 17,5      |
| Campo da Mira    | Galucho-GLHR 24-26"  | 1 870     | 2,93     | 18,0      | 4,7                                     | 25,2      |
| Tojal            | Premetal-PLHR 26-26" | 2700      | 3,00     | 18,0      | 5,1                                     | 30,0      |
| Lentisca-A       | Galucho-A2CP 24-26"  | 1460      | 2,43     | 14,5      | 8,2                                     | 18,7      |
| Lentisca-A       | Halco 28-24"         | 1650      | 3,30     | 13,0      | 7,6                                     | 19,1      |
| Oliveiras        | Premetal-PLHR 26-26" | 2700      | 3,19     | 18,0      | 6,0                                     | 23,6      |
| Arreimonda       | Josial-GCHA 14-28"   | 1740      | 1,95     | 20,0      | —                                       | 19,3      |
| Lagoa-B          | Torpedo 40-26"       | 3870      | 4,30     | 25,0      | —                                       | 34,0      |
| Louseiro-A       | Fialho-FURTM 20-24"  | 1300      | 2,20     | 22,0      | 5,8                                     | 20,9      |
| Cabanas          | Premetal 24-26"      | 2165      | 2,65     | 17,0      | —                                       | 24,1      |
| Louseiro-B       | Herculano-HPR 24-24" | 1460      | 2,50     | 16,0      | 6,3                                     | 18,5      |

**Quadro 6** - Dados de campo médios registados com a grade de referência Herculano HPR 20-24".

| Local de ensaio | l<br>(m) | d<br>(cm) | v <sub>r</sub><br>(km h <sup>-1</sup> ) | T<br>(kN) |
|-----------------|----------|-----------|---|-----------|
| Vale Figueira   | 2,14     | 16,5      | 7,6                                     | 16,7      |
| Barrocal        | 2,05     | 16,0      | 7,2                                     | 14,4      |
| Outeiro         | 2,08     | 19,0      | 6,1                                     | 16,4      |
| Lentisca-B      | 2,08     | 19,0      | 7,2                                     | 16,0      |
| Fitojardim      | 2,01     | 18,0      | 7,5                                     | 16,6      |
| Campo da Mira   | 2,07     | 18,0      | 6,4                                     | 18,2      |
| Tojal           | 2,06     | 18,0      | 5,8                                     | 16,9      |
| Lentisca-A      | 2,07     | 18,0      | 5,6                                     | 18,0      |
| Oliveiras       | 2,10     | 16,5      | 7,6                                     | 15,1      |
| Louseiro-A      | 2,09     | 16,5      | 7,6                                     | 15,1      |
| Cabanas         | 2,18     | 17,0      | 6,0                                     | 15,3      |
| Louseiro-B      | 2,11     | 17,0      | 7,2                                     | 17,3      |

não apresentam grandes diferenças em termos de teores de argila, relativamente aos solos de textura média.

A utilização dos dados de tracção medidos referentes à grade do agricultor e à grade de referência (Herculano HPR 20-24") que se

encontram, respectivamente, nos Quadros 5 e 6, comprovaram em cada local de ensaio um efeito linear da massa sobre a tracção solicitada. Em média obtiveram-se valores para o quociente tracção na barra/massa da grade de 8 a 10 N kg<sup>-1</sup> em solo mobilizado (grade em

mobilização secundária) e entre 9 e 16 N kg<sup>-1</sup> em solo não mobilizado (grade em mobilização primária), valores enquadrados com os da previsão da ASAE (1995), entre 7,8 e 14,7 N kg<sup>-1</sup>, em função da textura do solo. A diminuição dos valores deste quociente de situações de mobilização primária para mobilizações secundárias vem de encontro ao que a maior parte da bibliografia refere.

A Figura 1 ilustra o enquadramento do modelo de previsão ASAE (1995) nos resultados obtidos nos ensaios realizados com diferentes modelos de grades de discos. Nos ensaios em solos de textura média e com grades de discos com massa inferior a 4000 kg, verifica-se que em cerca de 80 % dos casos os valores de tracção são previstos pelo modelo com um erro igual ou inferior a 20 %.

Como primeira aproximação, pode considerar-se este modelo como uma boa referência prática nos aspectos de dimensionamento. No entanto, existem dois aspectos que merecem algum comentário: por um lado, a importância que o modelo confere às questões da textura e, por outro, o facto do modelo não prever qualquer efeito da velocidade de trabalho sobre a tracção solicitada na barra. Quanto ao primeiro, a observação dos resultados apresentados nos Quadros 5 e 6 mostra que o efeito da textura não é tão pronunciado como o modelo deixa antever, especialmente na transição entre solos de textura média e textura grosseira, para além de que haverá outros aspectos a considerar, tanto no solo como na grade, que serão também responsáveis por variações no esforço solicitado. De entre estes, salienta-se o estado em que o solo se encontra (mobilizado ou não, a história dos antecedentes culturais, o teor de humidade) e as características e regulações na grade (diâmetro dos discos, abertura dos corpos). No que se refere ao efeito da velocidade serão efectuados os comentários devidos na secção correspondente ao modelo II.

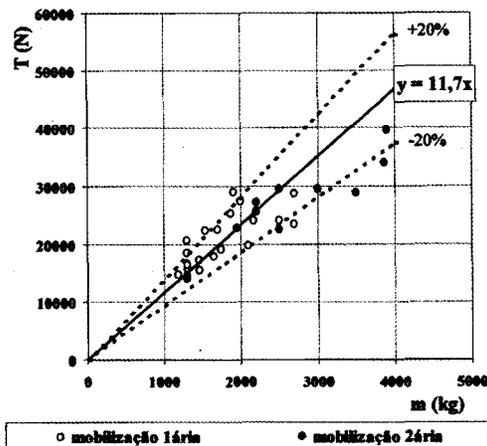


Figura 1 - Aplicação do modelo ASAE (1995) para solos de textura média, aos resultados dos ensaios realizados.

Em resumo, este modelo, que assenta a previsão na massa da grade e na textura do solo, é um modelo redutor, deixando de fora aspectos que condicionam o esforço de tracção. De entre estes, salientam-se, a condição do solo, o diâmetro dos discos, a abertura dos corpos da grade e a profundidade de trabalho. Todavia, é um modelo de aplicação muito simples, basta conhecer-se a massa da grade e o tipo de solo (textura) para estimar a tracção na barra solicitada pela alfaia. O grau de aproximação conseguido, com uma margem de erro de  $\pm 20\%$ , é aceitável para efeitos de dimensionamento do tractor, especialmente se se tiver em conta que o agricultor não adquire um tractor com uma indicação precisa da potência de que necessita, mas antes com a indicação da gama de potências recomendada.

#### Validação do Modelo II - modelo linear da velocidade ou Modelo ASAE (2000)

Também relativamente a este modelo a discussão dos resultados incide sobre as previsões para solos de texturas média e grosseira dada a pequena participação de locais de

ensaio com solo de textura fina na amostra considerada.

Verifica-se que o modelo define para solo não mobilizado aproximadamente o limite mínimo da distribuição dos valores medidos, apresentando, por isso, alguma tendência para subvalorização da previsão. Apesar de ser evidente uma ligeira tendência positiva e linear para o efeito da velocidade sobre a resistência específica, tal como enuncia o modelo e como comprovam os coeficientes apresentados no Quadro 7, obtidos a partir de ensaios realizados em alguns dos locais com diferentes velocidades de trabalho, a grande variabilidade dos resultados obtidos não permite tirar grandes conclusões. Uma das limitações deste modelo é o facto de não tomar em conta as características da grade. Também nesta previsão se revela a dificuldade de ponderar a questão da textura do solo, especialmente quando são diversas as condições do solo quanto ao teor de humidade ou quanto a história de antecedentes culturais, porventura tão ou mais determinantes no esforço de tracção solicitado do que a própria textura. Por outro lado, o modelo é omissivo quanto às regulações efectuadas nas grades de discos, sendo de prever que se refira a situações de abertura máxima dos corpos da grade, enquanto os valores medidos usados na validação resultam da utilização de várias grades de discos por vezes com mais de uma abertura dos corpos da grade. Naturalmente que as situações de menor abertura da grade correspondem a menores esforços de tracção e permitem, por isso, a operação com velocidades mais elevadas, o que se traduz numa completa inversão do modelo.

Na utilização da grade em mobilização secundária, deve fazer-se referência à boa aproximação da previsão do modelo relativamente aos valores medidos em solo de textura fina, ao contrário do que acontece nos outros grupos texturais. Inclusivamente, verifica-se uma grande semelhança nos valores da resis-

tência específica entre as duas condições de solo (não mobilizado e mobilizado), quando o modelo prevê uma quebra média de 70% neste parâmetro para a utilização da grade em mobilização secundária relativamente à mobilização primária. Este será, certamente, outro ponto fraco do modelo. Os resultados realmente medidos colocam em questão este pressuposto e revelam que seria mais ajustado atribuir coeficientes diferenciados de acordo com o grupo textural em causa. Reid *et al.* (1983), cujos resultados serviram de base à definição geral deste modelo, atribuem coeficientes mais elevados em solos de textura grosseira, preponderantes na nossa amostra, e que seriam mais adequados em face dos resultados obtidos nos ensaios de campo.

Como comentário à validação deste modelo e em face da pequena amplitude de velocidades em que a grade de discos é normalmente utilizada (entre 6 e 8 km h<sup>-1</sup>), a variável independente que este modelo utiliza funciona praticamente como uma constante, resumindo-se o modelo ao efeito da textura e da condição do solo, sem qualquer referência ao peso da alfaia, ficando por isso aquém do modelo da ASAE (1995), com base na massa.

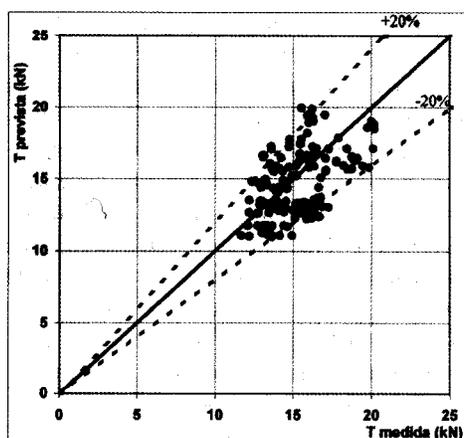
A Figura 2 ilustra o enquadramento do modelo de previsão ASAE (2000) nos resultados obtidos nos ensaios realizados com diferentes modelos de grades de discos, em mobilização primária de solos de textura média. Verifica-se que em cerca de 95% dos casos os valores de tracção são previstos pelo modelo com um erro inferior a 20%.

Os valores medidos em solo mobilizado não puderam ser utilizados na discussão deste modelo pelo facto desses ensaios terem decorrido com tractores que não se encontravam equipados com sistema de informação ao operador, o que impediu o registo da velocidade de trabalho e, logo, a aplicação deste modelo proposto pela ASAE.

Em resumo, este modelo revela da parte

**Quadro 7** - Coeficientes a e b e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da equação linear de previsão do esforço de tracção a partir da velocidade real de avanço ( $T=a+b.v_r$ ), obtidos em ensaios de campo com grades de discos "offset" em diferentes condições de trabalho.

| Locais de ensaio | Grade (abertura, em °) e Condição do solo                  | a    | b    | $R^2$  |
|------------------|--|------|------|--------|
| Fitojardim       | Grade Agric. (37°) – Solo Não mobilizado                   | 3,11 | 0,08 | 0,9791 |
| Louseiro-B       | Grade Agric. (37°) – Solo Não mobilizado                   | 3,69 | 0,08 | 0,9923 |
| Campo da Mira    | Grade Referência (46°) – Solo Não mobilizado               | 4,04 | 0,07 | 0,7408 |
| Campo da Mira    | Grade Referência (37°) – Solo Não mobilizado               | 3,49 | 0,03 | 0,7509 |
| Selmes-B         | Grade Agric. (36°) – Solo mobilizado (Após chisel)         | 3,11 | 0,07 | 0,9968 |
| Barrocal         | Grade Agric. (52°) – Solo mobilizado (Após chisel e grade) | 3,75 | 0,24 | 0,9983 |
| Barrocal         | Grade Agric. (46°) – Solo mobilizado (Após chisel e grade) | 2,79 | 0,26 | 0,9832 |
| Outeiro          | Grade Agric. (44°) – Solo Não mobilizado                   | 4,02 | 0,18 | 0,9692 |
| Oliveiras        | Grade Referência (46°) – Solo Não mobilizado               | 3,74 | 0,03 | 0,9998 |
| Oliveiras        | Grade Referência (37°) – Solo Não mobilizado               | 3,18 | 0,07 | 0,9766 |



**Figura 2** - Aplicação do modelo de previsão ASAE (2000) para solo de textura média, não mobilizado; enquadramento dos resultados dos ensaios realizados nas condições de sequeiro do Alentejo.

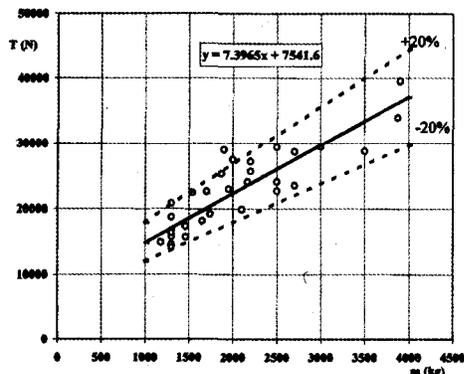
da ASAE a preocupação de incluir um maior número de variáveis que interferem nas solicitações de tracção em grades de discos, nomeadamente, a condição do solo, a largura, a velocidade e a profundidade de trabalho, sendo que no modelo anterior (ASAE, 1995) a largura e a profundidade estavam representadas empiricamente pela massa da grade e a velocidade não era considerada. Se o grau de aproximação é ligeiramente mais elevado

neste modelo do que aquele conseguido no modelo anterior, apresenta, no entanto, a condicionante importante de requerer "à priori" o conhecimento da profundidade de trabalho, parâmetro não previsível em alfaias rebocadas desprovidas de rodas reguladoras de profundidade.

Atendendo a que os modelos apresentados são modelos gerais de previsão das exigências de tracção, ambos mostraram ser capazes de prever a tracção na barra com uma aproximação de  $\pm 20\%$  para o trabalho com grades de discos "offset", na instalação de culturas de sequeiro no Alentejo.

Para efeitos de proposta de modelo de dimensionamento tractor-alfaia, a apresentar no capítulo seguinte, será utilizada a equação de previsão da Figura 3, a qual representa os resultados dos ensaios realizados nas condições locais, em solos de textura média. Esta previsão, com um erro de  $\pm 20\%$ , é suficientemente aceitável para efeitos de dimensionamento do tractor, mantém a simplicidade da proposta da ASAE (1995) e integra-a num domínio amplo e significativo de valores de massa, representativos dos modelos de grades utilizados na região.

A aplicação desta indicação para solos de textura forte (argilosos) ou para solos de textura fraca (arenosos), carece de validação, exi-



**Figura 3** - Modelo proposto de previsão da tração na barra solicitada por grades de discos "offset" rebocadas em função da massa da grade. Aplicável a grades de discos com massa entre 1000 e 4000 kg, em solos de textura média e em condições de sequeiro no Alentejo.

gindo-se para o efeito a realização de ensaios em solos representativos de cada um destes grupos de texturas.

#### Da previsão do esforço ao dimensionamento do tractor

Em termos de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia, é comum o agricultor preocupar-se com a adequação da dimensão (em termos de potência) do tractor para a charrua, resultando todos os outros pares normalmente desequilibrados, com um subproveitamento da potência disponível. Este reflecte-se, naturalmente, nos custos de utilização dos equipamentos, traduzidos por indicadores como a capacidade de trabalho (em ha h<sup>-1</sup>) e o consumo de combustível por hectare (l ha<sup>-1</sup>).

A importância do conhecimento das exigências de tração específicas de cada alfaia decorre, por isso, do facto de, com base nas mesmas, se poder prever a dimensão adequada dos tractores, em termos de potência, podendo assim obter um adequado compromisso para o conjunto.

A diversidade de ensaios sistemáticos

realizados no âmbito do projecto PAMAF 8.140 permitiu definir nas condições típicas do Alentejo, em termos médios para a operação de tractores de 4 rodas motoras com grades de discos "offset" rebocadas:

- um intervalo de velocidades normais de trabalho ( $v_p$ ) de 6 a 8 km h<sup>-1</sup>;
- um rendimento total de tração ( $\eta_t$ , inclui o rendimento mecânico da transmissão,  $\eta_m$ , e o rendimento de tração,  $\eta_l$ ) compreendido entre 50 e 60%.

A utilização destes valores médios conjugados com o modelo de previsão da ASAE, aqui referido e validado, permite, a partir do conhecimento da massa da grade, prever as necessidades de potência no tractor para trabalhar nas condições habituais no Alentejo, em função da textura do solo (Figura 4). A potência mínima será aquela que corresponderá à utilização da grade em boas condições de tração (rendimento total de tração de cerca de 60%), enquanto a potência máxima será aquela que resultará da utilização da grade em condições mais difíceis de tração (rendimento total de tração de cerca de 50%). A amplitude do intervalo de potências indicadas depende, fundamentalmente, das condições previstas de trabalho, nomeadamente ao nível da textura, da estrutura e da condição dos solos típicos onde se pretende utilizar determinada alfaia. A indicação de uma potência máxima recomendada justifica-se para evitar a utilização de tractores demasiado grandes com alfaia muito pequenas, exigindo velocidades elevadas para rentabilizar o grau de utilização da potência disponível, podendo colocar em risco não só a resistência da alfaia e a qualidade do trabalho, mas principalmente o conforto e a segurança do operador.

Por exemplo, uma grade de discos com as características da grade de referência utilizada nestes ensaios (Grade Herculano HPR-20-24", de 1300 kg de massa), em operação em solos de textura grosseira a média, típicos no Alto

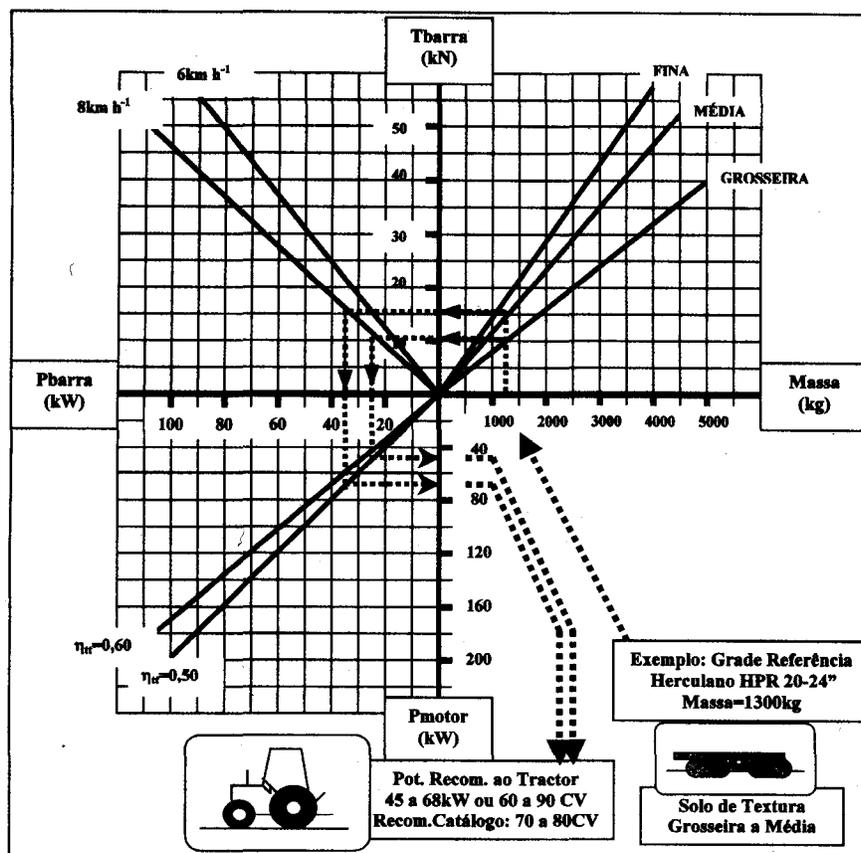


Figura 4 - Diagrama para determinação da potência recomendada para trabalhar com grades de discos, pela aplicação do modelo da ASAE (1995).

Alentejo, exige, de acordo com este diagrama de previsão, a utilização de um trator com uma potência no motor entre 45 e 68kW, ou seja 60 a 90CV. A recomendação do fabricante para este modelo de grade, segundo o catálogo respectivo é de 70 a 80CV. Refira-se, no entanto, que os valores da massa da grade indicadas no mesmo catálogo se encontram subvalorizados em cerca de 20 a 30% da sua massa real. Esta subvalorização é, aliás, comum também nas indicações de modelos de grades de outros fabricantes consideradas neste estudo.

### CONCLUSÕES

A tentativa de previsão do esforço de tracção em alfaias agrícolas justifica-se pela importância do conhecimento deste parâmetro para o fabricante destes equipamentos, para efeitos de projecto e desenvolvimento das alfaias, e para o agricultor, em termos de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia e para estimativa dos custos afectos às operações de mobilização do solo. No entanto, a heterogeneidade dos solos e a complexidade da dinâmica de interacção das alfaias com o solo dificulta o estabelecimento de modelos de

previsão. Apesar de tudo, são diversos os modelos apresentados por diferentes equipas de investigação, comprovando-se neste estudo que a previsão da ASAE (1995) no que respeita às grades de discos "offset" rebocadas pode funcionar como um indicador prático de grande utilidade. O efeito positivo da massa da grade sobre a respectiva solicitação de tracção foi demonstrada utilizando diferentes modelos de grades em diversas condições de trabalho no Alentejo. Foram encontrados valores de tracção na barra de 9 a 16 N kg<sup>-1</sup> de massa da grade, em mobilização primária e em função do tipo e das condições do solo.

Foi também comprovado o efeito linear positivo da velocidade de trabalho sobre o esforço de tracção, tal como prevê o modelo de Harrigan & Rotz (1994), também apresentado por vários outros autores, entre os quais Siemens (1996). Os resultados obtidos permitem estimar um acréscimo médio de 3 a 4% na resistência específica (em N cm<sup>-2</sup>) por cada km de velocidade, no intervalo de velocidades típico de utilização em grades de discos (6 a 8 km h<sup>-1</sup>). Este modelo, no entanto, apresenta algumas limitações, sendo a principal o facto de o mesmo não considerar características específicas da alfaia, como o seu peso, por exemplo. Pode considerar-se, por isso, que este tal como os modelos complexos que consideram a interacção da velocidade e da profundidade de trabalho, assumem uma importância mais académica do que propriamente prática.

O efeito do tipo de solo é apresentado pelo modelo da ASAE (2000) para as grades de discos como determinante no esforço de tracção solicitado, prevendo um acréscimo da ordem dos 50% na transição de solo de textura grosseira para solo de textura média e um acréscimo de cerca de 90% na transição do primeiro para um solo de textura fina. Os resultados obtidos não permitem sustentar esta previsão, aproximando-se mais, neste aspecto, do modelo de Harrigan & Rotz (1994), o qual

prevê para a comparação dos mesmos tipos de solos, acréscimos respectivamente de 13% e de 28% na resistência específica (N cm<sup>-2</sup>).

A condição do solo também é indicada no modelo de Harrigan & Rotz (1994) com influência na resistência específica, sendo utilizado o valor médio de 70% em grades de discos em mobilização secundária relativamente à sua utilização em mobilização primária. Os mesmos autores ressaltam contudo a possibilidade destes valores apresentarem uma grande variação. O tipo de mobilização anterior à passagem da grade de discos condiciona, naturalmente, o estado do solo e, conseqüentemente, a resistência que este oferece. Nos ensaios realizados, apesar da tendência ser para uma ligeira diminuição dos valores da resistência específica em mobilização secundária relativamente à mobilização primária, a interferência de factores como o tipo de solo, o tipo de mobilização primária e a tendência para a utilização de menores ângulos de abertura dos corpos na grade em mobilização secundária dificultam a comparação e o estabelecimento de qualquer relação.

Um dos aspectos porventura mais importantes na intensidade do esforço solicitado pelas grades de discos "offset" é o ângulo de ataque dos discos, não sendo considerado em qualquer dos modelos apresentados uma vez que os mesmos são modelos de dimensionamento, logo terão subjacente a utilização dos ângulos máximos permitidos.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados, predominantemente com dois diâmetros de discos (24 e 26"), mostram ainda o efeito positivo deste parâmetro sobre a resistência que o solo oferece às grades de discos "offset". Em termos médios pode esperar-se uma resistência específica por metro de largura de trabalho entre 7 e 9 kN m<sup>-1</sup> nas grades com 24" de diâmetro de disco e entre 8 e 10 kN m<sup>-1</sup> nas grades com 26" de diâmetro de disco, variável com as condições específicas do solo.

Pode por fim afirmar-se que, com base nos resultados obtidos, a adaptação do modelo da ASAE (1995) pode utilizar-se nas condições do Alentejo como referência, em termos de dimensionamento do conjunto tractor-alfaia, devendo garantir-se, no entanto, a aplicação dos valores da massa efectivamente medidos e não os valores, normalmente inferiores, constantes dos catálogos respectivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Janobi, A. A. & Al-Suhaibani, S. A. (1998) - Draft of Primay Tillage Implements in Sandy Loam Soil. ASAE, *Applied Engineering in Agriculture* 14(4): 343-348.
- ASAE (1995) - ASAE D497.2 MAR94 - Agricultural Machinery Management Data. In: ASAE STANDARDS, 42<sup>th</sup> Edition. St. Joseph, Mich. ASAE, pp. 335-341.
- ASAE (2000) - ASAE D497.4 MAR99 - Agricultural Machinery Management Data. In: ASAE STANDARDS, 47<sup>th</sup> Edition. St. Joseph, Mich. ASAE, pp. 350-357.
- Grisso, R. D.; Yasin, M. & Kocher, M. F. (1996) - Tillage Implement Forces Operating in Silty Clay Loam. *Paper N° 94-1532 ASAE Meeting, Chicago.*
- Harrigan, T. M. & Rotz, C. A. (1994) - *Draft of Major Tillage and Seeding Equipment*. Agricultural Engineering Department, Paper N° 94-1533 Meeting ASAE, Atlanta, December 13-16.
- Hunt, D. (1977) - *Farm power and machinery management*. Seventh edition. Iowa State Univ. Press, Ames, IA, pp. 30-48, 253-273.
- Ramp, D. P. & Siemens, J. C. (1990) - *Tractor/Implement Matching for Performance and productivity*. Paper N° 90-1562 ASAE Meeting, Chicago.
- Reid, J. T.; Carter, L. M. & Clark, R. L. (1983) - *Draft measurements with a three-point dynamometer*. Paper N° 83-1036 ASAE Meeting, St. Joseph, Mich..
- Rotz, C. A. & Black, J. R. (1985) - Machinery requirements and cost comparisons across tillage systems. In: F. M. D'Itri (Ed.) *A System Approach To Conservation Tillage*, Lewis Publishers, Chelsea, Mich., pp.171-190.
- Serrano, J. M. (2002) - *Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Évora, Évora, 234 pp.
- Siemens, J. C. (1996) - *Farm Power and Machinery*. Agricultural Engineering Departement, University of Illinois, Urbana, August, pp. 110-113.
- White, R. G. (1977) - *Matching tractor horsepower and farm implement size*. Bulletin E-1152, Cooperative Extension Service, Michigan State Univ., East Lansing, Michigan.