

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
**ESCOLA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - DEPARTAMENTO DE**  
**ENGENHARIA RURAL**



## **MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA**

**ANÁLISE DE ASPECTOS DE OPERACIONALIDADE**  
**DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

(Apontamentos para uso dos Alunos)

**JOSÉ OLIVEIRA PEÇA**

**ÉVORA**

**2012**

## INDICE

Resumo .....	3
1. Equilíbrio estático do tractor com alfaia montada.....	4
1.1. Exemplos de aplicação .....	5
2. Análise estática de aspectos de segurança.....	12
2.1. Operação em declives.....	15
2.2. Diagramas de carga de segurança.....	19
2.2.1. Exemplos .....	21
3. Equilíbrio estático do tractor e alfaia semi-montada.....	26
3.1. Exemplos de aplicação .....	30
4. Interação com o solo das rodas não motoras de equipamentos agrícolas.....	31
5. Desempenho do conjunto tractor e alfaia .....	36
5.1. Tracção na barra e potência na barra .....	36
5.2. Potência motora e rendimento total.....	37
5.2.1. Rendimento mecânico da transmissão ( $\eta_m$ ) .....	37
5.2.2. Rendimento de tracção ( $\eta_t$ ) .....	37
5.2.3. Exemplos .....	38
5.3. Consumo de combustível do conjunto tractor - alfaia.....	40
5.3.1. Consumo específico.....	40
5.3.2. Consumo horário .....	41
5.3.3. Exemplos .....	41
5.4. Estimativa do combustível consumido em trabalho produtivo .....	42
5.4.1. Exemplo.....	42
5.5. Rendimento de campo .....	43
5.6. Capacidade de trabalho.....	44
5.7. Consumo horário médio (g/h).....	44
5.8. Consumo por hectare (g/ha) .....	44
5.8.1. Exemplos de aplicação .....	45

## Resumo

Este trabalho destina-se a apoiar a aprendizagem de estudantes do ramo das ciências agrárias sobre aspectos relevantes à operacionalidade das máquinas agrícolas.

Utilização das equações de equilíbrio na previsão de esforços sobre os eixos de tractores com alfaias montadas e semi-montadas com vista a salvaguardar os limites técnicos, a estabilidade em declives e a qualidade do solo.

Dada a importância que têm as operações de manuseamento de carga nas explorações agrícolas, é abordado o tema das cargas de segurança de equipamentos como carregadores frontais, empilhadores e carregadores telescópicos.

São igualmente abordados os aspectos relevantes da degradação da potência motora; para potência na barra, apresentando-se factores que influenciam o rendimento de tracção.

Para avaliar o desempenho dos equipamentos introduzem-se as noções de capacidade de trabalho do conjunto tractor e alfaia, consumo horário e consumo por hectare.

São apresentados problemas de aplicação, resolvidos e não resolvidos.

Este trabalho reúne textos de anteriores edições do mesmo autor:

*Tractor Agrícola – Equilíbrio do tractor e alfaia montada – Uma análise estática de aspectos de operacionalidade* (2009, 2007);

*Tractor Agrícola – Equilíbrio do tractor e alfaia semi-montada – Uma análise estática de aspectos de operacionalidade* (2009, 2008, 2007);

*Equipamentos de manuseamento de cargas – Diagramas de carga de segurança* (2008);  
*Aplicação das noções de energia, potência e rendimento ao conjunto tractor alfaia* (2008);

*Equilíbrio tractor alfaia – Uma análise estática de aspectos de segurança* (2007);  
*Aplicações da noção de equilíbrio* (2005, 2004, 2002, 1998; 1994; 1990; 1988; 1986);  
*Aplicações da Noção de Energia, Potência e Rendimento* (2004; 2002; 1998; 1994; 1990; 1988; 1986).

Os textos acima indicados foram publicados periodicamente no contexto de disciplinas em cursos da Universidade de Évora, nomeadamente:

- *Mecânica Aplicada* (1983/84 a 2003/04) - disciplina obrigatória do 3º semestre os cursos de Engenharia Agrícola e Engenharia Zootécnica;
- *Fundamentos de Engenharia nas Máquinas Agrícolas* – (2004/05 e 2005/06) – disciplina obrigatória do 3º semestre de Engenharia Agrícola;
- *Tecnologia dos Equipamentos Agrícolas* – (2004/05 e 2005/06) – disciplina obrigatória do 3º semestre de Engenharia Zootécnica;
- *Mecanização Agrícola* (2006/07 até ao presente) – unidade curricular obrigatória do 3º semestre da licenciatura em Agronomia;
- *Princípios de Engenharia Aplicados à Ciência Animal* (2006/07 até ao presente) – unidade curricular obrigatória do 1º ciclo em Ciência e Tecnologia Animal.

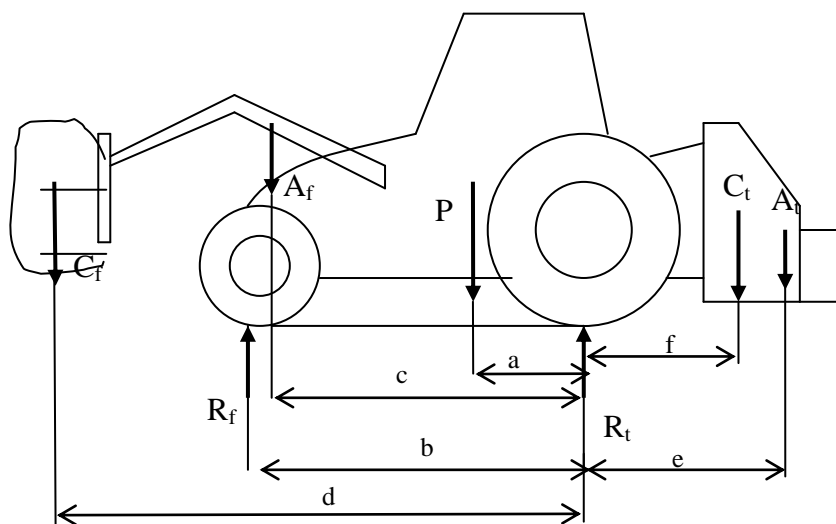
## 1. Equilíbrio estático do tractor com alfaia montada

Utilizando as equações de equilíbrio de um corpo, podemos resolver problemas como o cálculo da carga sobre cada eixo de um veículo (*axle load*). Vamos agora estender este estudo a situações habituais de utilização do tractor com alfaias montadas e semi-rebocadas, tentando ir ao encontro de soluções para problemas correntes.

Os tractores agrícolas podem ter alfaias montadas na traseira (*rear mounted implements*) ou na parte frontal (*front mounted implements*):



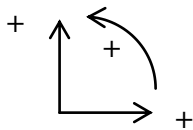
A figura seguinte mostra o caso geral,



- $C_f$  - Carga na alfaia frontal ( $daN$ );
- $A_f$  - Peso próprio da alfaia frontal ( $daN$ );
- $P$  - Peso próprio do veículo; tara ( $daN$ );
- $A_t$  - Peso próprio da alfaia traseira ( $daN$ );
- $C_t$  - Carga na alfaia traseira ( $daN$ );
- $R_f$  - Reacção no eixo frontal do veículo ( $daN$ );
- $R_t$  - Reacção no eixo traseiro do veículo ( $daN$ );
- $a$  - Distância de  $P$  ao eixo traseiro ( $m$ );
- $b$  - Distância de  $R_f$  ao eixo traseiro; distância entre-eixos ( $m$ );
- $c$  - Distância de  $A_f$  ao eixo traseiro ( $m$ );
- $d$  - Distância de  $C_f$  ao eixo traseiro ( $m$ );
- $e$  - Distância de  $A_t$  ao eixo traseiro ( $m$ );
- $f$  - Distância de  $C_t$  ao eixo traseiro ( $m$ ).

Note que as distâncias são sempre medidas perpendicularmente às forças.

Admitamos a convenção:



Equilíbrio de forças:

$$- C_f + R_f - A_f - P + R_t - A_t - C_t = 0$$

Equilíbrio de momentos:

$$C_f \times d - R_f \times b + A_f \times c + P \times a - A_t \times e - C_t \times f = 0$$

O sistema formado pelas duas equações anteriores, permite calcular duas incógnitas. Em particular a resolução em ordem a  $R_f$  e  $R_t$  é um problema de interesse prático, uma vez que (i) os construtores de veículos e, em particular de tractores, impõem cargas máximas que os eixos (*maximum axle load*) podem suportar (ii) deve-se minimizar a compactação do solo agrícola (*soil compaction*).

Resolvendo em ordem a  $R_f$  e  $R_t$  obtemos:

$$R_f = \frac{1}{b} (C_f \times d + A_f \times c + P \times a - A_t \times e - C_t \times f)$$

$$R_t = C_f - R_f + A_f + P + A_t + C_t$$

## 1.1. Exemplos de aplicação

Exemplo 1

Um agricultor pretende instalar na frente do tractor um depósito suplementar (*front mounted sprayer tank*) para assistir ao pulverizador (*sprayer*) que monta na traseira:



[www.knight-ltd.com](http://www.knight-ltd.com)



[http://www.redballproducts.com/products/application\\_accessories/fronttank.php](http://www.redballproducts.com/products/application_accessories/fronttank.php)

Tem à escolha um depósito de 400 litros que pesa, quando cheio,  $420 daN$  ( $+100daN$  para a estrutura de suporte), ou um depósito de 600 litros que pesa, quando cheio,  $630 daN$  ( $+100daN$  para a estrutura de suporte).

Sabendo que o agricultor não deseja mais de  $1300 daN$  de força vertical sobre o eixo dianteiro do tractor (minimizar a compactação), faça os cálculos com vista a aconselhar o agricultor sobre qual o depósito a montar.

Dados:

Distância entre-eixos do tractor =  $2100mm$ ;

Peso próprio do tractor =  $2379daN$ ;

Peso do pulverizador cheio =  $750daN$ ;

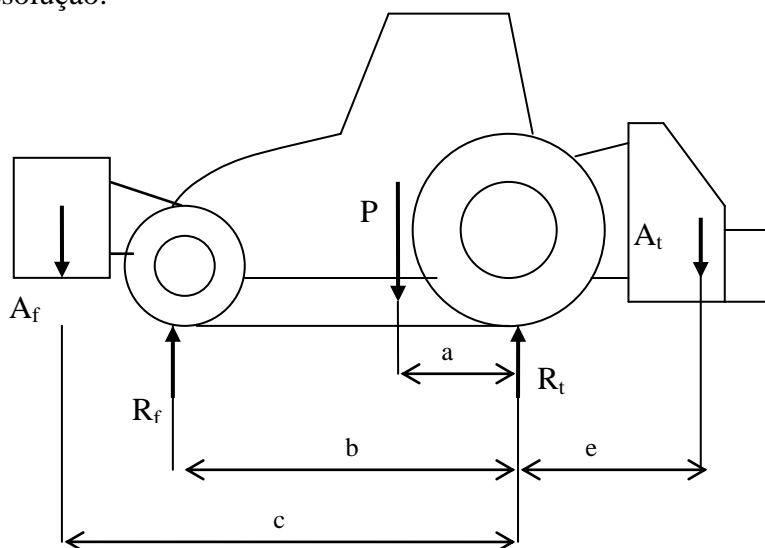
Admitamos os seguintes dados aproximados:

Localização longitudinal do c.g. do tractor =  $800mm$  do eixo traseiro;

Localização longitudinal do c.g. do pulverizador cheio =  $1400mm$  do eixo traseiro;

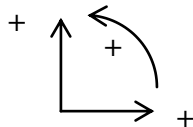
Localização longitudinal do c.g. do conjunto depósito frontal (cheio) e estrutura de suporte =  $1200mm$  do eixo dianteiro. A localização é a mesma para qualquer dos depósitos.

Resolução:



$A_f$  = Peso do depósito frontal cheio + estrutura de suporte ( $daN$ );  
 $P$  = Peso próprio do tractor =  $2379daN$ ;  
 $A_t$  = Peso do pulverizador cheio =  $750daN$ ;  
 $R_f$  = Reacção no eixo frontal do veículo =  $1300daN$ ;  
 $R_t$  = Reacção no eixo traseiro do veículo ( $daN$ );  
 $a$  = Distância de  $P$  ao eixo traseiro =  $0.8m$ ;  
 $b$  = Distância entre-eixos =  $2.1m$ ;  
 $c$  = Distância de  $A_f$  ao eixo traseiro =  $1.2 + 2.1 = 3.3m$ ;  
 $e$  = Distância de  $A_t$  ao eixo traseiro =  $1.4m$ ;

Admitamos a convenção:



A equação de equilíbrio de momentos, será:

$$A_f \times 3.3 - 1300 \times 2.1 + 2379 \times 0.8 - 750 \times 1.4 = 0$$

A equação anterior dá  $A_f = 569daN$ ,

O depósito de 400 litros corresponderia a  $520daN$ , enquanto o depósito de 600 litros corresponderia a  $730daN$ . Conclui-se que será aconselhável a utilização do depósito de 400 litros.

A confirmação, se necessária, pode ser feita *a posteriori* utilizando uma báscula de pesagem por eixos (*weighing pads*;) ou de pesagem de veículos (*weighbridges*). A colocação de qualquer eixo sobre o tabuleiro permitirá a medição da reacção que o solo efectua sobre esse eixo (ou seja da acção que o eixo faz sobre o solo).



### Exemplo 2 (para o aluno resolver)

Nas especificações dos veículos, além de vir a referência ao seu peso próprio, conhecido por tara (*vehicle weight*), vem igualmente referência ao peso bruto do veículo (*gross vehicle weight*), o qual corresponde à soma da tara e da carga máxima (*maximum payload*) que lhe é permitida.

Admita o tractor não convencional da figura:



<http://www.jcb.com/>

Trata-se de um tractor muito utilizado como veículo base para prestadores de serviços agrícolas, nomeadamente porque o seu comportamento na estrada é mais próximo de um veículo todo-o-terreno do que de um tractor agrícola convencional.

Dados pertinentes sobre o tractor:

Tara =  $6900\text{daN}$

Peso Bruto =  $9500\text{daN}$

Repartição da tara pelos eixos:  $3725\text{daN}$  (dianteiro);  $3175\text{daN}$  (traseiro)

Admita que o veículo vai ser usado para montar um pulverizador da tabela seguinte:

Características dos pulverizadores à escolha:

MODELO	PESO TOTAL CHEIO (daN)
MOTESKA M 4000	4700
MOTESKA M 2000	2100
MOTESKA M 1500	1500



- a) Seleccione o pulverizador para tirar o maior proveito da capacidade legal de carga do veículo. (resp. M2000)



- b) Em face da sua escolha, calcule qual a nova distribuição de carga pelos eixos do tractor. Admita que em qualquer dos pulverizadores, o c.g. deste fica na vertical do eixo traseiro. ( $R_f = 3725daN$  ;  $R_t = 5275daN$  )

### Exemplo 3

Para cada dimensão de pneu, a pressão adequada de enchimento (*tyre inflation pressure*) depende da carga vertical (*tyre load*) a que o pneu está sujeito e da velocidade a que o veículo se desloca (*forward speed*).

Normalmente o MANUAL DE OPERADOR DO TRACTOR limita-se a apresentar, para a medida do pneu do tractor, um valor de pressão para utilização geral, sem particularizar a adequação da pressão em função da carga ou da velocidade.

Admita que para o tractor da figura o MANUAL DE OPERADOR indica a pressão de  $28psi$  para uso geral.



Admitamos que o tractor vai operar durante um tempo considerável com um carregador frontal (*front loader*) com uma pinça para fardos redondos (*round bale grabber*).



O aumento de carga sobre os pneus dianteiros justifica um ajuste da sua pressão, sendo necessário para tal recorrer à tabela de pressão – carga - velocidade correspondente à medida de pneu em causa.

**TABELA DE PRESSÃO – CARGA - VELOCIDADE**

Carga por pneu (daN) *	Carga por pneu (daN) **	Pressão de enchimento (psi)
495	990	22
540	1080	25
565	1130	26
585	1170	28
605	1210	29
625	1250	30
640	1280	32
660	1320	33
680	1360	35
695	1390	36
710	1420	38
730	1460	30
745	1490	41
775	1550	44
790	1580	45
805	1610	46
820	1640	48
835	1670	49
845	1690	51
860	1720	52
870	1740	54

\* Trabalhos normais até 30km/h

\*\* Trabalhos lentos, exemplo: carregador frontal.

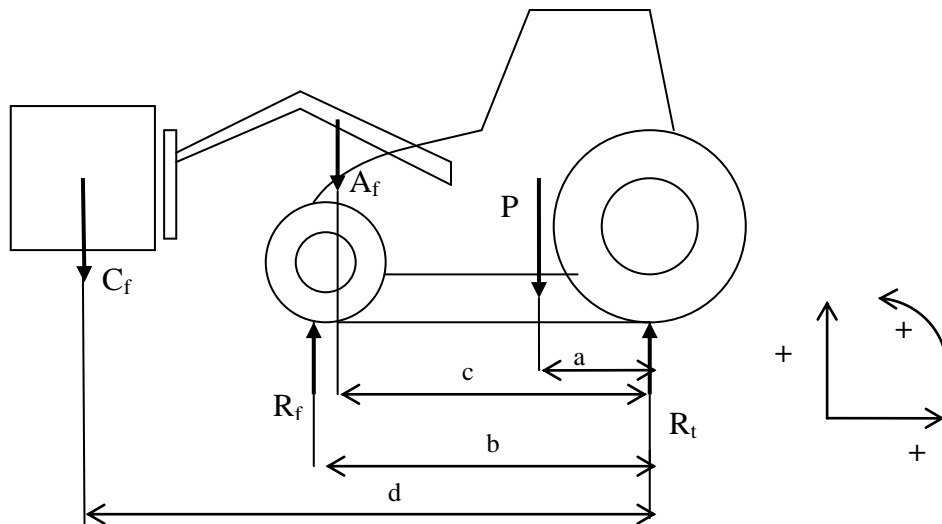
As tabelas de pressão – carga - velocidade podem ser fornecidas pelos representantes de marcas de pneus.

Se houver o recurso de uma báscula, bastará colocar o eixo dianteiro do tractor sobre o tabuleiro da báscula (com um fardo no carregador frontal).

Admitamos que 2571daN foi o valor apurado nessa medição; então cada pneu frontal está sujeito a 1285daN o que segundo a tabela corresponde a aconselhar a pressão de 33psi

A unidade de pressão da tabela – *psi*- significa *pound per square inch*, correspondendo, em português a libra por polegada quadrada. Trata-se de uma unidade inglesa ainda utilizada em pressão de pneus e em pressão de óleo em sistemas óleo-dinâmicos.

Não havendo o recurso de uma báscula pode-se calcular um valor aproximado de  $R_f$ , recorrendo ao equilíbrio estático (figura seguinte):



$$C_f \times d - R_f \times b + A_f \times c + P \times a = 0$$

A equação anterior será resolvida em ordem a  $R_f$ . Obviamente será necessário atribuir valores às outras variáveis da equação, o que passa por estimar posições de centros de gravidade, medir algumas distâncias e consultar fichas técnicas para conhecer pesos, não esquecendo de estimar o valor médio do peso do fardo.

#### Exemplo 4 (para o aluno resolver)

O semeador Lemken Saphir 7/300 pesa vazio  $970 daN$  e tem uma tremonha com 800 litros de capacidade, o que corresponde a  $600 kg$  de trigo, quando cheia.



[www.lemken.com](http://www.lemken.com)

Admita os seguintes dados:

- Localização longitudinal do c.g. da alfaia, carregada com semente =  $2.3m$  atrás do eixo traseiro do trator;
- Tara do trator =  $6665 daN$ ;
- Repartição da tara do trator: 43% sobre o eixo dianteiro; 57% sobre o eixo traseiro;
- Entre-eixo do trator =  $2.65m$ ;
- Pneus dianteiros são da medida 540/65 R 28;
- Pneus traseiros são da medida 650/65 R 38.

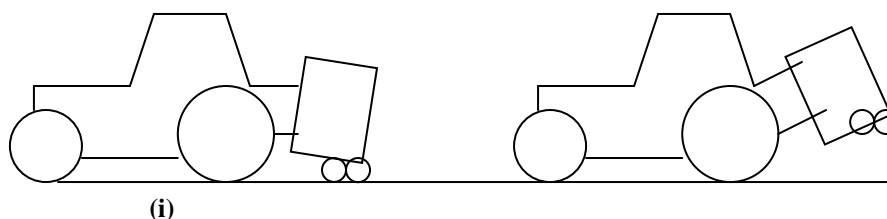
As tabelas de pressão – carga destes pneus apresentam-se seguidamente:

540/65 R 28 142 A8						650/65 R 38 157 A8					
Carga por pneu (daN)				Pressão		Carga por pneu (daN)				Pressão	
50km/h	40km/h	30km/h	10km/h	bar	psi	50km/h	40km/h	30km/h	10km/h	bar	psi
		1240	1550	0.4	6			1920	2410	0.4	6
1330	1330	1480	1830	0.5	7	2060	2060	2310	2850	0.5	7
1620	1620	1730	2110	0.6	9	2520	2520	2690	3280	0.6	9
1790	1870	2010	2450	0.8	11	2780	2920	3120	3810	0.8	11
1960	2130	2280	2790	1.0	14	3050	3320	3550	4340	1.0	14
2130	2390	2560	3130	1.2	17	3320	3720	3980	4870	1.2	17
2310	2650	2840	3470	1.4	20	3590	4130	4410	5390	1.4	20
2480			3810	1.6	23	3860			5920	1.6	23
						3990			6190	1.7	24
2650				1.8	26	4130				1.8	26

a) Admita que pretende seleccionar a pressão mínima para não compactar o solo, seguindo o seguinte procedimento:

Pressão de enchimento dos pneus frontais, feita com base na velocidade de 10km/h e com carga correspondente à situação em que o tractor tem a alfaia montada mas esta se encontra baixada até ao solo (i);

Pressão de enchimento dos pneus traseiros, feita com base na velocidade de 10km/h e com carga correspondente à situação em que o tractor tem a alfaia montada e esta se encontra levantada do solo (ii).

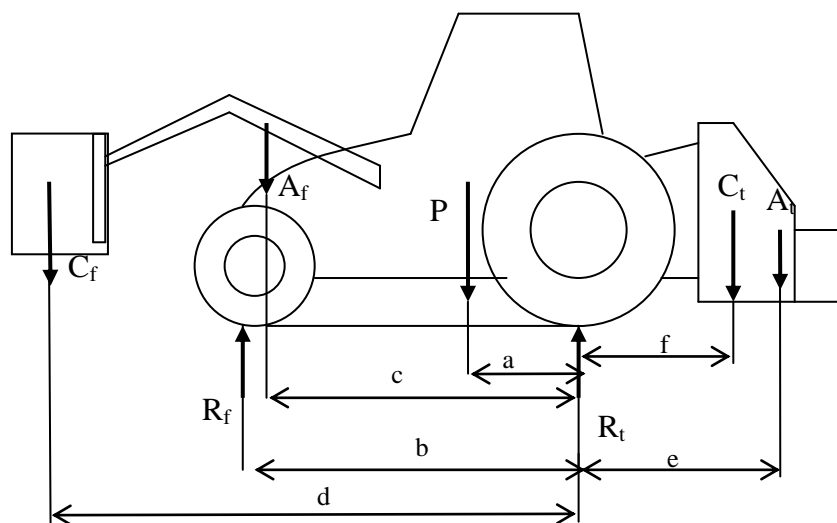


Não havendo uma báscula de pesagem de eixos, efectue os cálculos que lhe permitam seleccionar as referidas pressões de enchimento. (Resp. 6 psi nos pneus frontais e 11 psi nos pneus traseiros)

## 2. Análise estática de aspectos de segurança

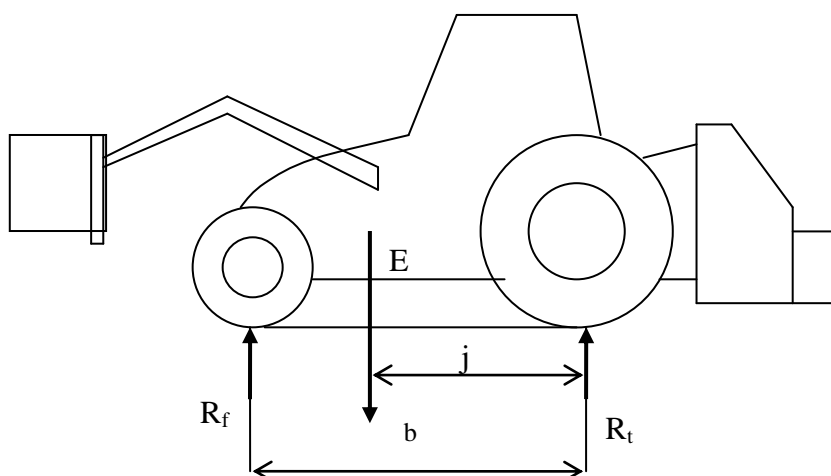
No capítulo anterior foi apresentado um caso geral e vários exemplos de aplicação relativos ao conjunto tractor alfaia. Em particular foi dada relevância ao cálculo ou à medição directa da carga sobre cada eixo de um veículo (*axle load*).

A figura seguinte mostra o caso geral então tratado,



Admitamos (figura seguinte) que a força E é a força resultante do sistema de forças formado por todas as cargas estáticas aplicadas:  $C_f$ ;  $A_f$ ;  $P$ ;  $A_t$ ;  $C_t$ .

Admitamos que j é a localização longitudinal do seu ponto de aplicação.



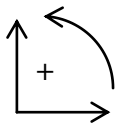
Isto significa que E e j são tais que

$$E = C_f + A_f + P + A_t + C_t$$

$$E \times j = C_f \times d + A_f \times c + P \times a - A_t \times e - C_t \times f$$

Obviamente, a resolução do problema com base no sistema de forças apresentado na figura acima, conduzirá exactamente aos mesmos resultados, nomeadamente no que toca às reacções  $R_f$  e  $R_t$ .

Admitamos a convenção:



Equilíbrio de forças

$$- E + R_f + R_t = 0$$

Equilíbrio de momentos

$$- R_f \times b + E \times j = 0$$

Resolvendo em ordem a  $R_f$  e  $R_t$  obtemos:

$$R_f = \frac{E \times j}{b}$$

$$R_t = \frac{E \times (b - j)}{b}$$

As seguintes observações podem ser tiradas, as quais são estritamente válidas nas condições estáticas do conjunto tractor alfaia, isto é o conjunto ou está parado ou encontra-se em deslocamento rectilíneo com velocidade constante (movimento rectilíneo e uniforme).

À medida que  $R_f$  se aproxima de zero o tractor torna-se instável, uma vez que começa a haver o perigo do eixo frontal perder o contacto com o solo. Tal acontece quando  $j$  tender para zero, isto é, a força resultante  $E$  se aproximar do eixo traseiro do tractor.

De outro modo, à medida que  $R_t$  se aproxima de zero o tractor torna-se igualmente instável, uma vez que começa a haver o perigo do eixo traseiro perder o contacto com o solo. Tal acontece quando  $j$  tender para  $b$ , isto é, a força resultante  $E$  se aproximar do eixo dianteiro do tractor.

**Podemos então afirmar que nas condições de equilíbrio estático, a estabilidade requer que a linha de acção da força  $E$  (resultante de todas as cargas estáticas aplicadas no tractor) tenha de passar entre os rodados do tractor (base de sustentação).**

Existem meios que permitem recolocar a linha de acção da força  $E$ , de modo a garantir uma repartição sensata da carga pelos eixos.

Um carregador frontal pode necessitar de contrapesos traseiros:



Em alternativa os rodados traseiros podem ser lastrados com água e/ou pesos traseiros (discos de ferro) podem ser aparafusados nas jantes. Estas soluções, por serem mais estáveis, deverão ser utilizadas em tractores que estão dedicados ao trabalho com carregadores frontais.

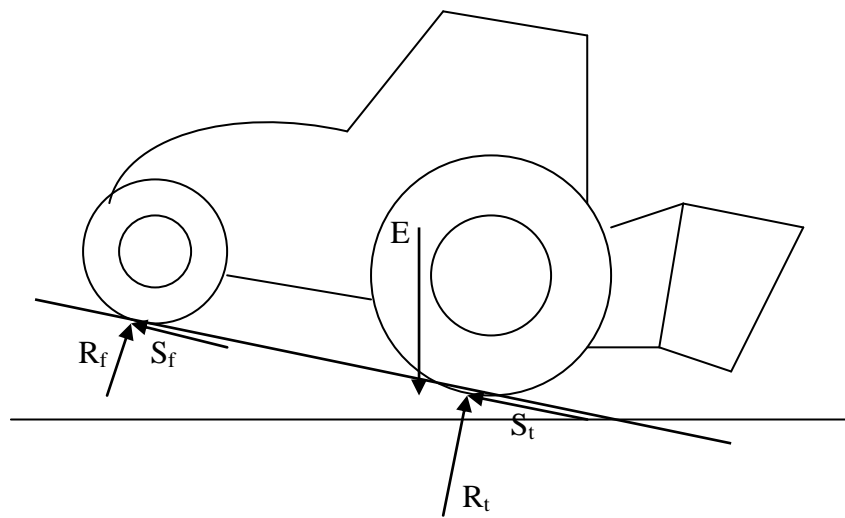
Alfaias pesadas montadas na traseira do tractor, deverão ser contrabalançadas com a colocação de contrapesos frontais no tractor:



## 2.1. Operação em declives

São muitas as situações em que o operador do conjunto tractor e alfaia se expõe ao risco de instabilidade em declives.

Reparar que na situação em que um tractor sobe um declive com uma carga colocada na traseira, a linha de acção da força E (resultante de todas as cargas estáticas aplicadas) tem mais probabilidade de passar fora da base de sustentação do tractor, provocando instabilidade.

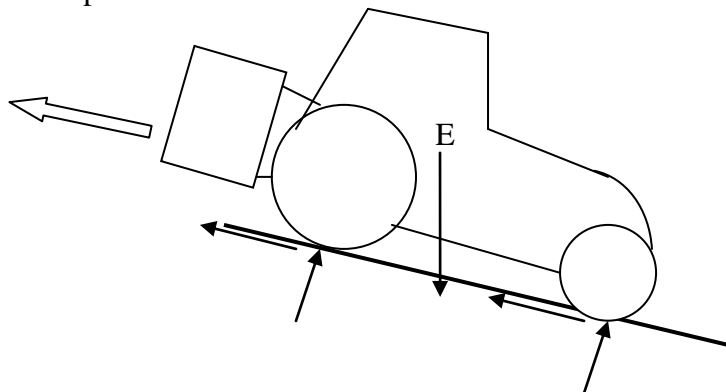


Se possível, nestas condições, as cargas devem ser repartidas pela frente e traseira do tractor:

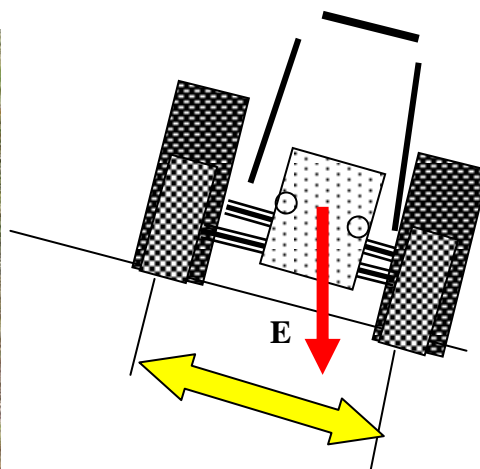




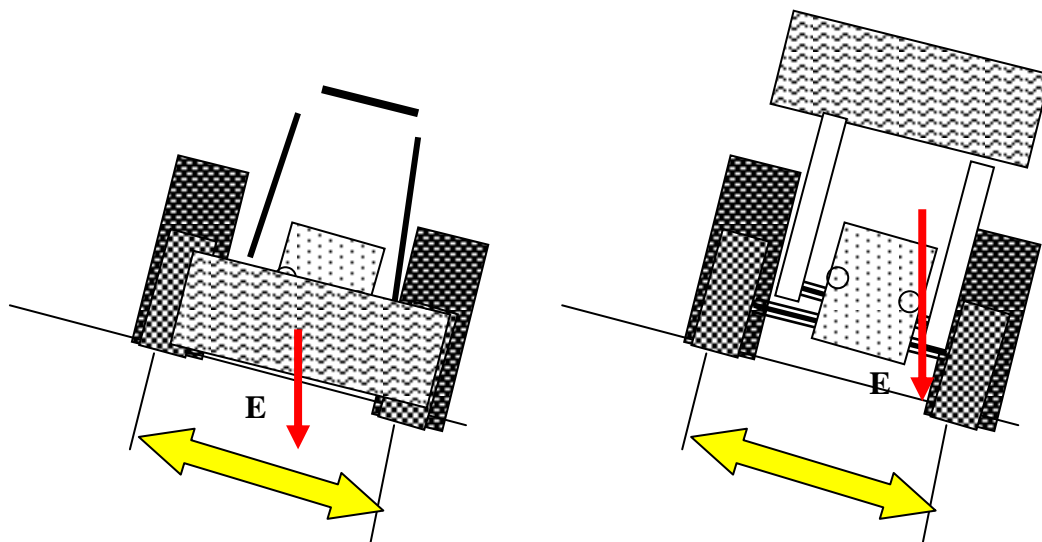
Pode sempre recorrer-se à manobra de efectuar o declive em marcha-atrás.



Há que ter em consideração que a base de sustentação do trator é menor quando se encontra lateralmente ao declive.



Por esta razão é sempre prudente transportar a carga de equipamento de manuseamento (carregadores frontais ou traseiros) **o mais próximo do solo possível.**



É visível, na situação da direita, que a linha de acção da força E (resultante de todas as cargas estáticas aplicadas) tem mais probabilidade de passar fora da base de sustentação do trator, provocando instabilidade.

Lateralmente ao declive, cargas excêntricas ao tractor têm que ser geridas sensatamente. O exemplo seguinte mostra o corte de forragem com gadanheira montada. Em trabalho, uma vez que a alfaia se encontra junto ao solo, não há perigo de instabilidade. Contudo no final do trabalho a colocação da alfaia na posição de transporte deverá ser feita sem comprometer a estabilidade do conjunto.



Ver vídeo no seguinte endereço:

[http://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/products/forage\\_harvesting/disco/video\\_animation/vid\\_contour/start.lang=en\\_UK.html](http://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/products/forage_harvesting/disco/video_animation/vid_contour/start.lang=en_UK.html)

A máquina de podar de discos é um exemplo de equipamento que impõe elevado risco de instabilidade lateral:



A operação deste equipamento deve estar reservado a pomares implantados em terrenos planos ou com pouca inclinação lateral e, neste caso operando sempre com a barra de corte no lado da subida.

Repare-se que, para compensar a excentricidade da barra de corte, o depósito de óleo da máquina está colocado na traseira e no lado contrário.

Os tractores específicos para culturas como a vinha (tractor vinhateiro) a bitola é mais estreita do que no tractor convencional de uso geral. Há que ter atenção à sua estabilidade lateral em declives, especialmente com cargas excêntricas.



Tractores e Equipamentos Automotrizes (2012/13) – visita de estudo ao Entreposto Máquinas – Setúbal, 2012.

A bitola dos tractores agrícolas pode ser alterada dentro de certos limites, pelo que pode ser um modo de aumentar a estabilidade lateral.

Ver vídeo: <http://www.fendt.co.uk/33.asp>

Há ainda que contar que a base onde se apoia o equipamento pode deformar-se sob acção das cargas. É o caso de trabalhos com tractores em silos de silagem. Em que a deformação por debaixo das rodas pode expor o tractor a situações de instabilidade.



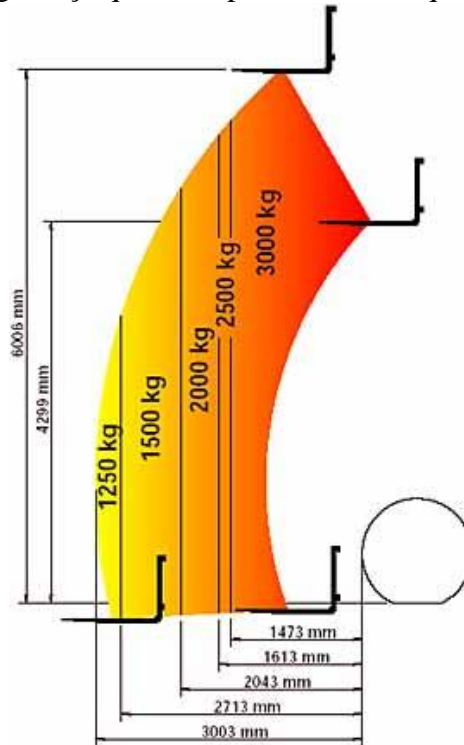
## 2.2. Diagramas de carga de segurança

Os equipamentos para manuseamento de cargas, assumem particular relevo nas explorações agrícolas. O carregador telescópico (*telehandler*) permite à empresa agrícola (*arable farming*) agro-pecuária (*livestock farming*) uma eficiente movimentação de cargas diversas (*materials handling*).



[www.merlo.co.uk](http://www.merlo.co.uk) [www.manitou.com](http://www.manitou.com) [www.jcb.co.uk](http://www.jcb.co.uk) [www.claas.com](http://www.claas.com)

No que respeita às capacidades do carregador telescópico para cumprir as suas funções mais usuais de manuseamento de cargas (*loading work*), temos de nos reportar ao diagrama de cargas de segurança que acompanha estas máquinas:



Trata-se de um diagrama em que o eixo horizontal representa o alcance, contado a partir dos pneus da frente (*reach, ahead of the handler's front wheels*); o eixo vertical representa a altura de elevação, medida em relação à cavilha de fixação do balde (*lift height, measured from attachment pivot pin*); os sectores representam a capacidade de carga (*load or lift capacity*), ou seja a carga de segurança.

Destacam-se pela sua importância:

- Capacidade de carga máxima (*maximum lift capacity*);
- Altura de elevação máxima (*maximum lift height*);
- Capacidade de carga na altura máxima (*lift capacity at full height*);
- Alcance máximo (*maximum reach*);
- Capacidade de carga no alcance máximo (*lift capacity at full reach*).

O carregador frontal (*front-end-loader*) montado em tractor agrícola é o equipamento mais corrente de manuseamento de cargas, oferecendo ainda a possibilidade de montagem de equipamentos, como os vibradores de tronco usados na colheita da azeitona.



Ver *materials handling* em [www.masseyferguson.com](http://www.masseyferguson.com)

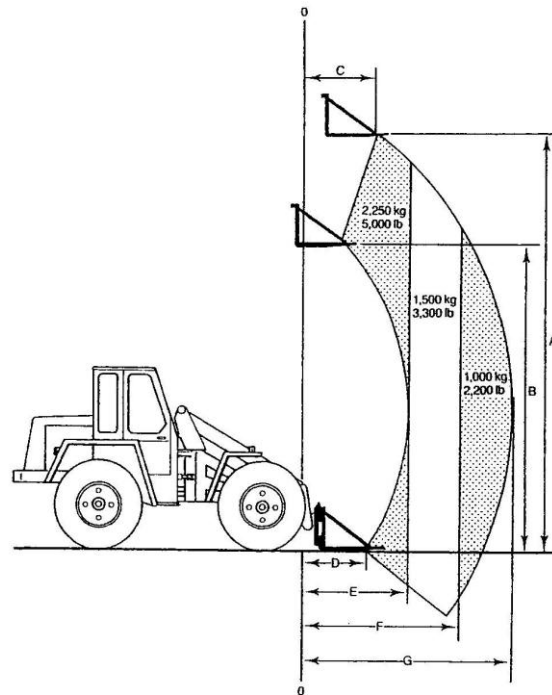
Ver *front loaders* em [www.johndeere.co.uk](http://www.johndeere.co.uk)

## 2.2.1. Exemplos

Exemplo 1



As figuras mostram um carregador telescópico e o respectivo diagrama de cargas de segurança. No diagrama a circunferência interior corresponde às sucessivas posições do balde quando a lança está recolhida. O arco de circunferência exterior corresponde às sucessivas posições do balde quando a lança se encontra estendida. A carga de segurança está marcada em unidades de massa (kg e Lb)



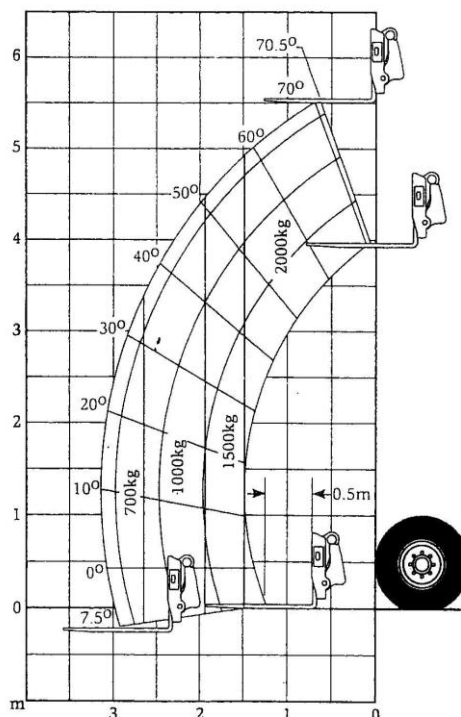
Medidas:  $A = 5.5m$ ;  $B = 4.1m$ ;  $C = 0.86m$ ;  $D = 0.79m$ ;  $E = 1.47m$ ;  $F = 2.33m$ ;  $G = 3.1m$

- Para uma altura de cerca de 2m em relação ao solo e um alcance de 2.5m em relação à frente da máquina (ordenada 00 no diagrama), diga que carga máxima pode ser transportada no balde.
  - Qual o alcance máximo permitido com a carga máxima de segurança?
  - Pode o balde levantar 1500 kg ao máximo de altura permitida? Porquê?
- Resp: a) 1000kg b) 1.47m; c) Sim.

Exemplo 2 - A imagem mostra um equipamento de manuseamento de cargas a carregar um tegão de recepção.



Na figura seguinte está representado o diagrama de cargas de segurança do equipamento.



- a) Como se chama o equipamento de manuseamento de carga utilizado?  
 b) Admitindo que a altura de carga é de 4m, qual o máximo de carga possível de manusear?  
 c) Para a carga anterior, qual a distância máxima a que o pneu da frente pode estar da projecção da face mais próxima de tegão?  
**Resp: b) 2000kg c) 1.5m.**

Exemplo 3 - A figura 1 mostra o gráfico de cargas de segurança de um carregador frontal, em função da altura de levantamento.

- 1 - Quando o c.g. da carga está centrado na extremidade da lança do carregador;
- 2 - Quando o c.g. da carga está centrado no balde, como se indica;
- 3 - Quando o c.g. da carga está centrado no garfo de paletes, como se indica.

**GRAFICO DE CARGA DE ELEVACÃO**

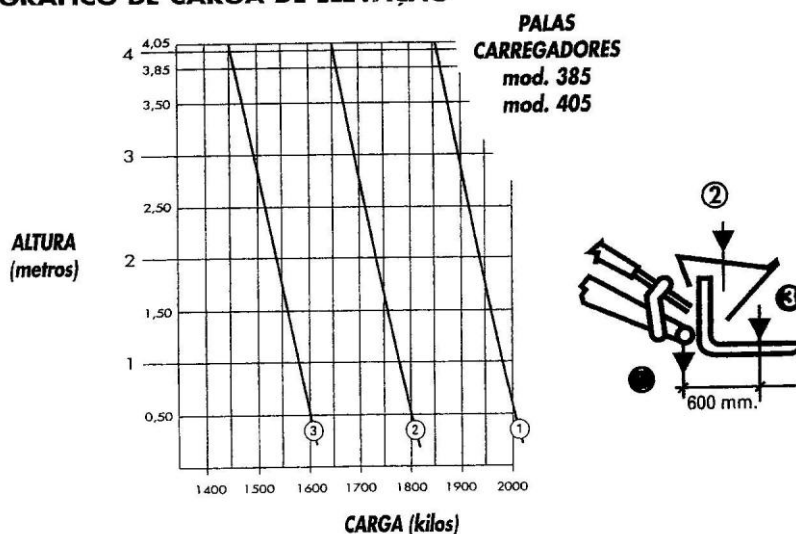


Fig.1 – Cargas de segurança do carregador frontal

- a) Explique, por palavras simples, mas com rigor técnico (como se o destinatário fosse o operador da máquina), o porquê do relativo posicionamento das curvas 1, 2 e 3, no gráfico.
- b) Que carga máxima de segurança poderá levantar nas condições da fig.2, admitindo que o levantamento se faz a 2m do solo.



Fig. 2 – Actividades do Curso de Operadores de Máquinas Agrícolas

**Resp: b) 1540daN;**

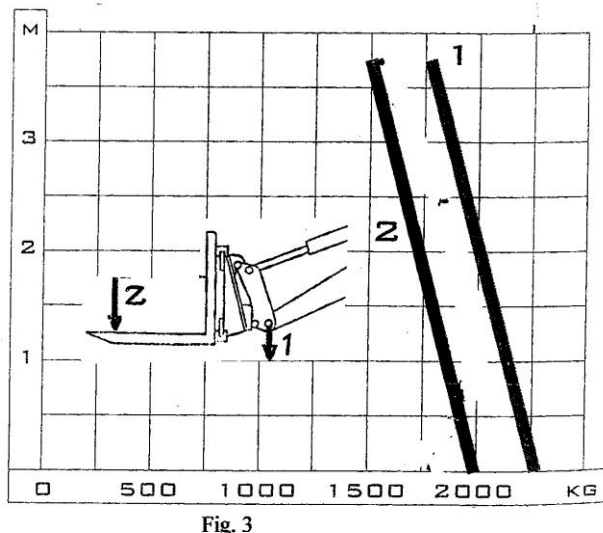
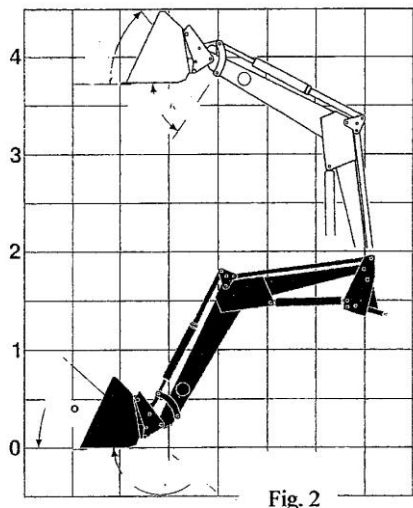
Exemplo 4 - A figura 1 mostra uma pinça para manuseamento de fados redondos, a qual é montado na extremidade do carregador frontal, no lugar do usual balde ou forquilha.



Fig.1 [www.alo.uk.com](http://www.alo.uk.com) [www.m-x.fr](http://www.m-x.fr)

O carregador frontal tem as características apresentadas nas figuras 2 e 3:





O equipamento vai ser usado no manuseamento de fardos de silagem com 1.2m de diâmetro e 1.2m de altura com uma massa específica de  $350\text{kg/m}^3$ .

- Admitindo que a figura 2 se mantém válida quando a pinça de fardos está montada, e que pretende efectuar um empilhamento semelhante ao da figura 1, diga quantos fardos, em altura, assegura que podem ser empilhados.
- Deverá atender à linha 1 ou à linha 2, quando quiser verificar se a carga a manusear está dentro da capacidade de carga do carregador?
- Marque na figura 3, das cargas de segurança, a situação correspondente ao manuseamento do fardo mais alto na pilha e indique as suas conclusões;
- Admita que o tractor carrega um fardo de silagem. Calcule a carga vertical sobre o eixo dianteiro do tractor.

Dados:

Distância entre-eixos do tractor = 2610 mm;

Peso próprio do tractor = 4121 daN;

Peso total do carregador + pinça (s/ fardo) = 760 daN;

Admitamos os seguintes dados aproximados:

Localização longitudinal do c.g. do tractor = 1070mm do eixo traseiro;

Localização longitudinal do c.g. do carregador + pinça (s/ fardo) = 1000 mm do do eixo dianteiro;

Localização longitudinal do c.g. do fardo = 2000 mm do eixo dianteiro.

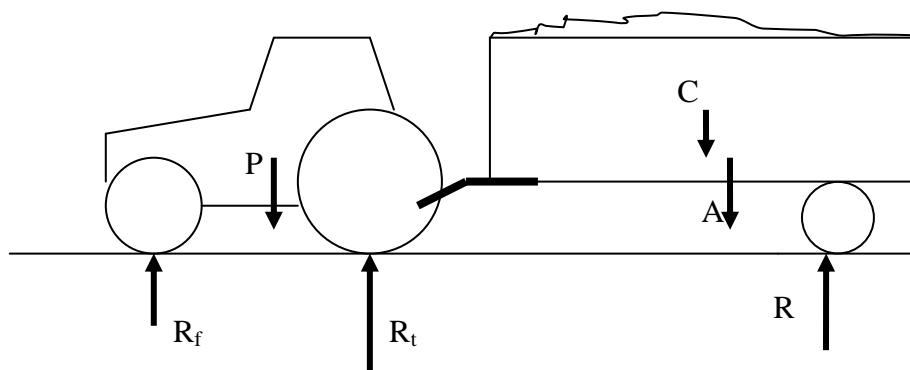
**Resp: a) 4 fardos; c)  $475\text{daN} \ll 1500\text{daN}$  , significa manuseamento dentro da capacidade de carga do equipamento; d)  $3580\text{daN}$ .**

### 3. Equilíbrio estático do tractor e alfaia semi-montada

A figura seguinte mostra o caso mais comum de equipamento semi-montado (*semi-mounted implements*):



A figura seguinte mostra a representação do conjunto para uma análise de equilíbrio estático.



- C - Carga no semi-reboque ( $daN$ );
- A - Peso próprio (tara) do semi-reboque ( $daN$ );
- P - Peso próprio do tractor; tara do tractor ( $daN$ );
- $R_f$  - Reacção no eixo frontal do tractor ( $daN$ );
- $R_t$  - Reacção no eixo traseiro do tractor ( $daN$ );
- R - Reacção no eixo do semi-reboque ( $daN$ );

A aplicação directa do equilíbrio estático permitirá escrever duas equações, as quais serão insuficientes para a resolução das 3 incógnitas presentes:  $R_f$ ,  $R_t$  e R .

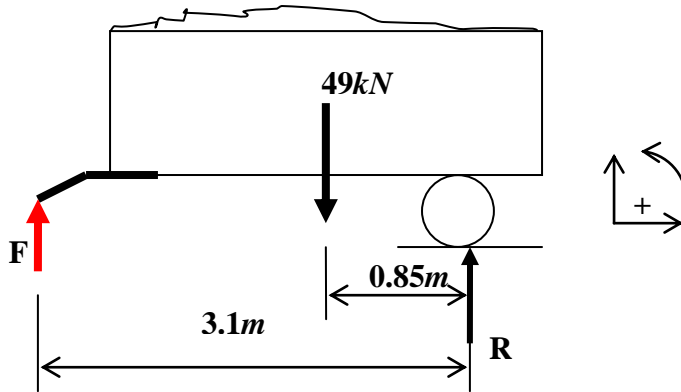
Para resolver o problema, há que efectuar separadamente o equilíbrio de cada uma das máquinas, como se mostra no exemplo seguinte:

O tractor tem  $2.2m$  de distância entre-eixos e pesa  $24.5kN$ , estando o seu c.g. a  $0.7m$  do eixo traseiro. O seu engate boca-de-lobo está situado a  $0.4m$  atrás do eixo traseiro.

O semi-reboque agrícola tem  $49kN$  de peso-bruto (tara + carga máxima) e, quando uniformemente carregado, tem o c.g. a  $0.85m$  do seu eixo. A distância da argola de engate ao eixo do semi-reboque é de  $3.1m$ .

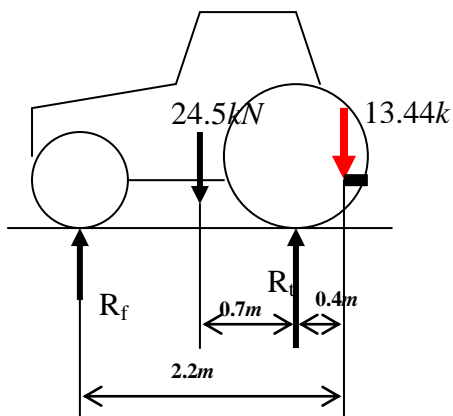
Determine a carga vertical no eixo dianteiro e traseiro do tractor, quando o conjunto se encontra parado num plano horizontal.

Equilíbrio do semi-reboque:



$$\Sigma M = -F \times 3.1 + 49 \times 0.85 = 0 \quad F = 13.44 \text{ kN}$$

Equilíbrio do tractor:



$$\Sigma F = -13.44 + R_t - 24.5 + R_f = 0$$

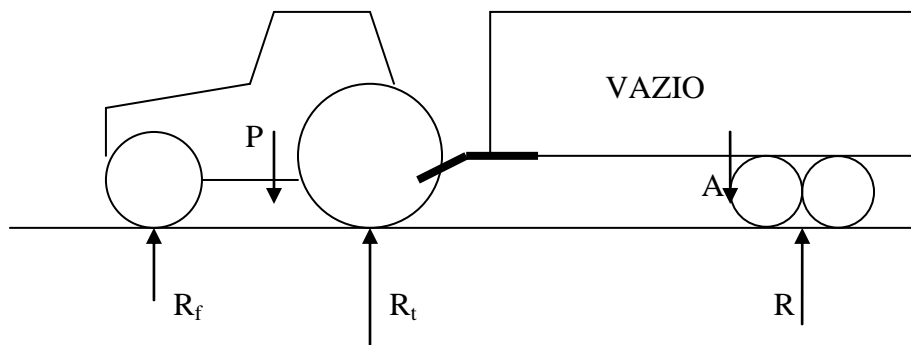
$$\Sigma M = -13.44 \times 0.4 + 24.5 \times 0.7 - R_f \times 2.2 = 0$$

$$R_t = 32.59 \text{ kN}; R_f = 5.35 \text{ kN}$$

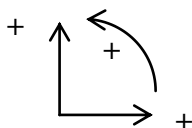
A medição efectiva das forças  $R_t$ ;  $R_f$ ;  $R$ , pode ser efectuada recorrendo a sistemas de pesagem:

O seguinte exemplo revela a utilidade desta medição.

**Medição da TARA do conjunto (A+P)**



Admitamos a convenção:



Equilíbrio de forças:

$$- A - P + R + R_f + R_t = 0$$

Admitamos que se tem acesso a uma báscula para pesagem de vários eixos simultaneamente (*weighbridge*). Colocando o tractor (sem desligar do semi-reboque) sobre o tabuleiro da báscula, como indica a figura seguinte, obtemos a medição de  $R_f+R_t$



Colocando seguidamente os rodados do semi-reboque (VAZIO) sobre a báscula, obtemos a medição de  $R$ .

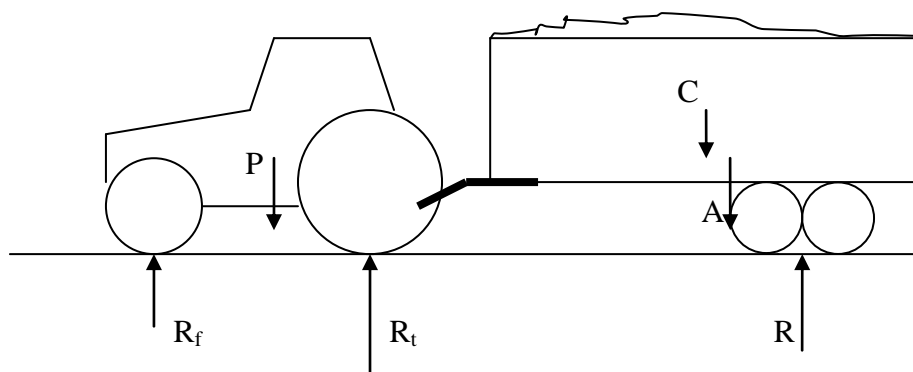
Da equação anterior:

$$TARA = A + P = R + R_f + R_t$$

**Medição da carga (C)**

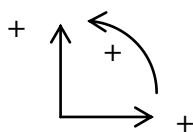


<http://www.stewart-trailers.co.uk>



- C - Carga no semi-reboque (*daN*);
- A - Peso próprio (tara) do semi-reboque (*daN*);
- P - Peso próprio do tractor; tara do tractor (*daN*);
- R<sub>f</sub> - Reacção no eixo frontal do tractor (*daN*);
- R<sub>t</sub> - Reacção no eixo traseiro do tractor (*daN*);
- R - Reacção no eixo do semi-reboque (*daN*);

Admitamos a convenção:



Equilíbrio de forças:

$$- C - A - P + R + R_f + R_t = 0$$

Ou seja:  $C = R + R_f + R_t - (P+A)$

$$C = R + R_f + R_t - TARA$$

Colocando o tractor (sem desligar do semi-reboque) sobre o tabuleiro da báscula, como indica a figura seguinte, obtemos a medição de  $R_f + R_t$



Colocando seguidamente os rodados do semi-reboque sobre a báscula, obtemos a medição de R.



O cálculo seguinte permite a obtenção do valor da carga contida no semi-reboque:

$$C = R + R_f + R_t - (\text{TARA})$$

### 3.1. Exemplos de aplicação

Exemplo (para o aluno resolver)

Um prestador de serviços dispõe de um equipamento de enfardar palhas e forragens.



Enfardadeira de grandes fardos

Na sua actividade profissional necessita de percorrer muitos trajectos em estrada no sentido de satisfazer serviços aos seus diversos clientes.

A enfardadeira vem equipada com 4 pneus com as seguintes dimensões: 400/55 -17.5, cuja tabela de pressão carga se apresenta seguidamente:

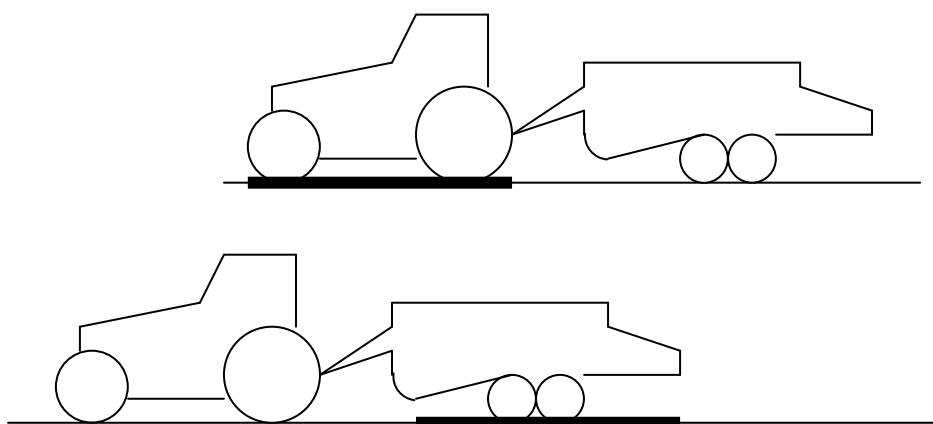
**Tabela de pressão-carga de um pneu: 400/55 -17.5 para utilização em alfaias agrícolas até 30km/h**

Pressão (bar)	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
Carga (daN)	1155	1240	1320	1395	1465	1535	1605	1675	1740	1800	1860

Nota: para uma velocidade de 40km/h, para a mesma pressão de enchimento, reduzir a carga em 10%

Com a enfardadeira vazia e ligada à barra de puxo do tractor, foram realizadas as seguintes pesagens numa báscula:

Tractor sobre a báscula = 8636daN; Enfardadeira sobre a báscula = 5483daN.



a) Da ficha técnica do tractor verifica-se que a tara é 6520daN. No entanto, nas condições da figura o tractor sobre a báscula indicou 8636daN. Explique a razão desta diferença.

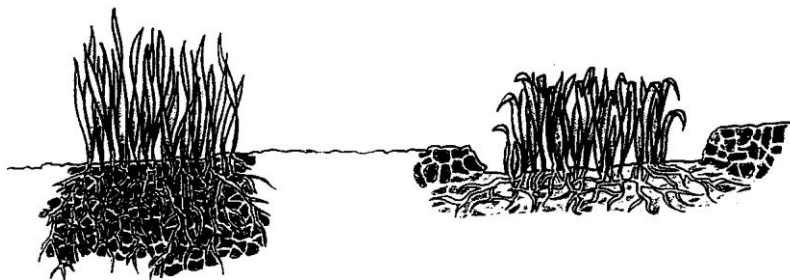
b) Qual é o peso da enfardadeira?

c) Qual é a pressão recomendada para os pneus da enfardadeira nas deslocções em estrada a 40 km/h? (**Resp. 1.3 bar**)

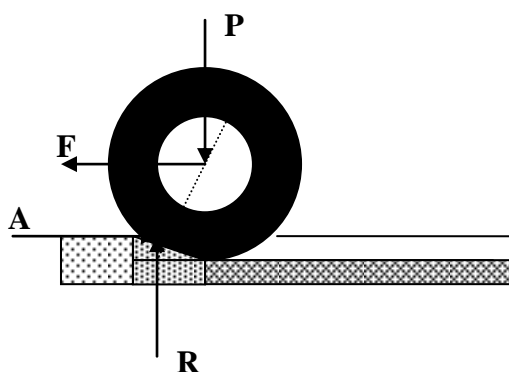
#### **4. Interacção com o solo das rodas não motoras de equipamentos agrícolas**

É reconhecido que as rodas portadoras de elevadas cargas (R), como as de semi-reboques, são prejudiciais para o solo agrícola, uma vez que para suportarem as cargas verticais que lhe são impostas, requerem elevada pressão de enchimento. Essa elevada pressão reflecte-se sobre o solo compactando-o.

Os solos agrícolas mobilizados cedem por baixo dos pneus. O sulco resultante não só é responsável pelo aumento do coeficiente de atrito e, portanto por todo o desperdício energético que lhe está associado; é sobretudo no plano agronómico que se causam os maiores danos, uma vez que a compactação do solo inibe o crescimento correcto das plantas.



Em solo muito deformável, como é o solo agrícola, o sulco deixado pelo pneu após a sua passagem, além de ser efectivamente compactação de solo é, igualmente, um consumo de energia, ou seja de combustível gasto pelo tractor.



A noção de coeficiente de atrito de rolamento ( $\rho$ ) reflecte precisamente este aspecto, ao relacionar a força horizontal ( $F$ ) que se tem de aplicar para puxar (ou empurrar uma roda) com a carga vertical que a roda suporta ( $P$ ). Quanto mais baixo for esse coeficiente de atrito, menor é a força  $F$ , para uma determinada carga  $P$  e, portanto, mais eficiente é a interacção da roda com o meio de suporte.

$$\rho = \frac{F}{P}$$

A tabela seguinte mostra valores de coeficiente de atrito de rolamento de um pneu semelhante ao ilustrado na figura.



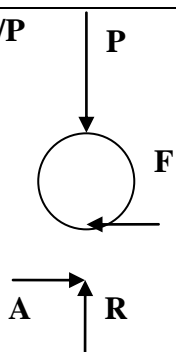
Espalhador de estrume



COEFICIENTE DE ATRITO DE ROLAMENTO ( $\rho$ ) DE UM PNEU AGRÍCOLA DA MEDIDA

12.4 - 36, EM FUNÇÃO DO PAR CARGA VERTICAL / PRESSÃO DE ENCHIMENTO EM DIVERSOS TIPOS DE CONDIÇÃO DE SOLO

$\rho$	Carga vertical (daN) 1730	1180	1400	1600
	Pressão de enchimento (kPa) 170	80	110	150
Pastagem seca	$\rho = F/P$			
Restolho seco	0.077	0.081	0.082	
	0.081			
	0.089	0.085	0.087	0.088
Restolho húmido		0.096	0.100	0.102
Solo solto seco	0.105			
Solo solto húmido	0.118	0.104	0.110	0.113
		0.131	0.146	0.153
	0.160			



As condições de solo estão na tabela numa ordem crescente de solo deformável.

Verificamos que, num solo pouco deformável (pastagem seca), a passagem de uma carga de 1180daN (pressão de 80kPa) para uma carga de 1730daN (pressão de 170kPa), se reflecte, apenas, numa passagem do coeficiente de atrito de rolamento de 0.077 para 0.081: um aumento de 5%.



Concluimos que, numa situação de pavimento firme (estrada), a resistência ao rolamento é pouco influenciada pela carga sobre o pneu, DESDE QUE SE ADEQUÉ A PRESSÃO À CARGA. Mais carga requer mais pressão para que evitar uma grande deflexão do pneu.

Contudo a mesma variação de carga (e de pressão de enchimento), em condições de solo solto húmido (solo muito deformável), provoca um aumento do coeficiente de atrito de rolamento de 0.131 para 0.160: um aumento de 22%.

Em solo agrícola (muito deformável), aumentar a carga e a pressão, torna o pneu mais rígido e consequentemente este afunda-se mais no solo. O resultado é a compactação e o aumento do coeficiente de atrito de rolamento.



Conclui-se que em solos deformáveis (a maioria dos solos agrícolas) o segredo é ter pouca carga vertical por pneu e, por esse motivo, pouca pressão de enchimento. Para concretizar a anterior medida recorre-se a distribuir a carga por vários pneus e/ou a utilizar pneus com as maiores dimensões possíveis (diâmetro e largura).



Semi-reboques com eixo tandem, para cereais <http://www.stewart-trailers.co.uk/>



Pulverizador semi-rebocado [www.knight-ltd.com](http://www.knight-ltd.com)

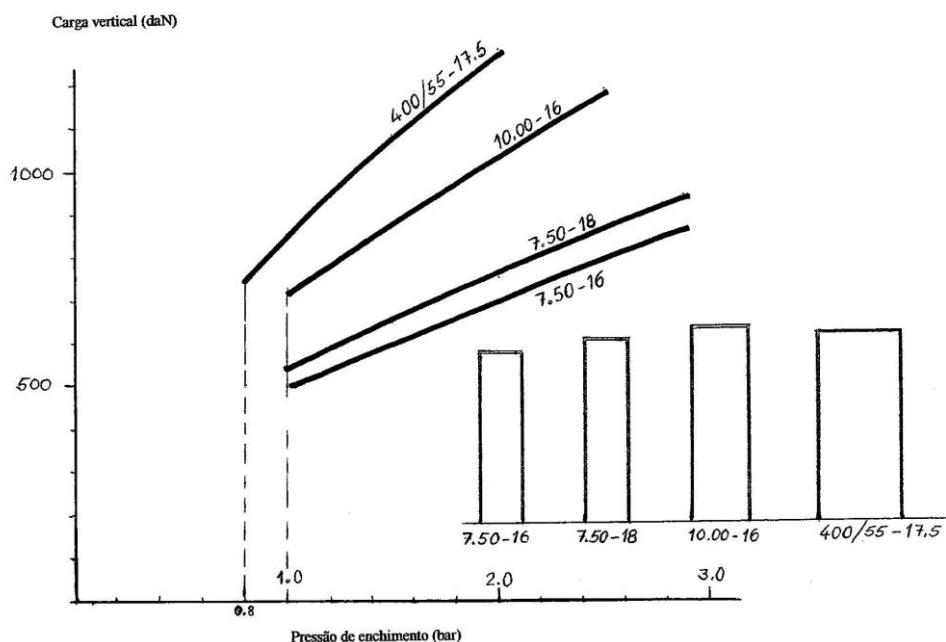


Semi-reboque para distribuir e enterrar estrumes líquidos [www.tanlake.co.uk](http://www.tanlake.co.uk)



Semeador de fluxo contínuo com distribuição de semente em fluxo de ar

O gráfico da figura seguinte mostra, no mesmo sistema de eixos, as cargas verticais máximas, numa utilização até 30 km/h, em função da pressão de enchimento, para quatro pneus agrícolas de diâmetro semelhante, mas larguras diferentes.



Notar, por exemplo, que a carga de 750daN é suportada pelo pneu 400/55-17.5 e pelo pneu 7.50-16; só que o primeiro requer apenas cerca de 1/3 da pressão do segundo. Notar, ainda, que o suporte da carga de 1000daN pode ser feita com um pneu 400/55-17.5 com 1.3bar de pressão ou, em alternativa com dois pneus 7.50-16, com 1bar de pressão.

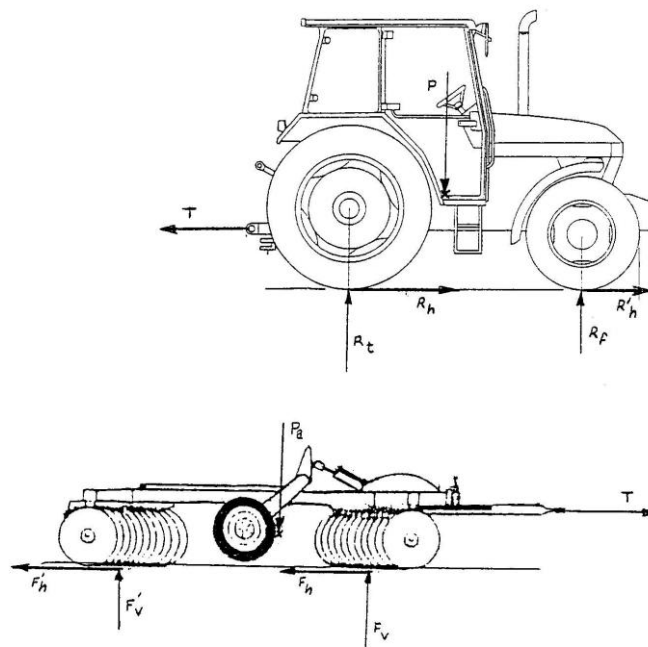
## 5. Desempenho do conjunto tractor e alfaia

### 5.1. Tracção na barra e potência na barra

Devido à resistência que o solo impõe aos órgãos activos das alfaias estas requerem força para se deslocarem em interacção com o solo. A componente paralela ao solo desta força denomina-se força de **tracção na barra (T)**.



Tractores Agrícolas – 2004/2005



P – Peso do tractor;

$R'_h$ ;  $R_f$ ;  $R_h$ ;  $R_t$  – Reacções do solo sobre o tractor;

T – Tracção na barra;

$P_a$  – Peso da alfaia;

$F'_h$ ;  $F'_v$ ;  $F_h$ ;  $F_v$  – Reacções do solo sobre os órgãos activos da alfaia;

Se a alfaia se deslocar à velocidade constante ( $v$ ), então a alfaia requer uma potência, chamada **potência na barra**:

$$\text{Potência na barra} = T \times v$$

Potência da barra ( $kW$ )

Tracção na barra ( $kN$ )

Velocidade de deslocamento ( $m/s$ )

## 5.2. Potência motora e rendimento total

A potência fornecida pelo motor do tractor (pot. motora) é, uma parte, dissipada em atrito na transmissão entre o motor e as rodas e, a outra parte, dissipada no processo de patinação dos pneus e conseqüente formação de sulcos no solo.

Existe, portanto um **rendimento** deste processo:

$$\eta = \frac{Pot.barra}{Pot.motor} = \eta_m \times \eta_t$$

em que  $\eta_m$  é o **rendimento mecânico da transmissão** e,  $\eta_t$  é o **rendimento de tracção dos pneus**.

### 5.2.1. Rendimento mecânico da transmissão ( $\eta_m$ )

À falta de uma medição directa deste rendimento, uma boa aproximação é a do rendimento global que se obtém no ensaio do tractor em pavimento rígido.

Neste ensaio é medido o valor máximo de potência na barra, quando o tractor está ao máximo da sua potência motora (pot. motora), sobre um pavimento de cimento.

O rendimento será:

$$\eta = \eta_m \times \eta_t \approx \eta_m$$

uma vez que o rendimento de tracção será neste caso próximo de 1.

Os ensaios realizados pela DLG, *Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft* entre 1998 e 2001, e publicados na Revista *PROFI farm machinery reports* de Dezembro de 2001, dão conta de um valor de rendimento global de 0.753 (75.3%), valor médio de 27 ensaios de tractores com potências máximas de 51kW a 205kW.

Na falta de valor mais seguro adoptaremos como valor de referência do rendimento mecânico da transmissão de um tractor agrícola o valor indicado, ainda que desta forma, o erro seja por excesso, isto é o rendimento seja, provavelmente, mais elevado.

$$\eta_m = 0.753$$

### 5.2.2. Rendimento de tracção ( $\eta_t$ )

Este rendimento reflecte as perdas devido à interacção entre o pneu e o solo. É influenciado pelas dimensões do pneu, carga sobre o pneu, valor de tracção que este tem de exercer, pressão de enchimento, tipo de solo, condição em que se apresenta (não mobilizado, lavrado, gradado, etc., com ou sem cobertura vegetal) e grau de humidade. Não será, portanto, possível apresentar um valor único para este rendimento.



Dwyer, M.J. *et al* no *Handbook of Agricultural Tyre Performance*, NIAE 1976, reúne, porventura, o mais completo conjunto de resultados de testes realizados em condições reais de utilização, reflectindo os diferentes factores acima indicados.

Apesar das limitações, os seguintes dados constituem uma base de trabalho para o dimensionamento do conjunto tractor e alfaia de mobilização primária.

Condição	Rendimento de tracção	Valores de patinagem
Restolho de cereal, seco	0.73	10% a 20%
Restolho de cereal, húmido	0.68	10% a 20%

### 5.2.3. Exemplos

Exemplo 1 - A figura mostra uma grade de discos de 4 corpos em X (*tandem disc harrow*):



<http://www.kongskilde.com/>

A bibliografia indica, como na tabela seguinte, a força necessária para puxar a grade:

Condições de trabalho	Força por unidade de largura de trabalho ( $kN/m$ )	Velocidade de deslocamento ( $km/h$ )
Difíceis	4.38	6.4
Médias	2.92	8.0
Fáceis	1.46	9.6

A tabela seguinte dá informação sobre grades deste tipo de um fabricante português:

Modelo	Número de discos	Diâmetro dos discos ( <i>polegadas</i> )	Largura de trabalho ( <i>m</i> )	Peso da grade ( <i>daN</i> )
H4CD8E	28	20	2.59	694
H4CD10E	36	20	3.20	880
H4CD12E	36	22	3.81	1327
H4CD15E	44	22	4.72	1542

a) Para a grade H4CD12E, em condições difíceis de trabalho, calcule a potência, em *kW*, necessária para o deslocamento. Resp.: 29.67*kW*

b) Na situação da alínea anterior, calcule a potência fornecida pelo motor, admitindo um rendimento mecânico da transmissão de 75% e um rendimento de tracção dos pneus de 73%. Resp.: 54.2*kW*

c) Supondo que em trabalho com a grade se utiliza 80% da potência nominal do tractor, calcule a potência nominal. Resp.: 67.8*kW*

Exemplo 2 - O cultivador de duplo rolo de anéis que se representa na figura seguinte, necessita de 11*kN* por metro de largura de trabalho para trabalhar a 4*km/h* e necessita de 11.5*kN* por metro de largura de trabalho, para trabalhar a 5*km/h*.



[www.vaderstad.com](http://www.vaderstad.com)

Admita que a alfaia é fabricada com larguras de trabalho de 4.5*m* e 5.5*m*.

a) Faça os cálculos que lhe permita preencher o quadro de potência na barra.

**Potência na barra (kW)**

Velocidade de trabalho (km/h)	Largura de trabalho 4.5m	Largura de trabalho 5.5m
4		
5		

b) Admita que para trabalhar com esta alfaia o tractor de 4RM tem um rendimento mecânico da transmissão de 75 % e um rendimento de tracção de 75%.

Faça os cálculos que lhe permita preencher o quadro de potência motora necessária

**Potência motora (kW)**

Velocidade de trabalho (km/h)	Largura de trabalho 4.5m	Largura de trabalho 5.5m
4		
5		

c) Admita que se dispõe de um tractor que pode fornecer, no máximo, 135kW de potência motora. Em face dos resultados da alínea (b), diga de entre as duas velocidades, 4 ou 5km/h, a maior a que se pode trabalhar com cada uma das alfaias.

### 5.3. Consumo de combustível do conjunto tractor - alfaia

#### 5.3.1. Consumo específico

O **consumo específico** (rendimento de um motor Diesel) não tem um valor único. O valor depende das condições em que o motor está a desempenhar potência, isto é se o desempenho está mais ou menos próxima da rotação nominal (próxima da máxima) e se está mais ou menos próximo da potência nominal (próxima da máxima)

As tabelas seguintes mostram resultados de testes realizados pela estação de ensaios DLG, publicados na revista *PROFI Farm Machinery Reports*, entre Dezembro de 1999 e Dezembro de 2001.

Foram apreciados os resultados individuais de cinco tractores da gama de potência que vai de 50 a 80kW e de oito tractores da gama de potência que vai de 90 a 130kW .

Consumo específico (g/kWh) para tractores de 50 a 80kW de potência nominal

%da potência nominal	100 %	100%	80%	80%	40%	40%	60%
%da rotação nominal	87%	64%	100%	90%	90%	60%	60%
Consumo específico (g/kWh)	235	231	277	250	311	253	235
$\eta_e$	0.34	0.34	0.29	0.32	0.25	0.31	0.34



Consumo específico ( $g/kWh$ ) para tractores de 90 a 130kW de potência nominal

% da potência nominal	100 %	100%	80%	80%	40%	40%	60%
% da rotação nominal	92%	74%	100%	90%	90%	60%	60%
Consumo específico ( $g/kWh$ )	246	229	281	254	313	249	232
$\eta_e$	0.32	0.35	0.28	0.31	0.25	0.32	0.34

Notar que qualquer que seja o nível de potência que o motor fornece, será sempre mais rentável fornecer a potência a uma rotação mais baixa do motor. Notar, por exemplo, que um motor Diesel de tractor, pode fornecer uma potência de valor igual a 40% da potência nominal com um **rendimento de 25%**, se rodar a 90% da sua rotação nominal, ou com **32% de rendimento**, se o fizer rodando a 60% da rotação nominal, situação que é mais vantajosa.

### 5.3.2. Consumo horário

O consumo horário ( $C_h$ ) é obtido pela expressão seguinte:

$$C_h = C_e \times \text{Pot. motor}$$

A unidade de consumo horário é  $g/h$ ; sabendo a massa volúmica do combustível, a unidade pode ser convertida para *Litros/h*.

### 5.3.3. Exemplos

Exemplo 3 - Admita um tractor com 70kW de potência nominal, fornecendo 80% da potência nominal, a 90% da rotação nominal:

a) Qual o consumo horário, em  $g/h$ ?

$$C_h = 250g/kWh \times 0.8 \times 70kW = 14000g/h$$

b) Qual o consumo horário, em  $L/h$ , admitindo uma massa específica do gasóleo de 837g/L.

**Resp.: 16.73L/h**

c) Qual o custo horário, em  $€/h$ , admitindo um preço de 0,84€/L?

**Resp.: 14,04€/h**

## 5.4. Estimativa do combustível consumido em trabalho produtivo

Admita que numa determinada operação agrícola se conhece:

Consumo horário do tractor -  $C_h$  (g/h)  
 Área de trabalho -  $A$  ( $m^2$ )  
 Largura de trabalho da alfaia -  $l$  (m)  
 Velocidade média de deslocamento -  $v$  (m/s)

Área ( $m^2$ ) de trabalho produtivo realizada em 1s .....  $v \times l$

Área ( $m^2$ ) de trabalho produtivo realizada em 1h .....  $3600 \times v \times l$

Número de horas despendidas em trabalho produtivo.....  $\frac{A}{3600 \times v \times l}$

Massa (g) de combustível consumido em trabalho produtivo.....  $C_h \times \frac{A}{3600 \times v \times l}$

### 5.4.1. Exemplo

Exemplo 4 - Um tractor agrícola de 4RM puxa uma charrua montada de 0.71m de largura de trabalho a 4.34km/h, num solo que oferece uma resistência cuja componente horizontal vale 8.45kN.



Curso de Operadores de Máquinas Agrícolas - 2006

Admita que nas condições de trabalho:

- Consumo específico do motor é 0.3L/kWh ;
- Rendimento de tracção é 73% ;
- Rendimento da transmissão é 75%.

Calcule:

- a) A potência na barra. **Resp.: 10.19kW**
- b) A potência no motor. **Resp.: 18.60kW**
- c) O consumo horário. **Resp.: 5.58L/h**
- d) O tempo gasto em trabalho produtivo, admitindo uma área de 20ha. **Resp.: 64.9h**
- e) Volume e custo de combustível consumido em trabalho produtivo, admitindo 0,84€/L. **Resp.: 362L / 304,22€**

## 5.5. Rendimento de campo

Para a realização de trabalho produtivo há sempre trabalho não produtivo associado, como, por exemplo:

Voltas nas cabeceiras:



Curso de Operadores de Máquinas Agrícolas - 2006

Paragens para reabastecimento de depósitos e tremonhas



Controlo de Equipamentos e Mecanização Agrícola Aplicada, ano lectivo 2010/11

Assim, o tempo total ( $t_t$ ) gasto deverá ter este aspecto em consideração. Uma das formas será a de afectar o tempo total de um rendimento de campo ( $\eta_c$ ), resultando

Tempo gasto em trabalho produtivo.....  $t_t \times \eta_c$   
 Tempo gasto em trabalho não produtivo.....  $t_t \times (1 - \eta_c)$   
 Tempo total gasto .....  $t_t$

Igualando as duas expressões para tempo de trabalho produtivo:

$$\frac{A}{3600 \times v \times l} = t_t \times \eta_c$$

chegamos à expressão que permite calcular o tempo total de operação:

$$t_t = \frac{A}{3600 \times v \times l \times \eta_c}$$

## 5.6. Capacidade de trabalho



A capacidade de trabalho ( $c_t$ ), do conjunto tractor - alfaia será:

$$c_t = 3600 \times v \times l \times \eta_c \text{ (m}^2\text{/h)}$$

$$c_t = 0.36 \times v \times l \times \eta_c \text{ (ha/h)}$$

sendo:

$l$  (m) - Largura de trabalho da alfaia;

$v$  (m/s) - Velocidade média de deslocamento;

$\eta_c$  - Rendimento de campo (decimal).

## 5.7. Consumo horário médio (g/h)

$$C_{h \text{ médio}} = \eta_c \times C_h + C'_h \times (1 - \eta_c)$$

sendo:

$\eta_c$  - Rendimento de campo;

$C_h$  (g/h) - Consumo horário em trabalho produtivo;

$C'_h$  (g/h) - Consumo horário em trabalho não produtivo.

## 5.8. Consumo por hectare (g/ha)

$$C_{ha} = \frac{C_{h \text{ médio}}}{c_t}$$

sendo:

$C_{h \text{ médio}}$  (g/h) - Consumo horário médio;

$c_t$  (ha/h) - Capacidade de trabalho.

### 5.8.1. Exemplos de aplicação

#### Exemplo 5



<http://www.fendt.co.uk/>

- a) De entre os tractores da tabela pretende-se seleccionar o tractor adequado para trabalhar com uma alfaia com 5.3m de largura de trabalho e que requer uma tracção na barra de 4380daN, quando se desloca a 7km/h. Admita para os tractores um rendimento de tracção de 73% e um rendimento mecânico de transmissão de 75%, faça os cálculos que lhe permitam efectuar a selecção do tractor, tendo em mente um grau de utilização da potência igual a 80% da potência nominal.

b)

**Tractores Fendt Favorit**

Modelo	714	716	818	822	824	926
Potência nominal (kW)	104	119	142	157	172	194
Capacidade do depósito de combustível (L)	245	245	370	370	370	370

**Resp.: Fendt Favorit 926**

- b) Qual a capacidade de trabalho esperada, admitindo um rendimento de campo de 85%?

**Resp.: 3.15ha/h**

- c) Admitindo que a potência motora em trabalho não produtivo é metade da potência motora em trabalho produtivo e admitindo que em ambas as situações o consumo específico é  $C_e = 0.28L/kWh$ , calcule o consumo horário, em ambas as situações, e calcule o consumo horário médio.

**Resp.:  $C_h = 43.46L/h$  ;  $C'_h = 21.73L/h$  ;  $C_{h\text{ médio}} = 40.20L/h$**

- d) Qual o consumo medio por hectare em L/ha?

**Resp.: 12.76L/ha**

- e) Admitindo a capacidade do depósito de combustível indicado na tabela, calcule, para o tractor seleccionado, qual a autonomia de trabalho (em hectares), ficando sempre com uma reserva de 10% no depósito.

**Resp.: 26.1ha**

Exemplo 6 - Escarificadores com molas vibráteis ou vibrocultores, são alfaia recomendadas para o rompimento superficial de restolhos nos sistemas de mobilização mínima.



Curso de operadores de máquinas agrícolas 2010

Várias soluções existem, combinando diversos órgãos activos, tendo um ensaio comparativo de três construtores, realizado nas mesmas condições, evidenciado que a solução adoptada pode determinar a maior ou menor necessidade de tracção requerida pela alfaia.

O ensaio realizou-se num restolho sobre um solo argiloso sendo a profundidade média de mobilização de  $8\text{cm}$  e a velocidade de deslocamento do tractor de  $12\text{km/h}$ . Nestas condições a força requerida pela alfaia, por unidade de largura de trabalho, foi:

Horsch .....	$4.63\text{kN/m}$
Kongskilde.....	$4.36\text{kN/m}$
Vaderstad.....	$6.67\text{kN/m}$

a) Para uma das marcas, à sua escolha, e para a largura de trabalho de  $4.4\text{m}$ , determine qual a potência que o motor do tractor tem de desenvolver para puxar a alfaia nas condições do ensaio. Admita para o tractor um rendimento mecânico da transmissão de 75% e um rendimento de tracção de 73%.

**Resp.:  $123.91\text{kW}$  (Horsch)**

b) Admita que o tractor, quer nas condições de trabalho produtivo, quer nas condições de trabalho não produtivo, tem um consumo específico de  $250\text{g/kWh}$  de gasóleo com massa específica de  $837\text{g/litro}$  e preço de  $0,84\text{€/litro}$ .

Admita que a potência motora em trabalho não produtivo é metade da potência motora em trabalho produtivo e que o rendimento de campo é 80%.

Qual o custo em combustível por hora?

**Resp.:  $28\text{€/h}$  (Horsch)**

c) Qual o custo de combustível por hectare? **Resp.:  $6.64\text{€/ha}$  (Horsch)**