

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

2017

INDICE

Resumo	3
1. Estimar ou medir esforços no conjunto tractor e alfaia	4
1.1. Estimar o esforço nos eixos	4
1.1.1. Tractor sem alfaia	4
1.1.2. Tractor com alfaia montada	5
1.1.3. Tractor com alfaia semi-montada	9
1.2. Medição do esforço nos eixos	11
1.3. Medição da carga contida num semi-reboque	12
1.4. Exemplos de aplicação	14
2. Análise estática de aspectos de segurança	23
2.1. Operação em declives	25
2.2. Diagramas de carga de segurança	32
2.2.1. Exemplos	35
3. Interacção com o solo das rodas não motoras de equipamentos agrícolas	42
4. Desempenho do conjunto tractor e alfaia	47
4.1. Tracção na barra e potência na barra	47
4.2. Potência motora e rendimento total	48
4.2.1. Rendimento mecânico da transmissão (η_m)	48
4.2.2. Rendimento de tracção (η_t)	49
4.2.3. Exemplos	50
4.3. Consumo de combustível do conjunto tractor - alfaia	52
4.3.1. Consumo específico	52
4.3.2. Consumo horário	53
4.3.3. Exemplos	53
4.4. Estimativa do combustível consumido em trabalho produtivo	53
4.4.1. Exemplo	53
4.5. Rendimento de campo	54
4.6. Capacidade de trabalho	55
4.7. Consumo horário médio (g/h)	56
4.8. Consumo por hectare (g/ha)	56
4.8.1. Exemplos de aplicação	56

Resumo

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

É feita a 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 é uma edição revista e acrescentada de edições anteriores (2015; 2012), com o mesmo título e do mesmo autor, servindo de apoio a alunos no contexto da unidade curricular de *Mecanização Agrícola* (2006/07 até ao presente), obrigatória do 3º semestre da licenciatura em Agronomia.

Outras disciplinas apoiadas pelos textos:

- *Princípios de Engenharia Aplicados à Ciência Animal* (2006/07 a 2016/17) – unidade curricular obrigatória do 1º ciclo em Ciência e Tecnologia Animal.
- *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;
- *Mecânica Aplicada* (1983/84 a 2003/04) - disciplina obrigatória do 3º semestre os cursos de Engenharia Agrícola e Engenharia Zootécnica.

Textos anteriores do mesmo autor:

- *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.

1. Estimar ou medir esforços no conjunto tractor e alfaia

Cada veículo, e em particular os tractores agrícolas têm que cumprir um limite máximo de carga por eixo. A figura seguinte mostra o pormenor de uma placa aposta no tractor em que indica que a carga máxima no eixo frontal é 3500kg ($\approx 3500daN$) e que a carga máxima no eixo traseiro é 6400kg ($\approx 6400daN$).



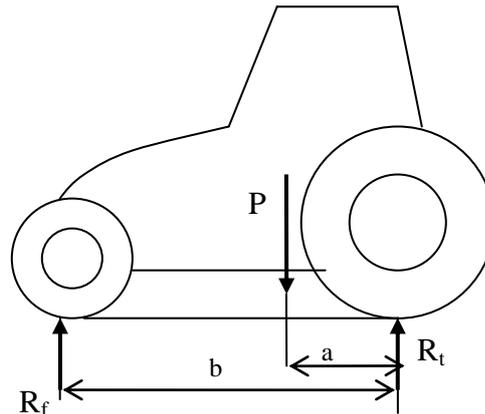
1.1. Estimar o esforço nos eixos

Utilizando as equações de equilíbrio de um corpo, podemos realizar 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.

1.1.1. Tractor sem alfaia

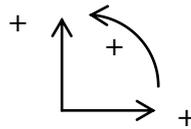
A situação mais simples (e com menor interesse prático) está ilustrada nas figuras seguintes:





- P - Peso próprio do veículo; tara (*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*);

Note que as distâncias são sempre medidas perpendicularmente às forças.



Admitamos a convenção:

Equilíbrio de forças: $R_f - P + R_t = 0$

Equilíbrio de momentos: $- R_f \times b + P \times a = 0$

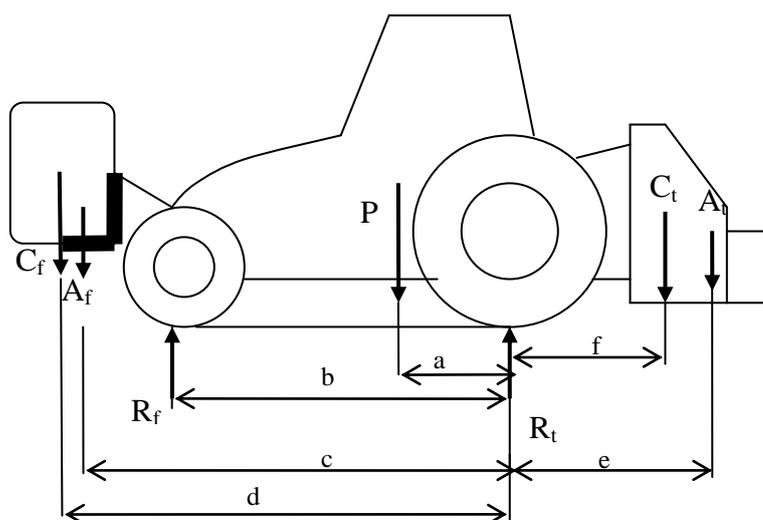
O sistema formado pelas duas equações anteriores, permite calcular duas incógnitas. Em particular a resolução em ordem a R_f e R_t permite-nos conhecer a carga que um tractor tem em cada eixo (*axle load*).

Resolvendo em ordem a R_f e R_t obtemos:

$$R_f = \frac{1}{b}(P \times a) \quad R_t = P - R_f$$

1.1.2. Tractor com alfaia montada

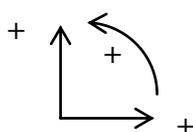
A situação mais completa está ilustrada nas figuras seguintes:



- 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:

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

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

O CASO CORRENTE DE ALFAIA NA TRASEIRA

Para os tractores agrícolas com alfaias montadas apenas na traseira (*rear mounted implements*), a equação anterior simplifica-se, uma vez que $C_f = 0$ e $A_f = 0$



A equação fica:

$$R_f = \frac{1}{b} (P \times a - A_t \times e - C_t \times f)$$

Fica demonstrado que o eixo da frente do tractor fica com menor carga (mais leve) quando comparado com a carga sem alfaia (ver 1.1.1).

Em contrapartida o eixo de trás fica com mais carga.

Para compensar a falta de peso no eixo frontal, que pode comprometer a tracção e a direcção, os tractores com alfaias pesadas, montadas na traseira, deverão ser contrabalançados com a colocação de contrapesos frontais:



O CASO DE ALFAIA MONTADA NA FRENTE



Para os tractores agrícolas com alfaias montadas na parte frontal (*front mounted implements*), uma vez que $C_t = 0$ e $A_t = 0$, equação geral fica:

$$R_f = \frac{1}{b}(C_f \times d + A_f \times c + P \times a)$$

Fica demonstrado que o eixo da frente do tractor fica com maior carga (mais pesado) quando comparado com a carga sem alfaia (ver 1.1.1).
Em contrapartida o eixo de trás fica mais leve.

Um carregador frontal pode necessitar de contrapesos traseiros:



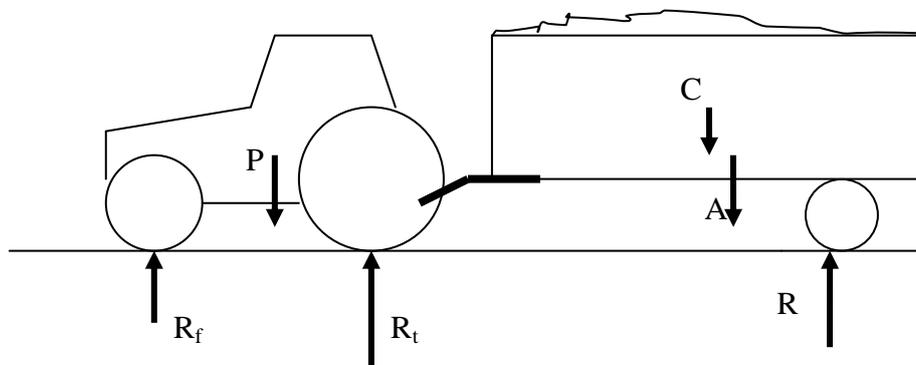
Em alternativa os rodados traseiros podem ser lastrados com água e/ou pesos traseiros (discos de ferro) podem ser aparafusados nas jantes. Estas soluções, por serem mais estáveis, deverão ser utilizadas em tractores que estão dedicados em permanência ao trabalho com carregadores frontais.

1.1.3. Tractor com 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 .

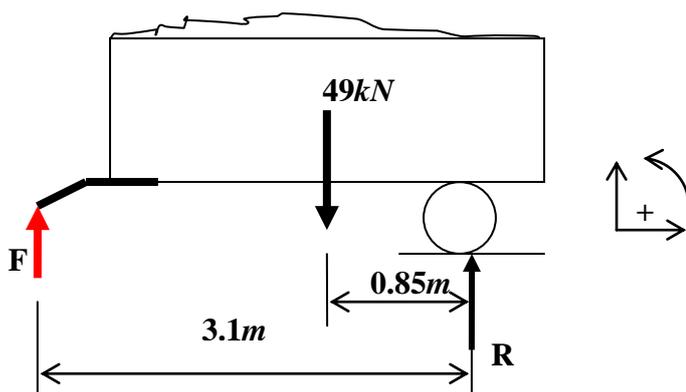
Para resolver o problema, há que efectuar separadamente o equilíbrio de cada uma das máquinas, como se mostra no exemplo seguinte:

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 $3.1m$.

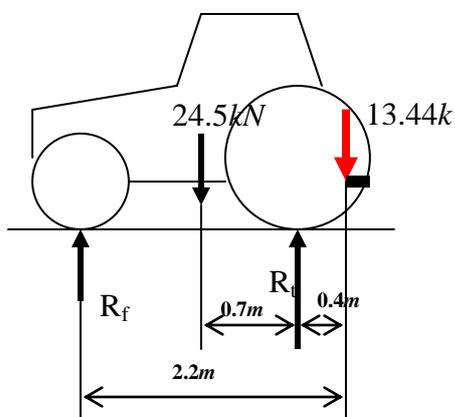
Determine a carga vertical no eixo dianteiro e traseiro do tractor, quando o conjunto se encontra parado num plano horizontal.

Equilíbrio do semi-reboque:



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

Equilíbrio do tractor:



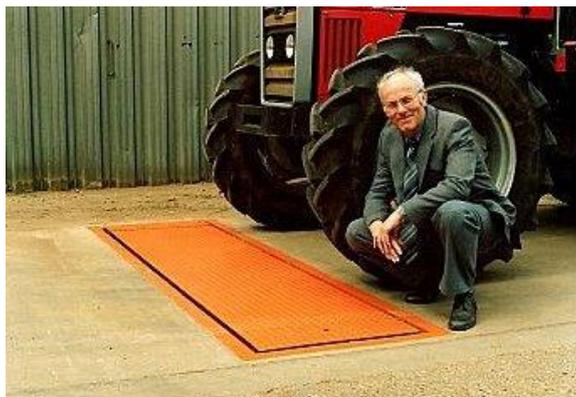
$$\Sigma F = -13.44 + R_t - 24.5 + R_f = 0$$

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

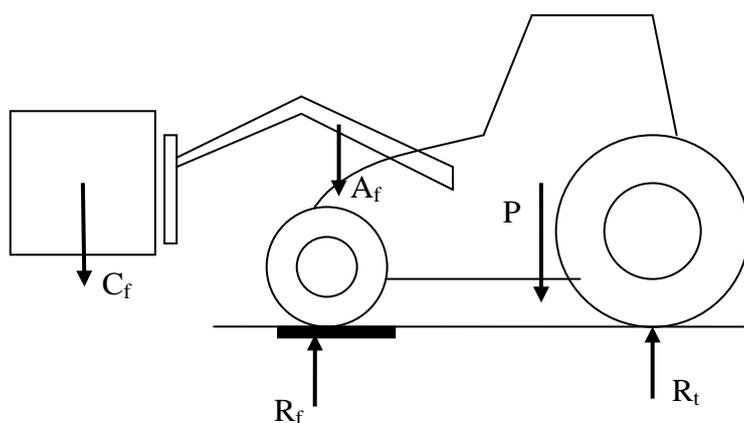
$$R_t = 32.59kN; R_f = 5.35kN$$

1.2. Medição do esforço nos eixos

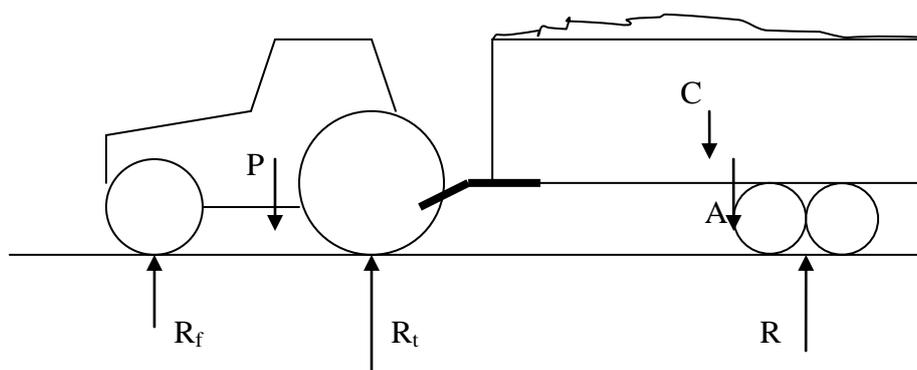
A medição da carga nos eixos pode ser feita utilizando uma balança de pesagem de eixos (*weighing pads*) ou de pesagem de veículos (*weighbridges*). A colocação de qualquer eixo sobre o tabuleiro permitirá a medição da reacção efectuada nesse eixo, ou seja da carga sobre o eixo.



Báscula de pesagem de eixos (*weighing pads*)



A colocação do eixo frontal sobre o tabuleiro permitirá a medição imediata da carga sobre o eixo.



A medição efectiva das forças R_t ; R_f ; R , pode ser efectuada colocando sucessivamente os eixos do tractor e semi-reboque sobre o tabuleiro de uma báscula de pesagem de eixos (*weighing pads*).

1.3. Medição da carga contida num semi-reboque

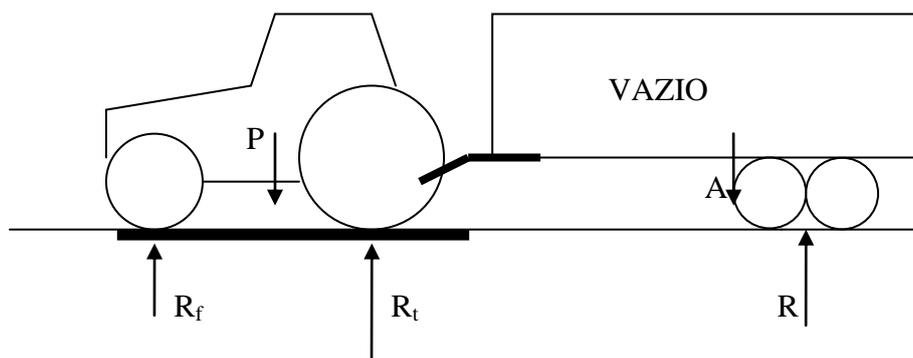


Báscula para pesagem de conjunto tractor e semi-reboque na Herdade do Casão (2014)

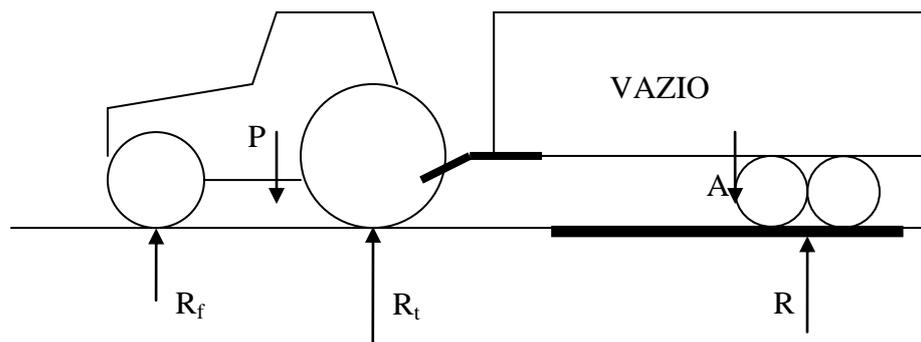
Se existir uma báscula com tabuleiro que permita, simultaneamente, a pesagem do conjunto tractor e semi-reboque, basta medir o peso do conjunto tractor e semi-reboque, vazio (Tara) e, seguidamente, do conjunto carregado. A diferença dá o valor da carga contida no semi-reboque.

Se a báscula (*weighbridge*) permitir apenas a pesagem dos dois veículos separadamente:

- 1) Com o semi-reboque vazio, colocar apenas o tractor (sem desligar do semi-reboque) sobre o tabuleiro da báscula, como indica a figura seguinte. Ficámos a conhecer R_f+R_t



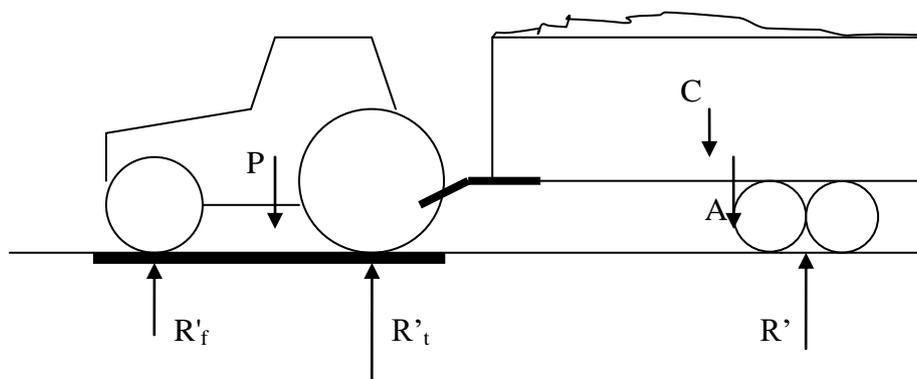
- 2) Colocando seguidamente os rodados do semi-reboque (VAZIO) sobre a báscula, obtemos a medição de R .



3) Adicionando estas pesagens, obtemos a TARA do conjunto.

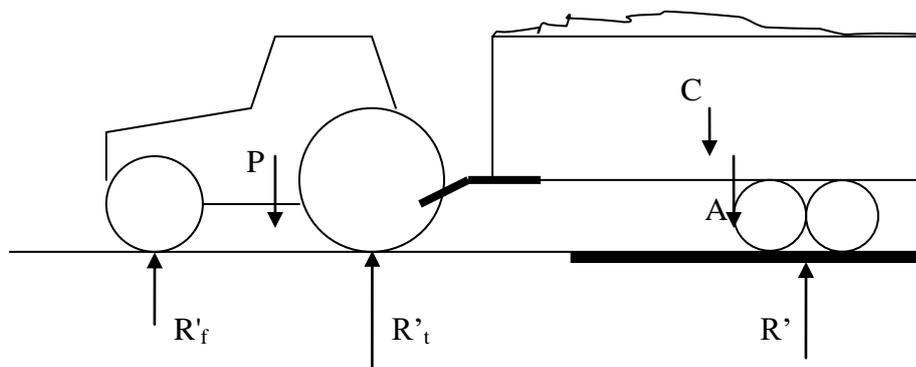
$$R + R_f + R_t = A + P = \text{TARA}$$

4) Com o semi-reboque **carregado**, colocar apenas o tractor (sem desligar do semi-reboque) sobre o tabuleiro da báscula, como indica a figura seguinte. Ficámos a conhecer $R'_f + R'_t$



- 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);

5) Colocando seguidamente os rodados do semi-reboque (CARREGADO) sobre a báscula, obtemos a medição de R' .



- 6) Adicionando estas pesagens, obtemos a TARA do conjunto + CARGA no semi-reboque.

$$R' + R'_f + R'_t = A + P + C = \text{TARA} + C$$

- 7) Subtraindo a tara, obtemos C.

1.4. 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



Tem à escolha um depósito de 400 litros que pesa, quando cheio, 420 *daN* (+100*daN* para a estrutura de suporte), ou um depósito de 600 litros que pesa, quando cheio, 630 *daN* (+100*daN* 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 = 2379*daN*;

Peso do pulverizador cheio = $750daN$;

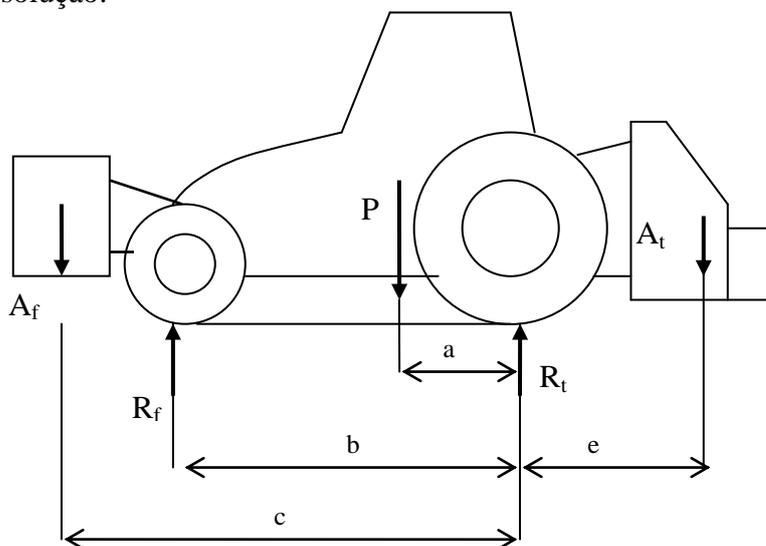
Admitamos os seguintes dados aproximados:

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);

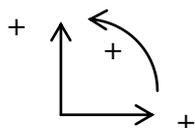
a = Distância de P ao eixo traseiro = $0.8m$;

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.

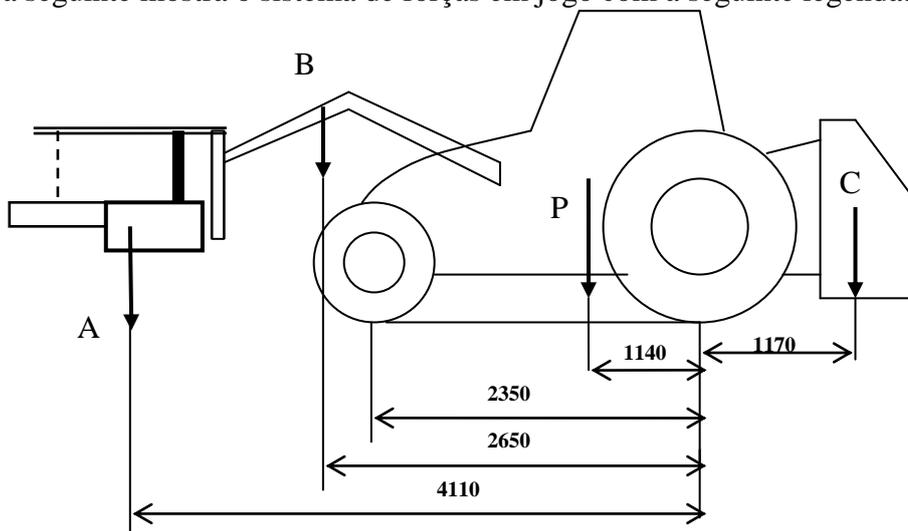
Exemplo 2 (para o aluno resolver)

A figura mostra equipamento utilizado na colheita mecânica de azeitona recorrendo à vibração da árvore por meio de um vibrador suspenso num carregador frontal montado num tractor agrícola:



- a) Que sujere para lastrar o tractor, referindo-se a locais e meios.
- b) Dispõe-se de uma báscula em cujo tabuleiro cabe o tractor, contudo, a projecção do vibrador cai fora do tabuleiro. Será possível medir a carga no eixo frontal? Justifique.

A figura seguinte mostra o sistema de forças em jogo com a seguinte legenda:



FORÇA	DESIGNAÇÃO	VALOR (daN)
A	Peso do vibrador	700
B	Peso do carregador frontal	400
P	Peso do tractor sem lastro	3458
C	Peso do sistema hidráulico do vibrador	100

c) Calcule o peso sobre os eixos do tractor. ($R_f = 3303daN$; $R_t = 1355daN$)

Exemplo 3 (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 = $6900daN$

Peso Bruto = $9500daN$

Repartição da tara pelos eixos: $3725daN$ (dianteiro); $3175daN$ (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 5

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 (<i>daN</i>) *	Carga por pneu (<i>daN</i>) **	Pressão de enchimento (<i>psi</i>)
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.

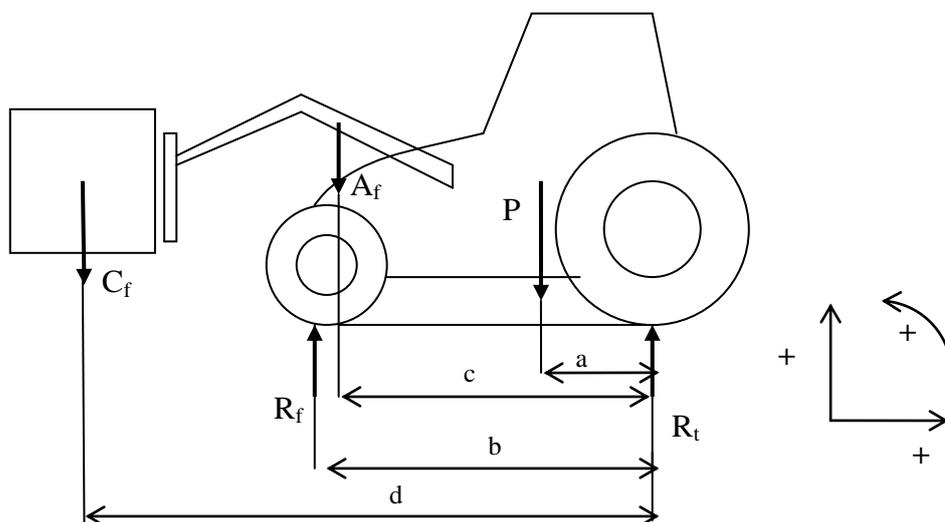
As tabelas de pressão – carga - velocidade podem ser fornecidas pelos representantes de marcas de pneus.

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 2571*daN* foi o valor apurado nessa medição; então cada pneu frontal está sujeito a 1285*daN* 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 6 (para o aluno resolver)

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



www.lemken.com

Admita os seguintes dados:

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

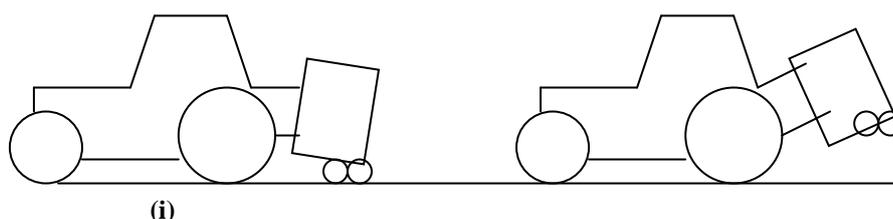
As tabelas de pressão – carga destes pneus apresentam-se seguidamente:

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)

Exemplo 7 (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:

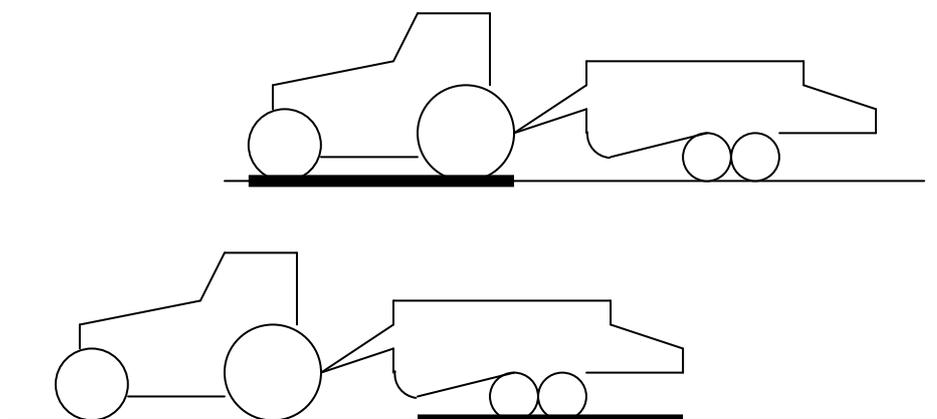
Tabela de pressão-carga de um pneu: 400/55 -17.5 para utilização em alfaias agrícolas até 30km/h

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.

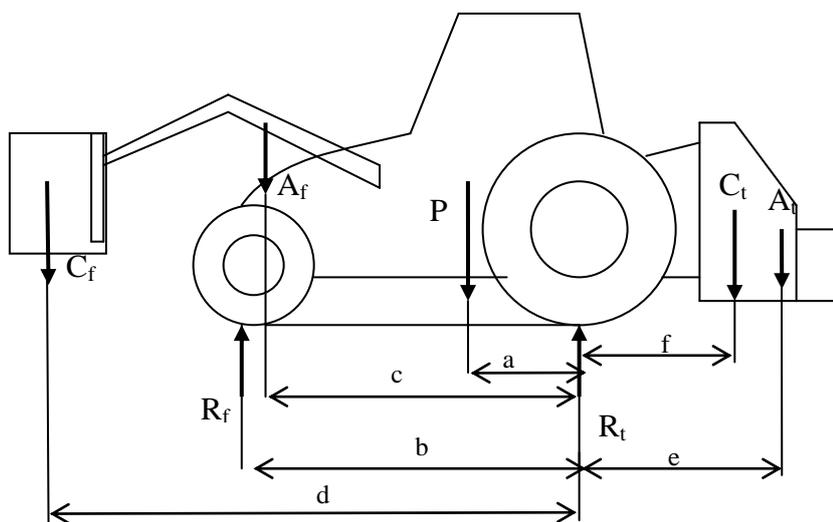
b) Qual é o peso da enfardadeira?

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

2. Análise estática de aspectos de segurança

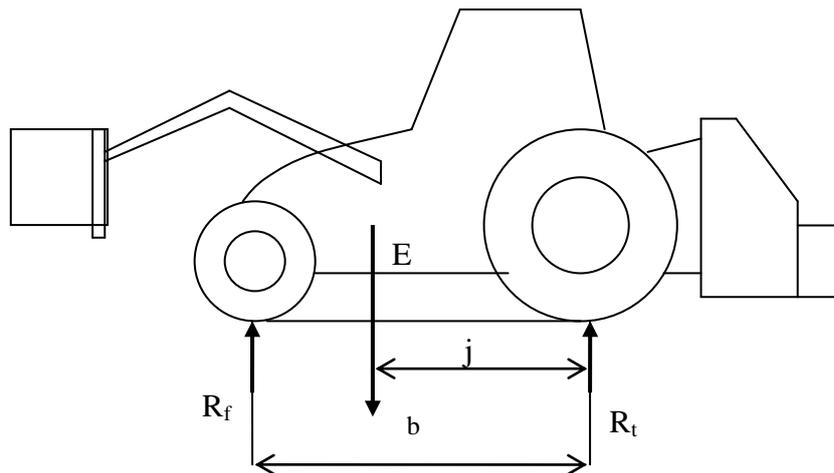
No capítulo anterior foi apresentado um caso geral e vários exemplos de aplicação relativos ao conjunto tractor alfaia. Em particular foi dada relevância ao cálculo ou à medição directa da carga sobre cada eixo de um veículo (*axle load*).

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.

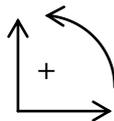


Isto significa que E e j são tais que

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

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

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 \underline{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).

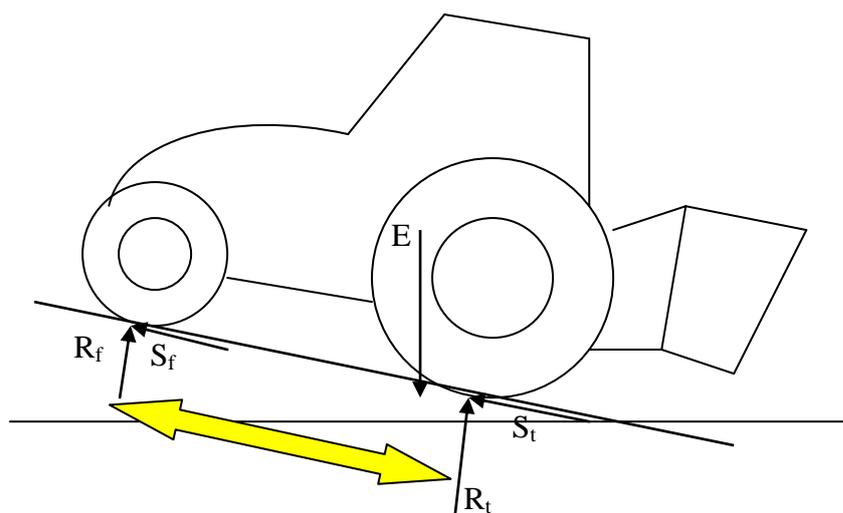
A lastragem com contrapesos é o meio que permite recolocar a linha de acção da força E , de modo a garantir uma repartição sensata da carga pelos eixos.

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.

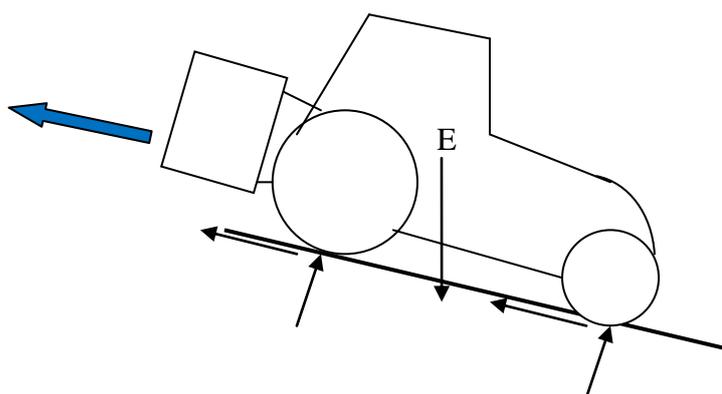




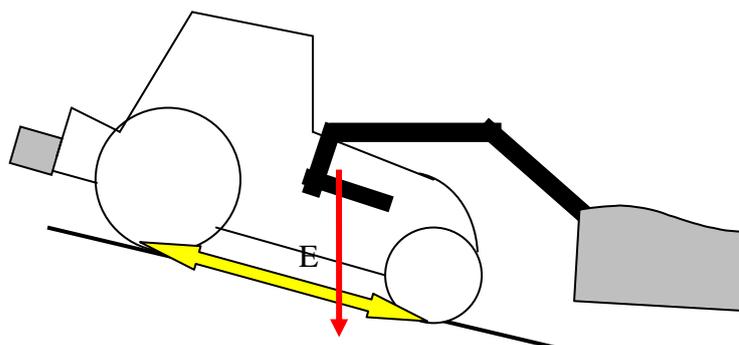
Se possível, nestas condições, as cargas devem ser repartidas pela frente e traseira do trator:



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

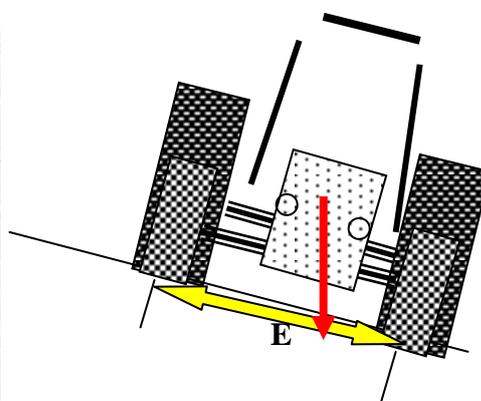


Com a carga na frente, passam a ser as manobras a descer que podem causar instabilidade. O trator da figura seguinte, equipado com caixa de recolha de azeitona, por erro de delineamento da operação de colheita, teve de efectuar a sua operação sempre a descer.

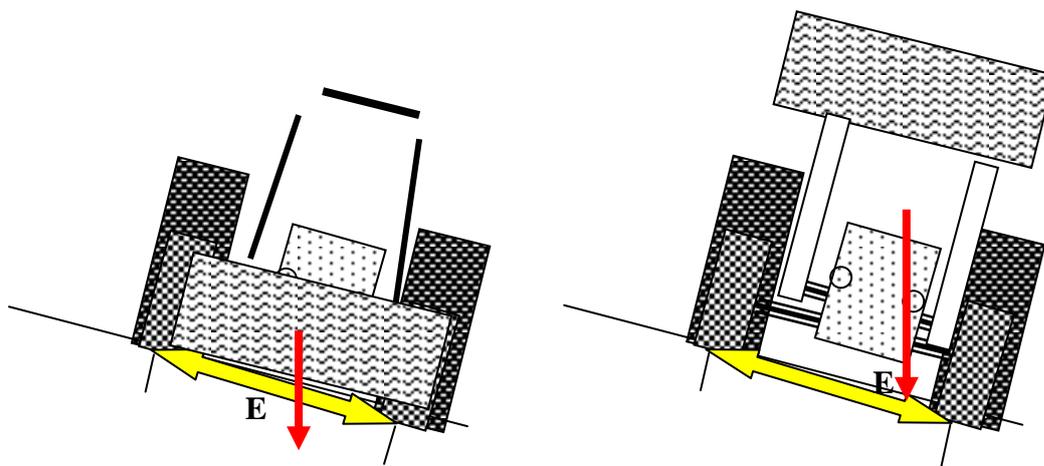


No ano seguinte, o delineamento foi corrigido e o trator passou a operar a subir o declive!

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 tractor, provocando instabilidade.

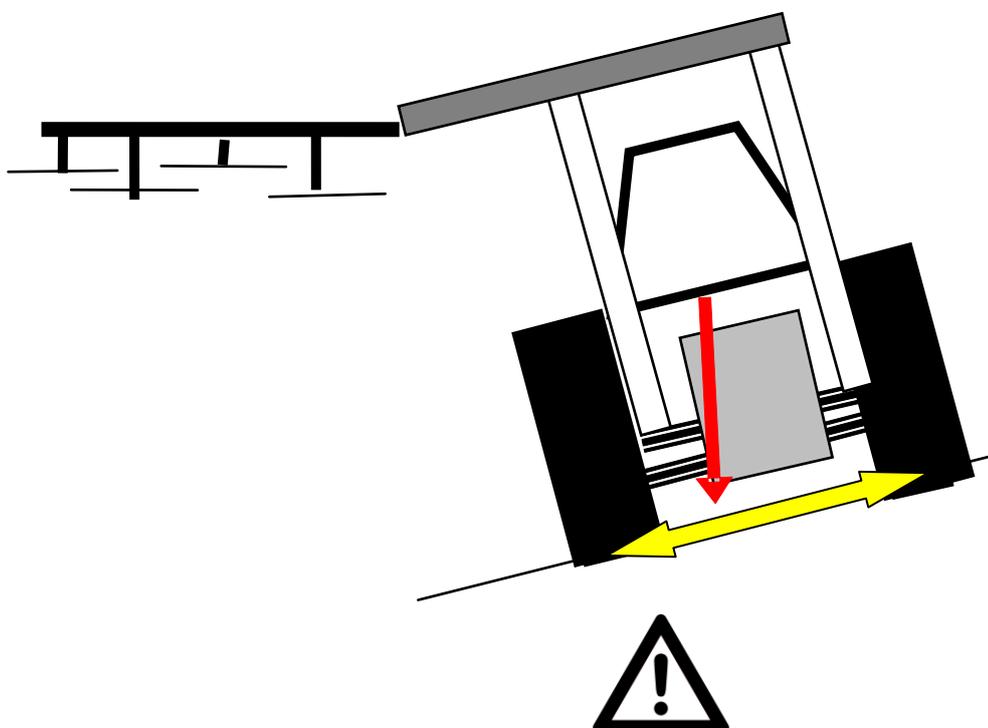
Lateralmente ao declive, cargas excêntricas ao tractor têm que ser geridas sensatamente. O exemplo seguinte mostra o corte de forragem com gadanheira montada. Em trabalho, uma vez que a alfaia se encontra junto ao solo, não há perigo de instabilidade. Contudo no final do trabalho a colocação da alfaia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

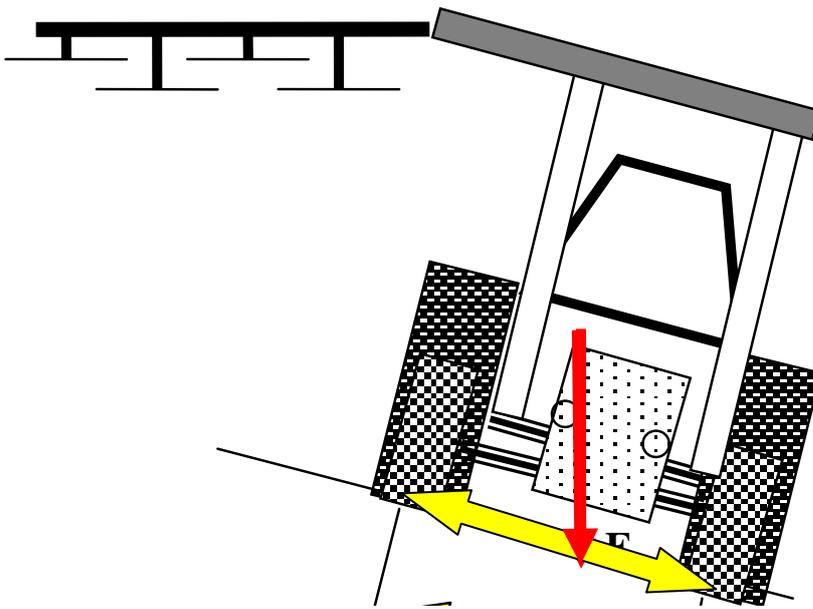


A máquina de podar de discos é um exemplo de equipamento que impõe elevado risco de instabilidade lateral:



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





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.



Nos tratores específicos para culturas como a vinha (tractor vinhateiro) as bitolas são mais estreitas do que no tractor convencional de uso geral. Há que ter atenção à sua estabilidade lateral em declives, especialmente com cargas excêntricas.



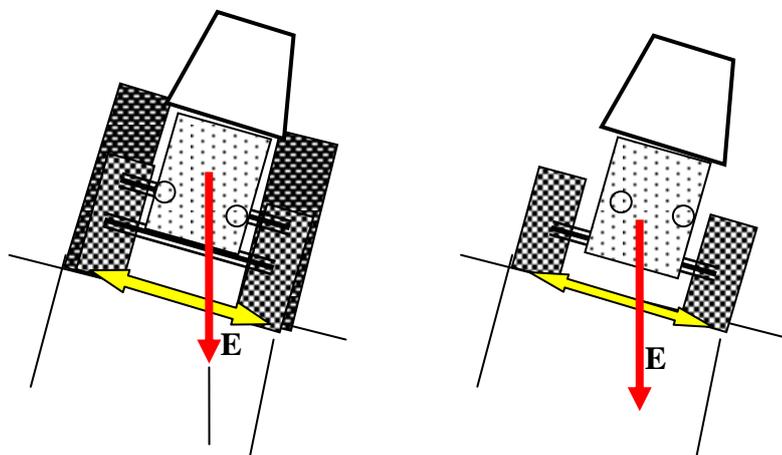
Tractores e Equipamentos Automotrizes (2012/13) – visita de estudo ao Entreposto Máquinas – Setúbal, 2012.

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

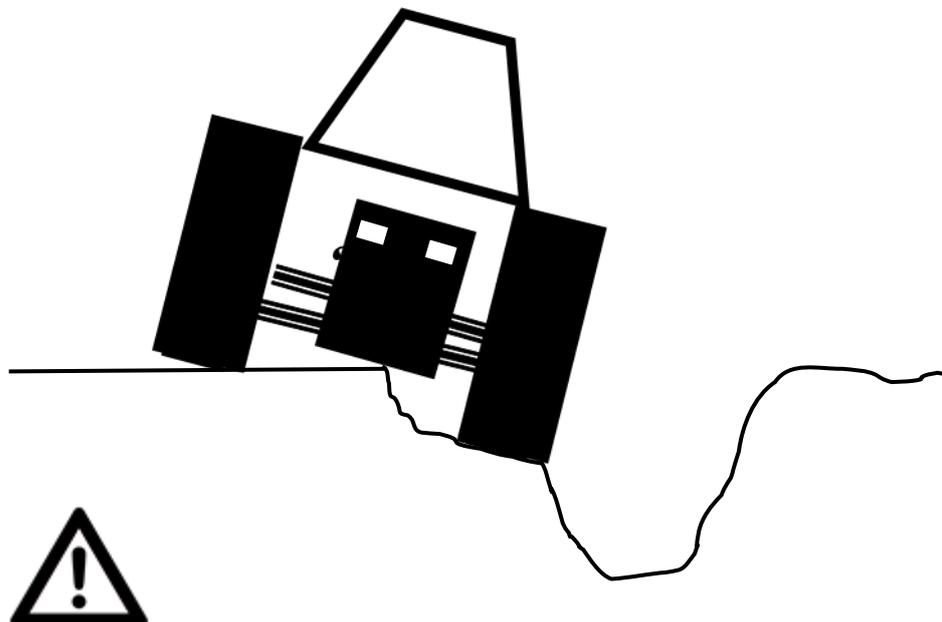
Existem igualmente tractores não convencionais para trabalhos em vinhas e pomares (imagem seguinte à direita):



A localização do centro de gravidade destes tractores mais próximo do solo, permite-lhes maior estabilidade, como se pode observar no esquema seguinte



Muita vezes esquecido é o facto de nem sempre se se “poder contar” com uma base de sustentação firme. Tantas vezes ignora-se 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.



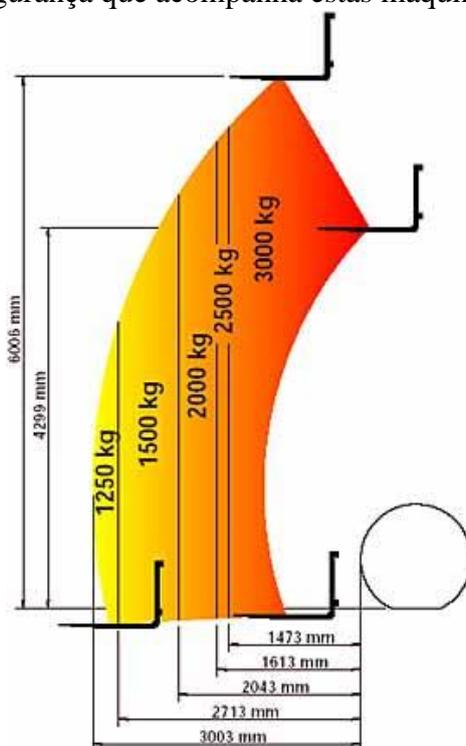
2.2. Diagramas de carga de segurança

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 www.manitou.com www.jcb.co.uk 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 e caixas de recolha para a colheita de azeitona.



Ver na [www:materials handling](http://www.materials-handling.com) ou *front loaders*

A forquilha (*fork lift*) montada na frente ou na traseira de tractors agrícolas é outro sistema comum para manuseamento, principalmente munido de patolas para carregamento de paletes:





A tabela seguinte mostra algumas características de uma gama de empilhadores:

Modelo	Carga de segurança (kg)	Elevação* (mm)	Peso próprio (daN)
ET 13-210	1300	2100	400
ET 13-250	1300	2500	405
ET 13-280	1300	2800	430
ET 15-320	1500	3200	470
ET 16-380	1600	3800	490
ET 16-450	1600	4500	520

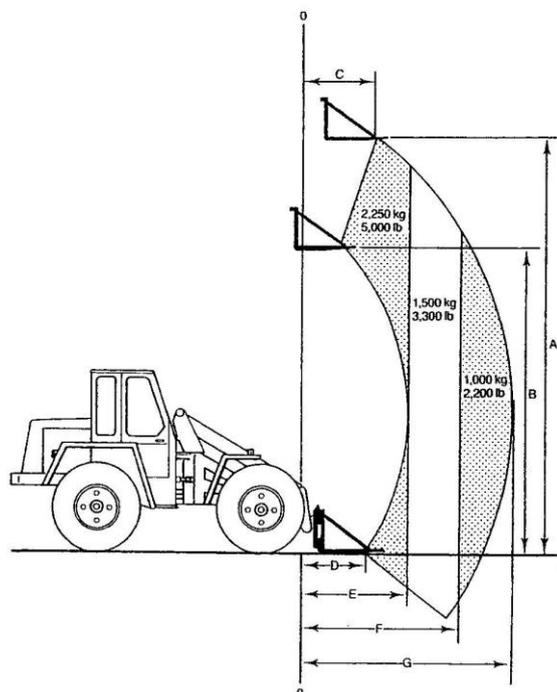
* Valor máximo desde as patolas ou dentes de forquilha até ao solo

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)



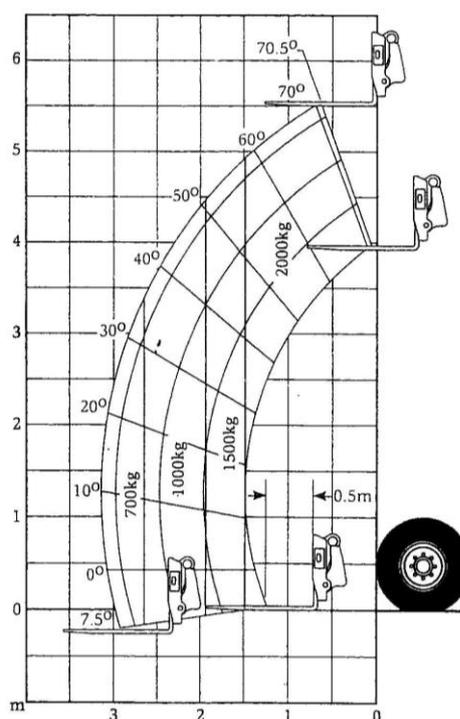
Medidas: $A = 5.5m$; $B = 4.1m$; $C = 0.86m$; $D = 0.79m$; $E = 1.47m$; $F = 2.33m$; $G = 3.1m$

- 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.



- Como se chama o equipamento de manuseamento de carga utilizado?
 - Admitindo que a altura de carga é de $4m$, qual o máximo de carga possível de manusear?
 - 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.

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

GRAFICO DE CARGA DE ELEVAÇÃO

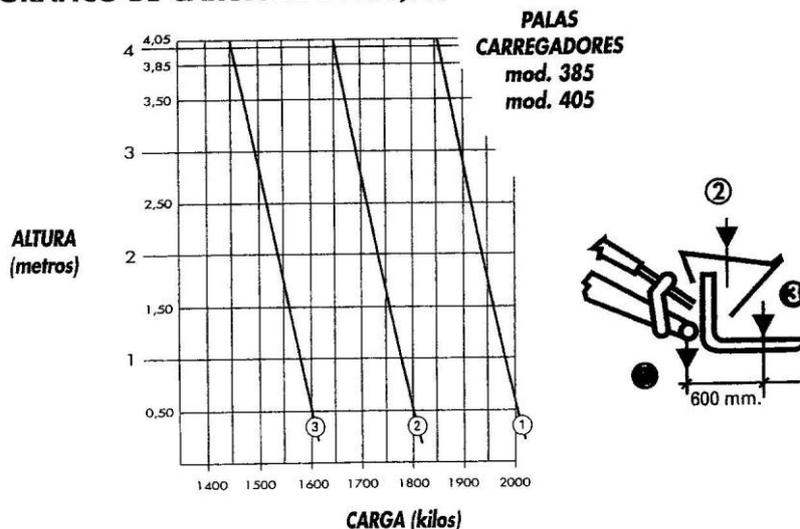


Fig.1 – Cargas de segurança do carregador frontal

- 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.
- 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 www.m-x.fr

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

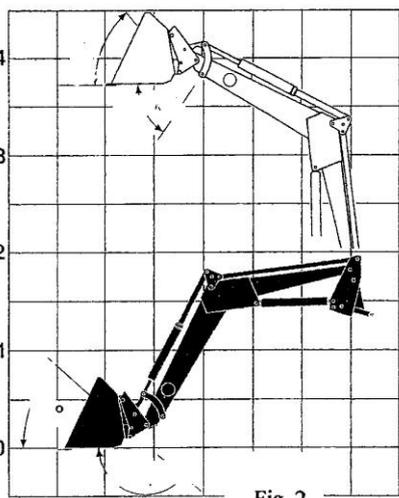


Fig. 2

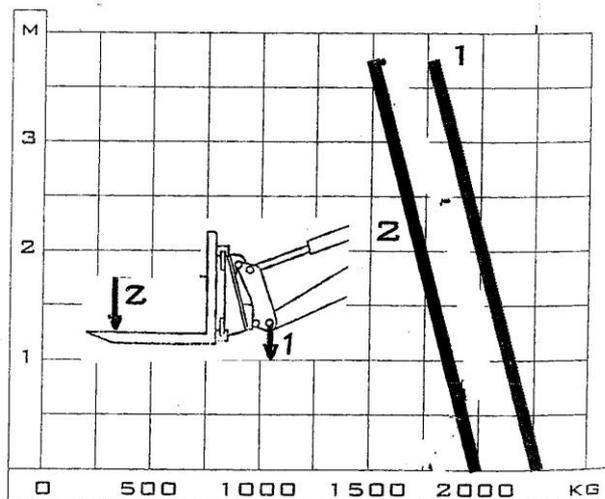


Fig. 3

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 $350kg/m^3$.

a) 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.

b) 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?

c) Marque na figura 3, das cargas de segurança, a situação correspondente ao manuseamento do fardo mais alto na pilha e indique as suas conclusões;

d) 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 = 1070 mm 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 daN .

Exemplo 5 (para o aluno resolver)

A figura 1 mostra a forma como o agricultor pretende realizar o manuseamento de fardos (um de cada vez), utilizando um tractor com um empilhador montado nos 3 pontos do sistema hidráulico:



Figura 1 – Tractor com empilhador montado

A tabela seguinte mostra algumas características de uma gama de empilhadores:

Modelo	Carga de segurança(kg)	Elevação* (mm)	Peso próprio (daN)
BHP 15-250	1500	2500	429
BHP 15-320	1500	3200	464
BHP 15-380	1500	3800	491
BHP 20-250	2000	2500	560
BHP 20-320	2000	3200	610
BHP 20-380	2000	3800	650

* Valor máximo desde as patolas ou dentes de forquilha até ao solo

A figura 2 mostra as características médias do fardo:

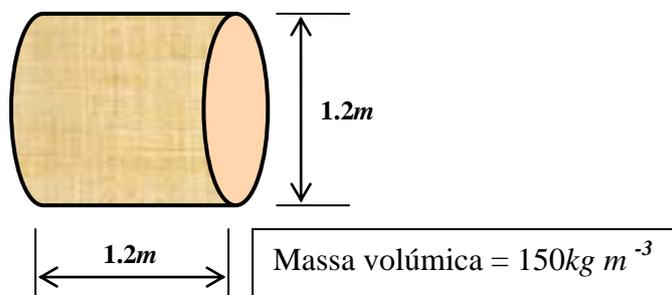


Figura 2 – características médias do fardo

A figura 3 mostra que, efectuando o carregamento até 3 camadas de fardos, a altura do carregamento é de $4m$ (limite imposto pelo código da estrada).

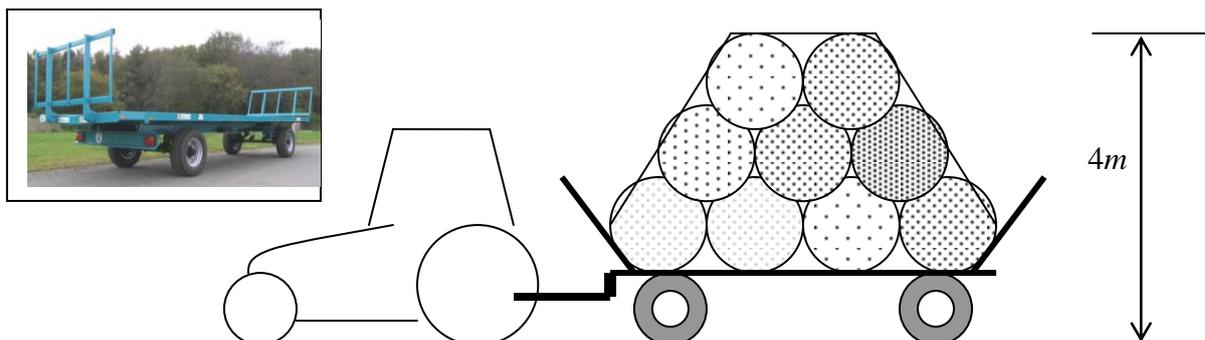


Figura 3 – Carregamento de 18 fardos no reboque agrícola

Suponha que a forquilha espeta cada fardo acima do contorno circular inferior a uma distância de cerca de $\frac{1}{3}$ do diâmetro.



Figura 4 – Modo de espetar cada fardo

a) Apresentando os cálculos, seleccione o modelo de empilhador mais conveniente. (BHP 15-320)

b) Admita que se dispõe da balança para pesagem de eixos ilustrada na figura 5.

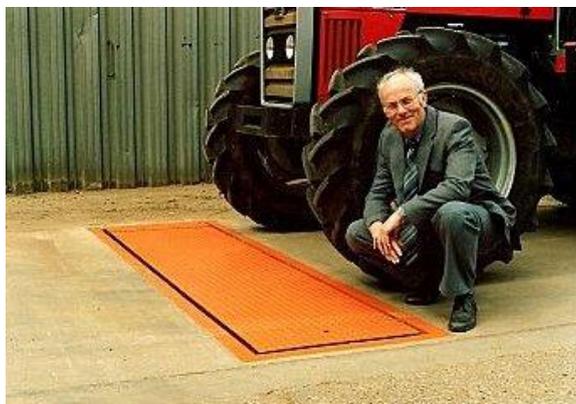
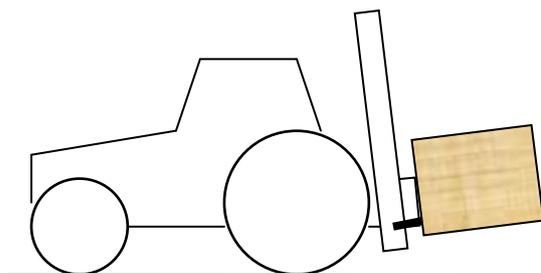


Figura 5 – Balança para a pesagem de eixos

Crie uma rotina de procedimentos para o agricultor saber o peso de cada carrada de fardos que transporta.

c) Que procedimento de segurança deverá cumprir o operador do tractor para levar o fardo desde o local onde este se encontra até ao reboque.

d) Utilize o desenho seguinte para marcar as forças em jogo e calcular a reacção nos eixos do tractor **com o empilhador e com o fardo**. ($R_f = 1421daN$; $R_t = 3677daN$)



Admita os seguintes dados:

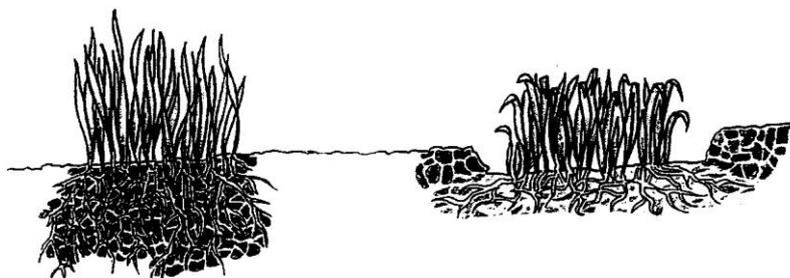
Peso próprio do trator	4430daN
Distância entre-eixos do trator	2780mm
Distância do c.g. do trator ao eixo traseiro	1112mm
Distância do c.g. do empilhador s/carga ao eixo traseiro	1280mm
Distância do c.g. da carga ao eixo traseiro	1880mm

e) Se o trator ficar instável o que é que sugere ao operador.

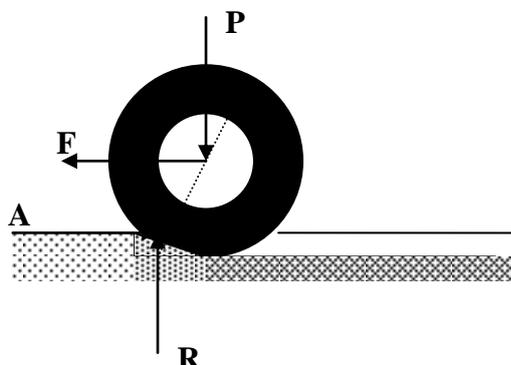
3. Interação com o solo das rodas não motoras de equipamentos agrícolas

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 (ρ) 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.

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 (ρ) 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

Carga vertical (daN)	1180	1400	1600	1730
Pressão de Enchimento (kPa)	80	110	150	170
Pastagem seca	0.077	0.081	0.082	0.081
Restolho seco	0.085	0.087	0.088	0.089
Restolho húmido	0.096	0.100	0.102	0.105
Solo solto seco	0.104	0,110	0,113	0.118
Solo solto húmido	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 1730dNa (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 conseqüentemente 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 eixos tandem, para cereais (Herdade dos Padres 2014)



Pulverizador semi-rebocado www.knight-ldt.com

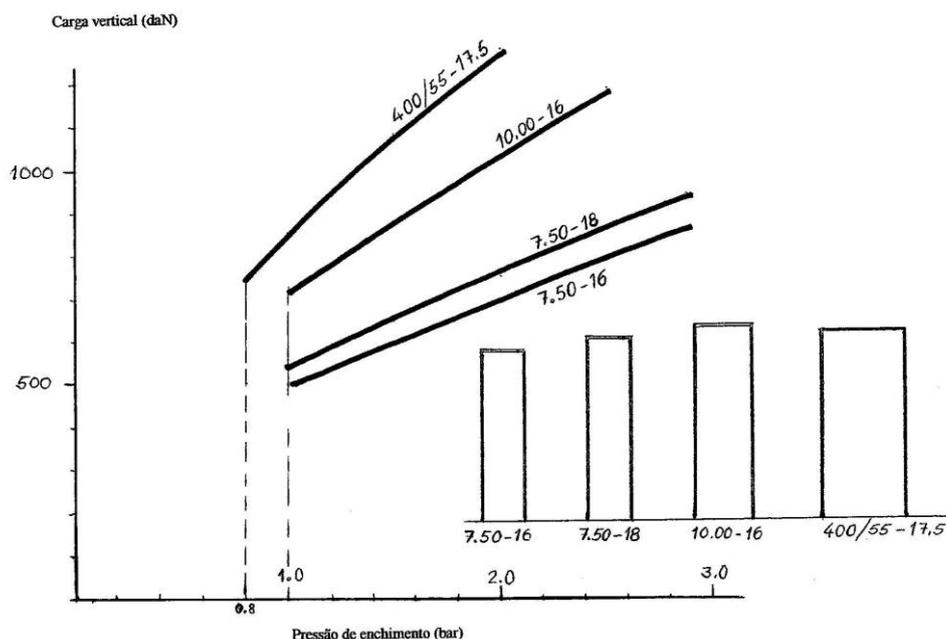


Semi-reboque para distribuir estrumes líquidos (Herdade dos Padres 2014)



Semeador mecânico de fluxo contínuo. Sementeira directa na Herdade das Lages Grandes (2014)

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 a carga de 1000daN pode ser suportada por um pneu $400/55-17.5$ com 1.3bar de pressão ou, em alternativa por dois pneus $7.50-16$, com 1bar de pressão.

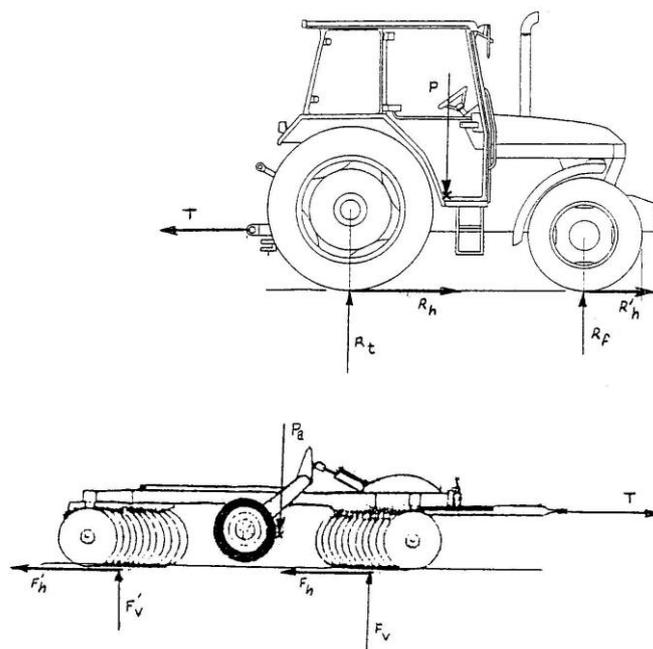
4. Desempenho do conjunto tractor e alfaia

4.1. 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)

4.2. 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 patinagem dos pneus e conseqüente formação de sulcos no solo.

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

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

em que η_m é o **rendimento mecânico da transmissão** e, η_t é o **rendimento de tracção dos pneus**.

4.2.1. Rendimento mecânico da transmissão (η_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.

$\eta_m = 0.753$

4.2.2. Rendimento de tracção (η_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%

4.2.3. 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 (m)	Peso da grade (daN)
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.: $29.67kW$

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.: $54.2kW$

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

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



www.vaderstad.com

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

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.

4.3. Consumo de combustível do conjunto tractor - alfaia

4.3.1. 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
η_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
η_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.

4.3.2. 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*.

4.3.3. 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.: $14,04€/h$

4.4. 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..... $C_h \times \frac{A}{3600 \times v \times l}$

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

4.5. Rendimento de campo

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

Voltas nas cabeceiras:



Paragens para reabastecimento de depósitos e tremonhas



Semeador mecânico de fluxo contínuo. Sementeira directa na Herdade das Lages Grandes (2014)



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 (η_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:

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

4.6. Capacidade de trabalho



Semeador mecânico de fluxo contínuo. Sementeira directa na Herdade das Lages Grandes (2014)

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;

η_c - Rendimento de campo (decimal).

4.7. Consumo horário médio (g/h)

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

sendo:

η_c - Rendimento de campo;

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

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

4.8. Consumo por hectare (g/ha)

$$C_{ha} = \frac{C_{hmed}}{c_t}$$

sendo:

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

c_t (ha/h) - Capacidade de trabalho.

4.8.1. 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 8cm e a velocidade de deslocamento do tractor de 12km/h . Nestas condições a força requerida pela alfaia, por unidade de largura de trabalho, foi:

Horsch 4.63kN/m

Kongskilde..... 4.36kN/m

Vaderstad..... 6.67kN/m

a) Para uma das marcas, à sua escolha, e para a largura de trabalho de 4.4m , 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.: 123.91kW (Horsch)

b) Admita que o tractor, quer nas condições de trabalho produtivo, quer nas condições de trabalho não produtivo, tem um consumo específico de 250g/kWh de gasóleo com massa específica de 837g/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€/h (Horsch)

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