

Características de desempenho de tratores agrícolas

LEB0332 - Mecânica e Máquinas Motoras



USP



ESALQ



ENGENHARIA DE
BIOSISTEMAS
USP - ESALQ

José P. Molin
jpmolin@usp.br

Bibliografia

Material no e-Disciplinas

1. MIALHE, L.G. Máquinas Agrícolas: ensaios & certificação. FEALQ. Piracicaba, SP. 1996. 772p.
(cap. 8 – Ensaio e certificação de tratores)

2. Artigo Cultivar Máquinas, 04/2022

Objetivos

1. Apresentar os parâmetros definidores do desempenho de tratores
2. Compreender como é realizada a avaliação do desempenho dos tratores
3. Interpretar resultados de desempenho de tratores

Os tratores são máquinas projetadas para...

Tracionar, transportar e acionar
outras máquinas e implementos

Qual o mais adequado
para a minha demanda?

Para isso avalia-se o desempenho dos tratores passíveis de serem selecionados

O que é avaliar desempenho?

Ato de apreciar o valor **qualitativo** e **quantitativo** do trabalho realizado (pelo trator, máquinas e implementos) durante a execução das operações para as quais foram projetadas e construídas

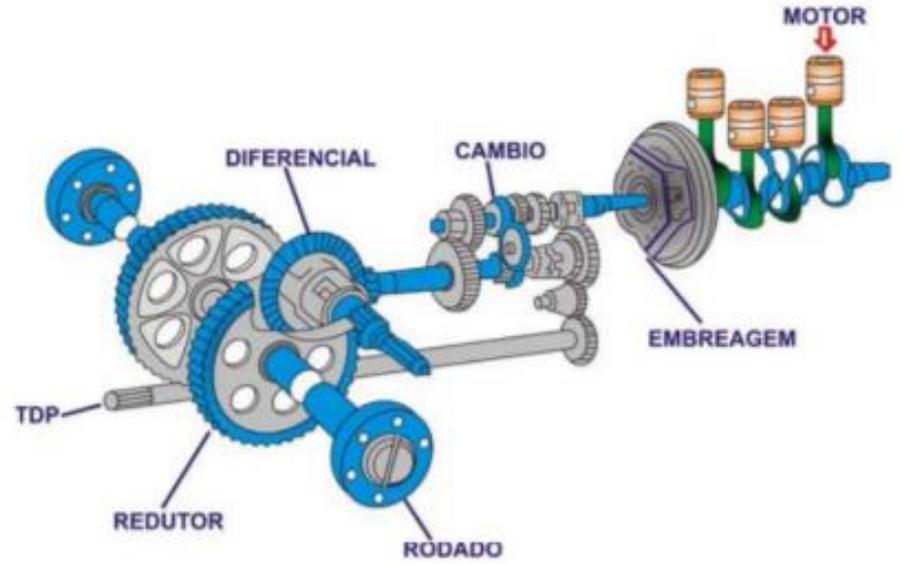
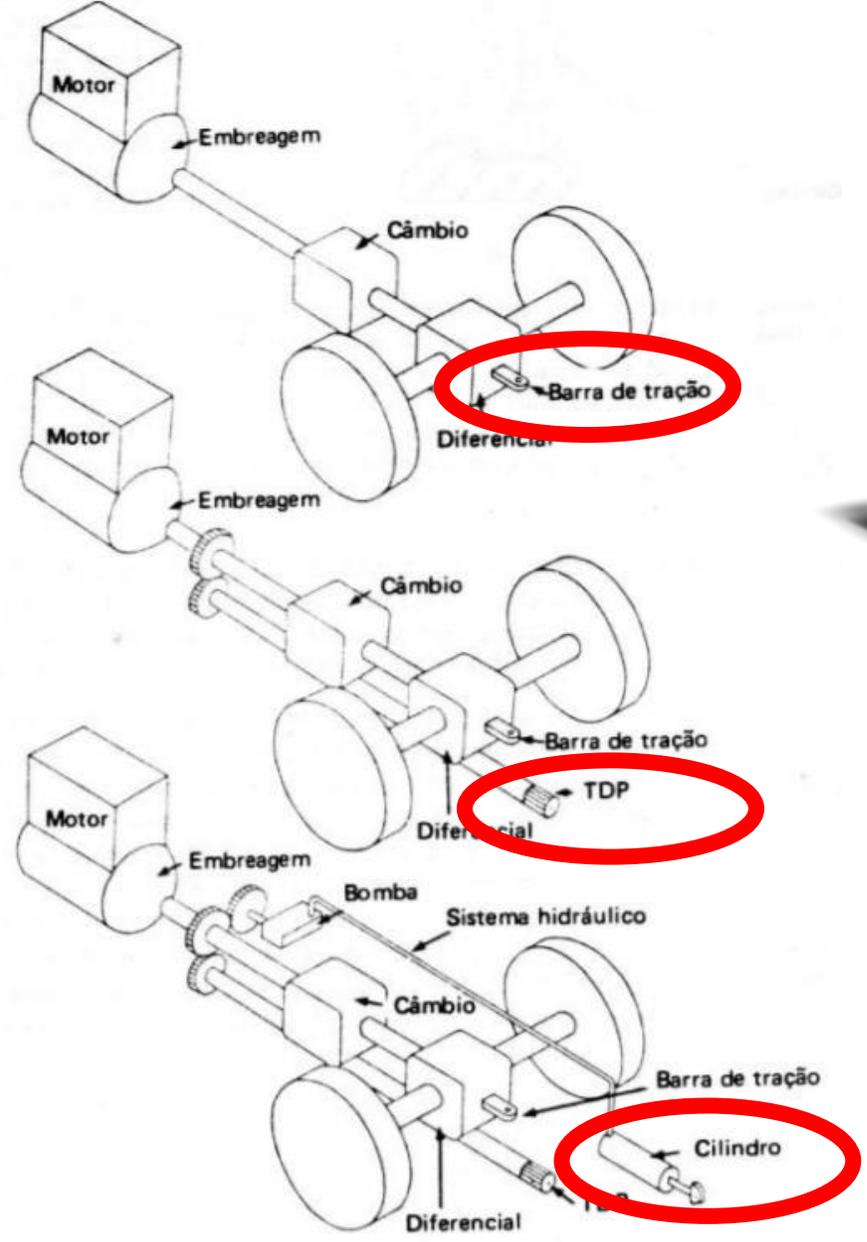
Tipos de desempenho

Desempenho teórico – o que o projetista tomou como base para o dimensionamento

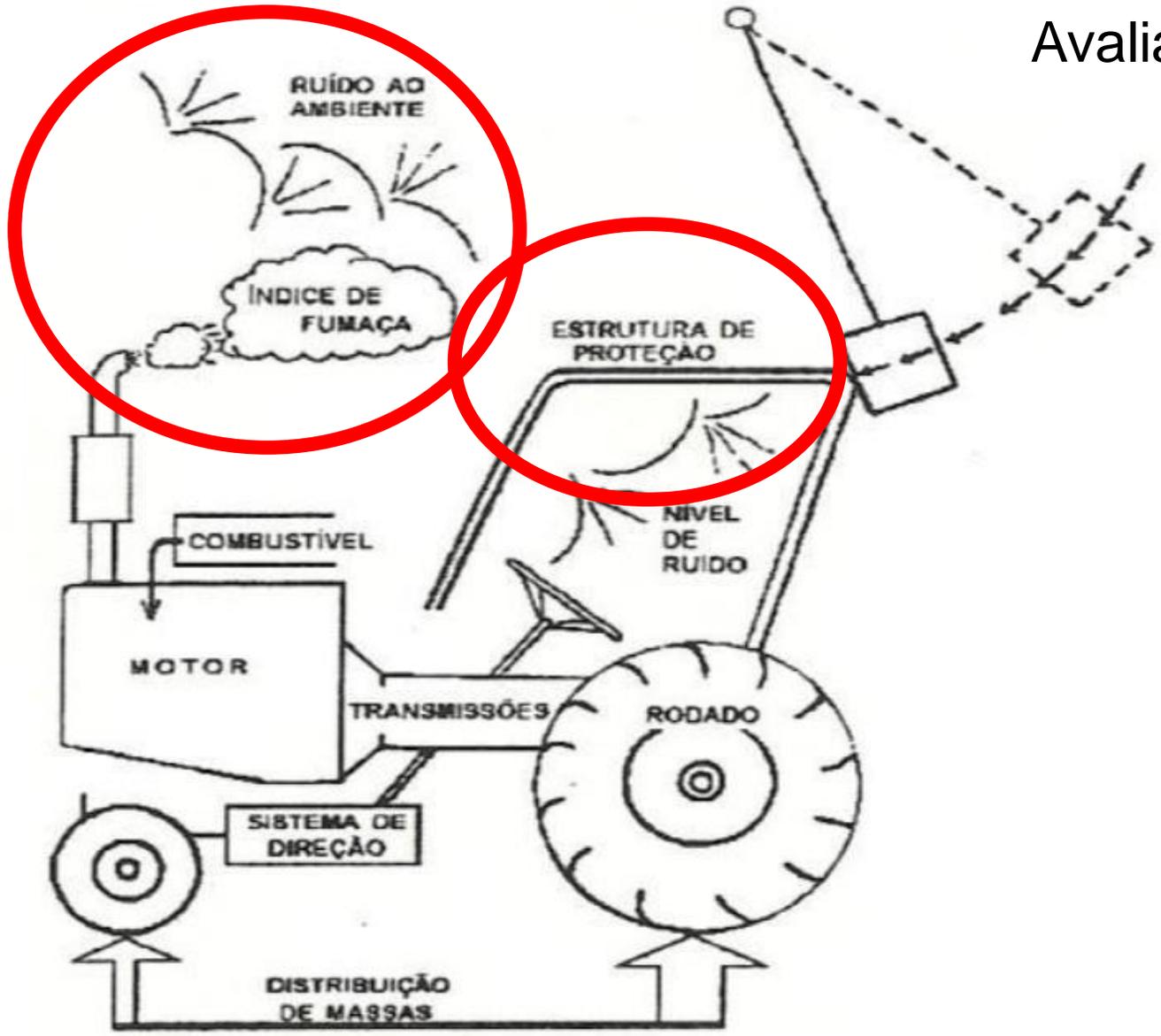
Desempenho efetivo – sob condições de ensaio, reflete um dado comportamento da máquina sob ação de um conjunto de condições pré-estabelecidas e especificadas em um método

Desempenho operacional – sob condições reais de operação, nas mãos do usuário

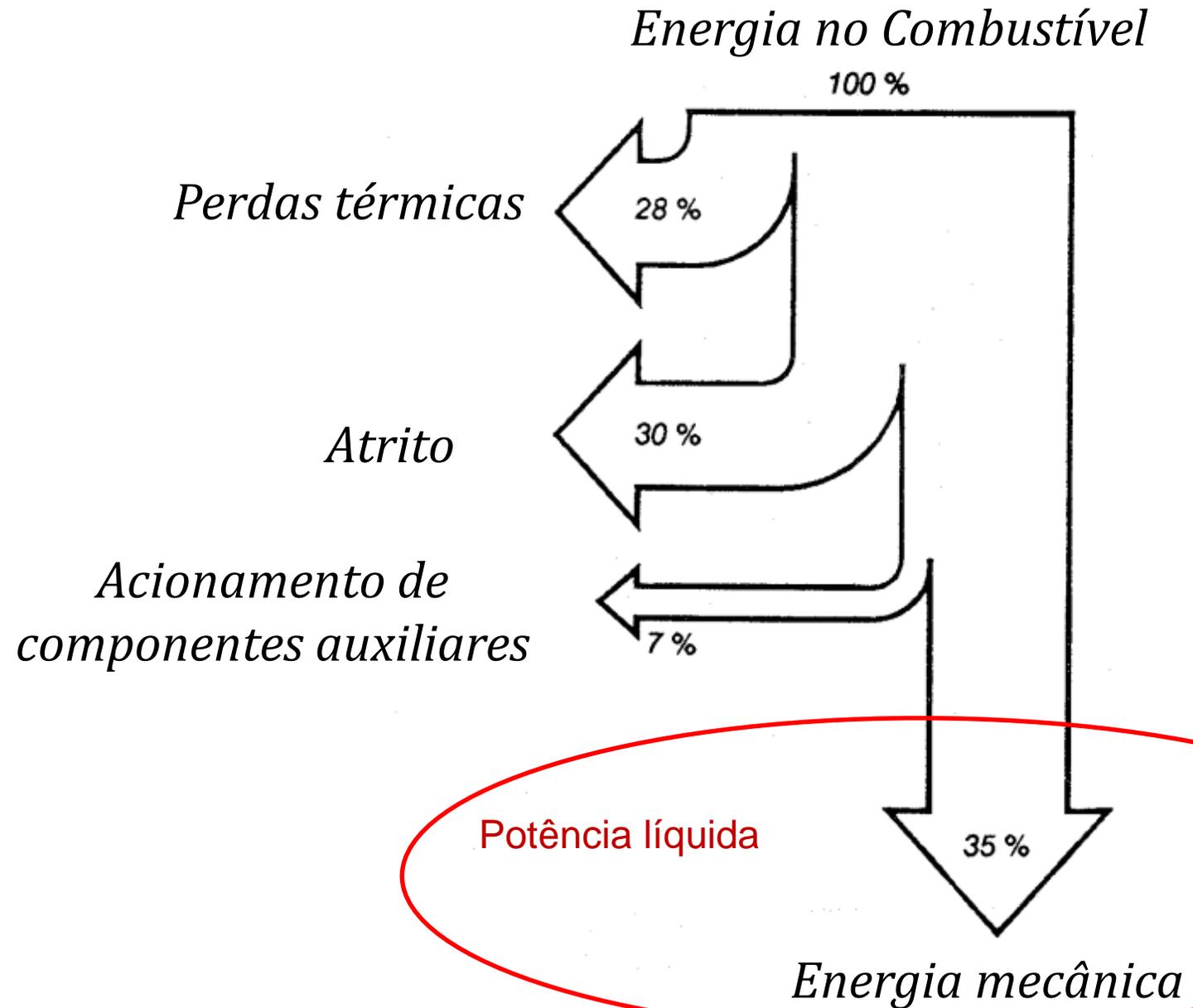
Avalia-se o desempenho...



Avalia-se o desempenho...



Rendimento de motores Diesel



Normas ensaio de motores...

- NBR ISO1585, potência líquida, 100%
- DIN 70020, potência líquida: 100%
- SAE J1995, potência bruta:111%
- ISO TR14396, potência bruta:107%
- SAE J1349, potência bruta:104%
- ECE R24; 80/1269/CEE , potência líquida, 100% emissão de poluentes



ESPECIFICAÇÕES MF 250 XE

PERFORMANCE	ISO TR14396	SAE J1995
Potência do motor, na rotação nominal - cv (kW)	50 (37)	52,5 (38,85)
Potência máxima na TDP - cv(Kw)	41 (30,2)	43,05 (31,71)
Torque máximo no motor @ 1500 rpm - Nm (mkgf)	167 (17)	175,35 (17,85)
Rotação nominal do motor - rpm	2250	2250
MOTOR		
Modelo / Marca	TII S 325 / Simpson	
Número de cilindros	3	
Cilindrada - cm ³	2500	
Aspiração	Natural	
SISTEMA ELÉTRICO		
Alternador - A		
Plataformado	55	
Tensão - V	12	
Bateria - Ah	70	
EMBREAGEM		
Trator plataformado	Dupla	
Material do disco	Orgânico	
Diâmetro (transmissão / TDP) - mm	305 / 254	
TRANSMISSÃO		
Plataformado	8x2 Deslizante	
RODADOS		
Dianteiro	Traseiro	
4x2 6.00-16F2	14.9-24R1	
4x2 6.00-16F2	12.4-28R1	
4x4 8.3-24R1	14.9-24R2	
4x4 8.00-18R1	12.4-28R1	
4x4 8.00-18R1	14.9-24R1	
TOMADA DE POTÊNCIA		
Tipo	Dependente / Independente	
Rotação nominal da TDP (motor 1900 rpm) - rpm	540	



ESPECIFICAÇÕES MF 8690

PERFORMANCE	ISO TR14396	SAE J1995
Potência máxima a 2.000 rpm - cv (kW)	370 (272)	388 (285,3)
Potencia maxima da TDP - cv (kW)	333 (200)	349 (256,8)
Torque motor máx no motor @ 1.400 rpm - Nm (mkgf)	1540 (157)	1617 (165)
MOTOR		
Marca	AGCO POWER	
Número de cilindros	6	
Cilindradas (cm ³)	8400	
Aspiração	Turbo aftercooler	
TRANSMISSÃO		
Tipo	Dyna-VT com Power Control: Transmissão variável contínua progressiva com gestão de trator dinâmica (DTM)	
Faixa de velocidades para campo	0,03 – 28 km/h a frente e de 0,03 km/h – 16 km/h a ré	
Faixa de velocidades para transporte	0-40 km/h a frente e de 0,03 km/h – 38 km/h a ré	
TOMADA DE FORÇA		
Funcionamento e controle	Independente, acionamento eletrohidráulico com controle de ativação/desativação, montado no suporte de braço e para-lamas traseiro com automatização de cabeceira	
REGIME DE TDP A RPM DO MOTOR		
Rotação nominal na TDP	540E / 1.000	

Desempenho de tratores - métodos padronizados

Códigos OCDE

- 2) **Desempenho de tratores**
- 3) Resistência de estruturas de proteção – Teste dinâmico
- 4) Resistência de estruturas de proteção – Teste estático
- 5) Ruídos na posição do operador

No Brasil

Code 2 = NBR 10400 – Tratores agrícolas – determinação das características técnicas e desempenho

Code 5 = NBR 9999 - Medição do nível de ruído, no posto de operação, de tratores e máquinas agrícolas – Procedimento

Pontos Importantes (para LER!)

- Para selecionar o trator adequado à realização de determinada operação há métodos que permitem avaliar seu desempenho.
- Os pontos chave, definidores do desempenho dos tratores são aqueles que permitem avaliar a potência disponibilizada e sua eficiência no uso do combustível.
- Métodos padronizados devem ser utilizados para que se possa realizar a comparação entre equipamentos e entre um equipamento e valores de referência.
- Há mais de uma norma para caracterizar o desempenho, sendo importante reconhecer as especificidades das normas, principalmente daquelas utilizadas para caracterizar a potência disponível.
- A potência líquida é aquela de interesse no caso dos tratores, mas alguns fabricantes podem especificar a potência bruta.
- A avaliação do desempenho, através de ensaios padronizados, é requisito para a comercialização de tratores e outras máquinas em alguns países. Valores de consumo de combustível, nível de ruído, emissão de gases e particulados são exemplos de parâmetros levantados em ensaios padronizados que são comparados com valores de referência da legislação vigente – permitindo ou não sua comercialização.

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais

Tomada de medidas

Cálculo do centro de gravidade

2. Desempenho do Motor

Avaliação na tomada-de-potência

3. Desempenho do Conjunto

Avaliação em ensaios de pista

4. Sistema Hidráulico

4. Força de Levantamento

5. Potência Hidráulica

5. Desempenho em Solo

6. Exemplos de Resultados

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais

Tomada de medidas

Cálculo do centro de gravidade

2. Desempenho do Motor

Avaliação na tomada-de-potência

3. Desempenho do Conjunto

Avaliação em ensaios de pista

4. Sistema Hidráulico

4. Força de Levantamento

5. Potência Hidráulica

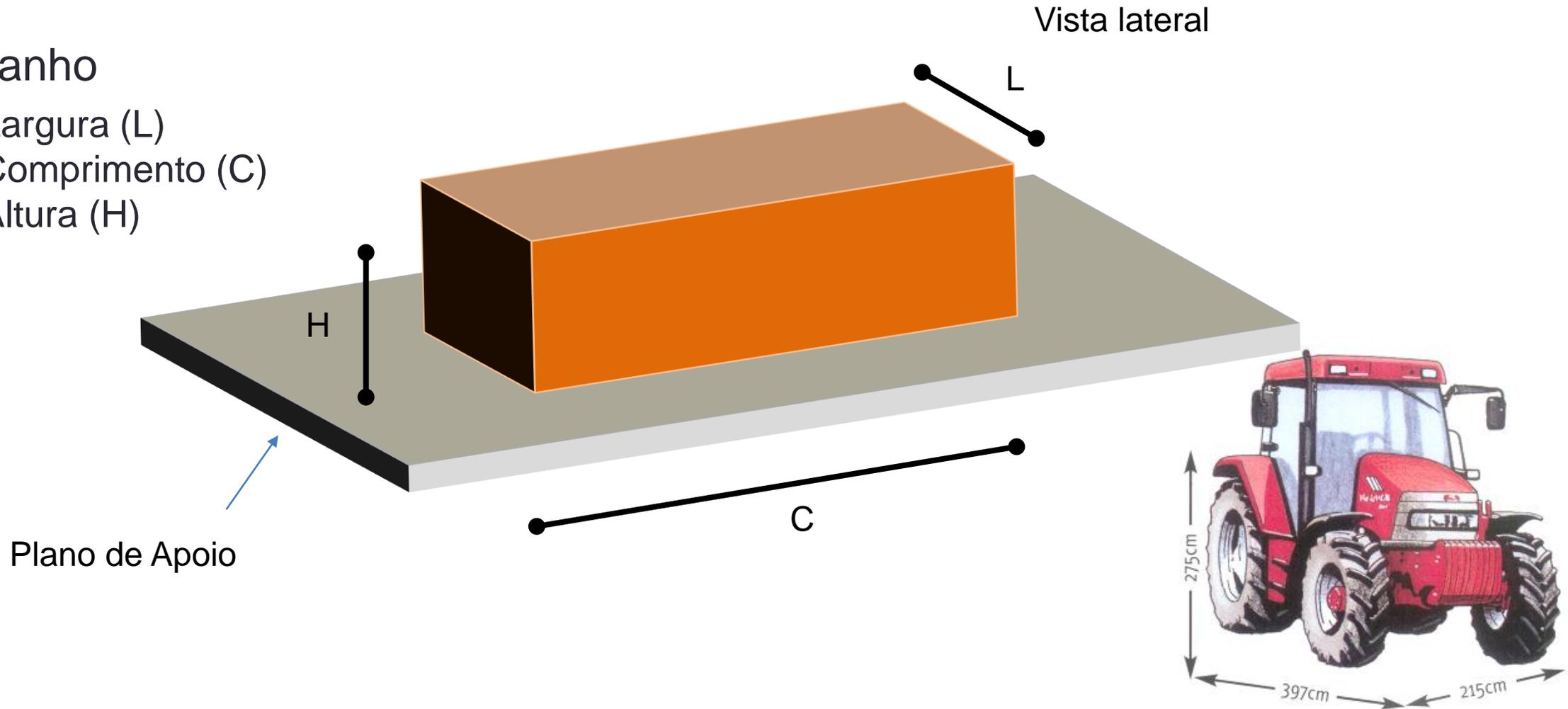
5. Desempenho em Solo

6. Exemplos de Resultados

Características dimensionais

- Tamanho

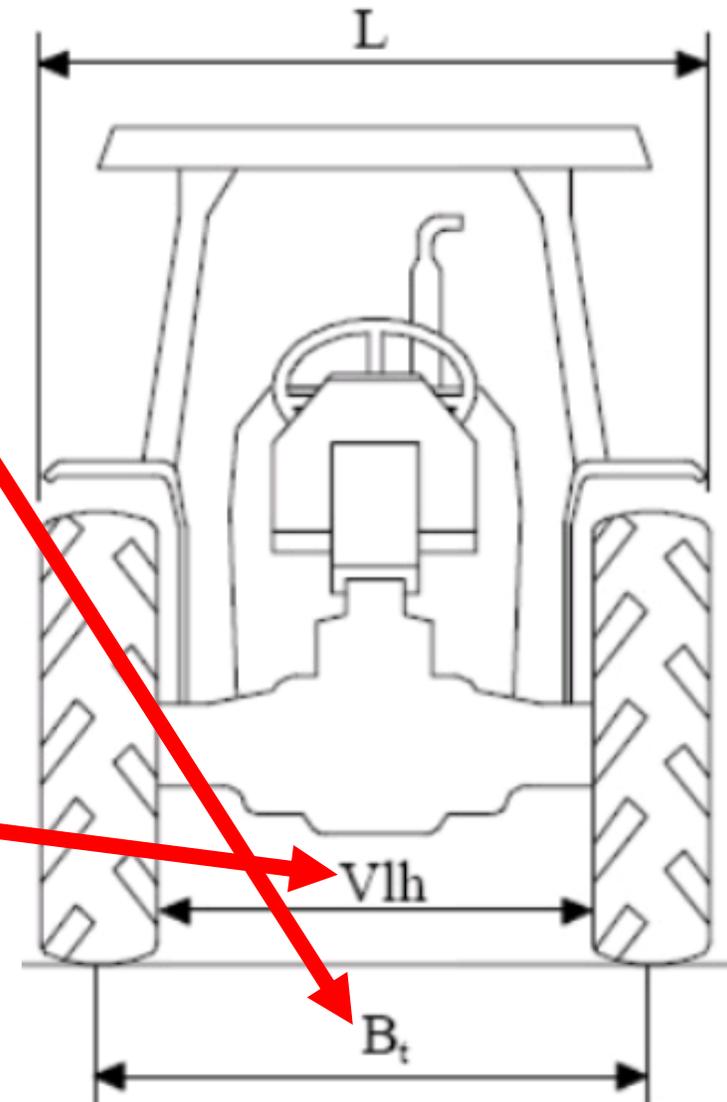
- Largura (L)
- Comprimento (C)
- Altura (H)



Configuração geométrica

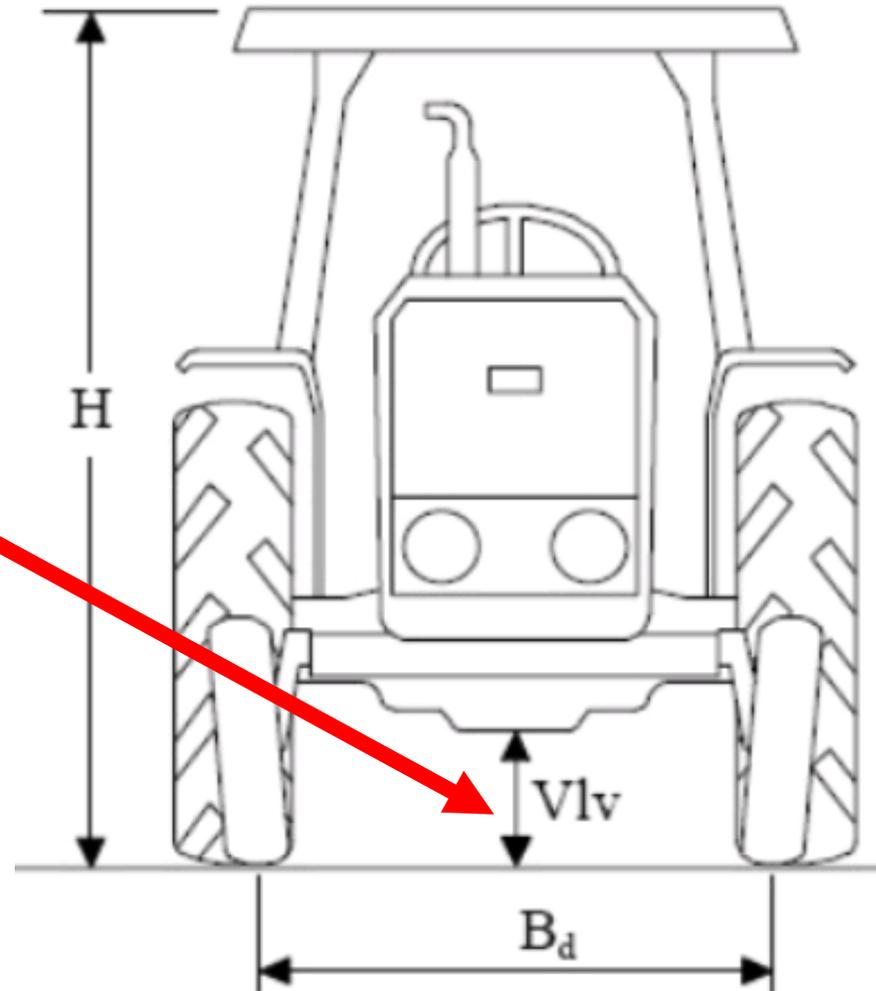
Bitola: distância entre os dois pontos gerados sobre o plano de apoio da máquina pela interseção deste com os planos médios das rodas de um mesmo eixo e o plano transversal das mesmas rodas

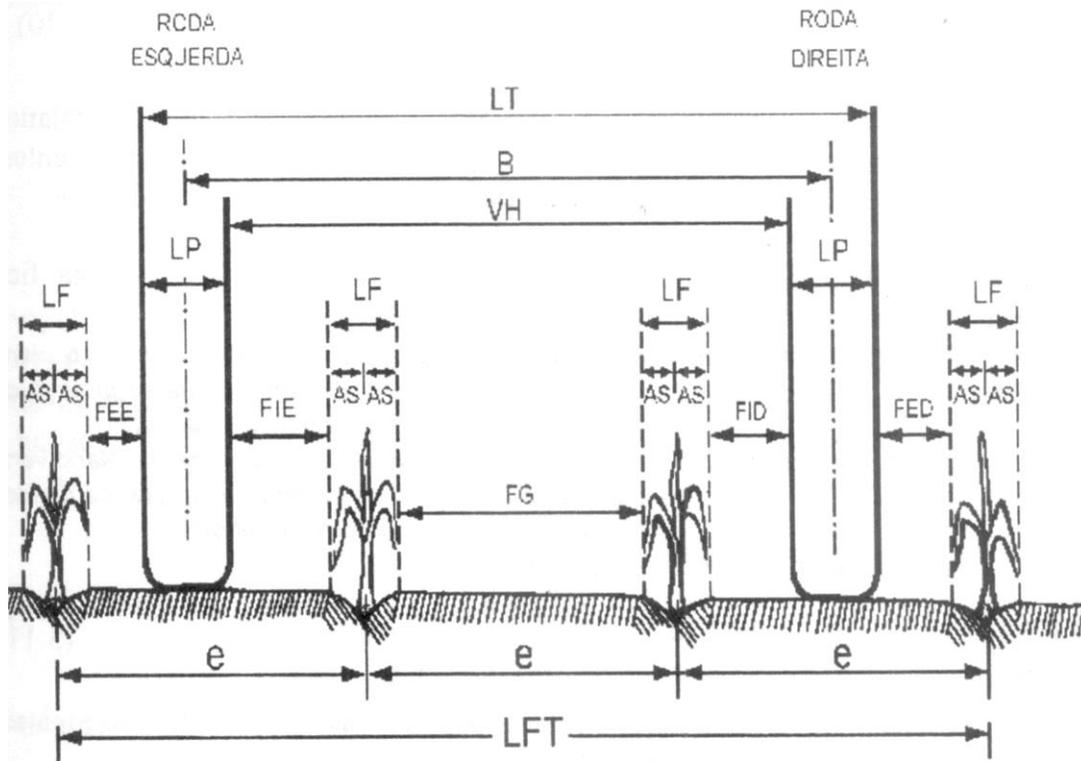
Vão livre horizontal: distância entre dois planos paralelos ao plano médio longitudinal e tangentes aos pontos mais internos dos rodados



Configuração geométrica

Vão livre vertical: distância entre o plano de apoio e o ponto mais baixo da parte central do trator





MIALHE, 1996

Largura da faixa de tráfego – LFT

Afastamento de segurança – AS

Largura da fileira – LF

Folga geral entre fileiras – FG

Folga externa – FE

Folga externa esquerda – FEE

Folga externa direita - FED

Folga interna – FI

Folga interna esquerda – FIE

Folga interna direita - FID

Largura do pneu – LP

Valtra BH 160

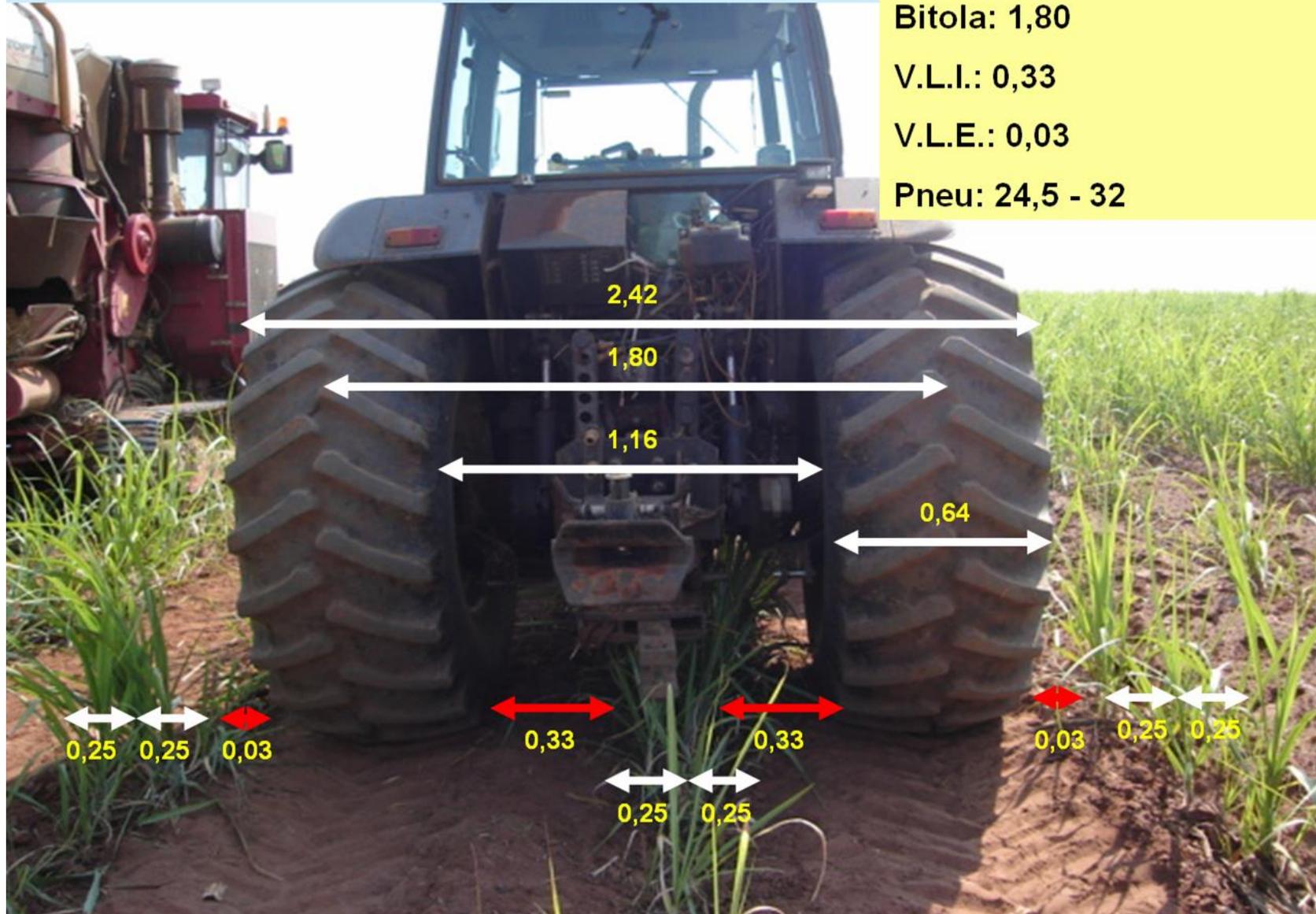
Trator: Rodados traseiros

Bitola: 1,80

V.L.I.: 0,33

V.L.E.: 0,03

Pneu: 24,5 - 32



Agrishow 2016



Agrishow 2013



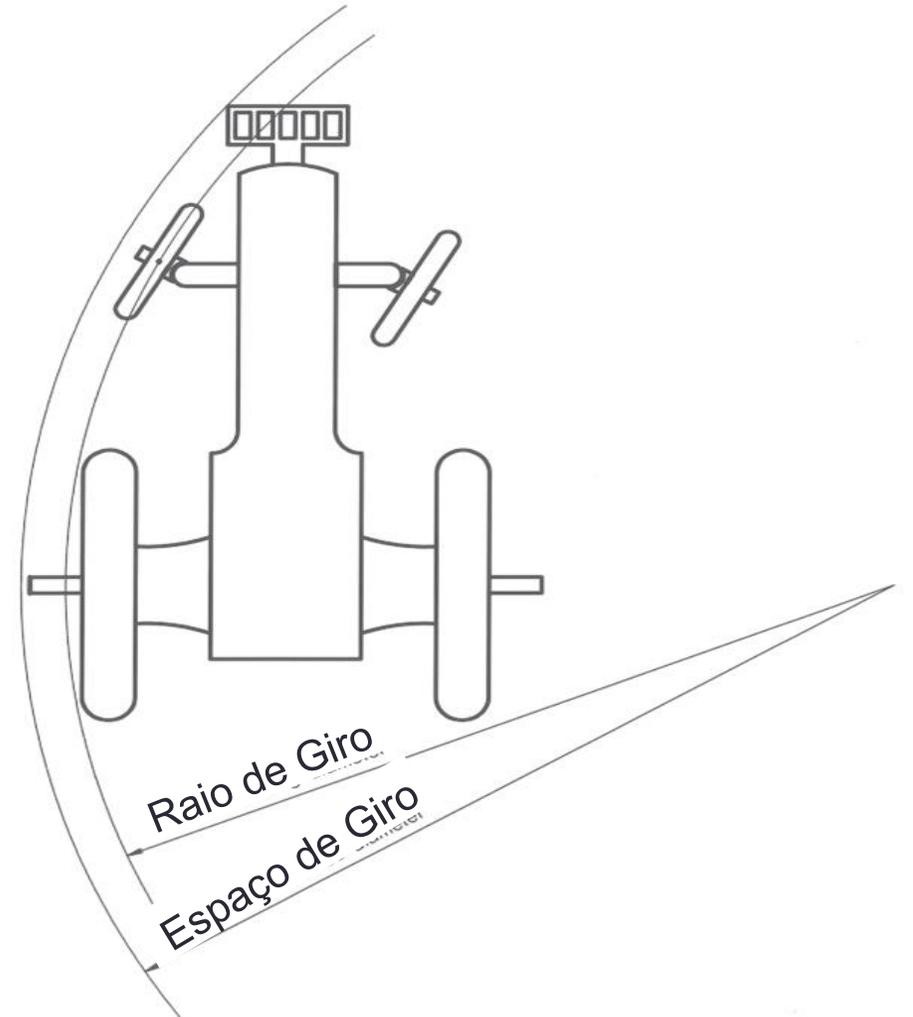
Configuração geométrica

Raio de Giro: raio do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da **roda mais externa do trator**, com o plano de apoio, em nível, sobre o qual a máquina desloca-se em círculo com o volante de direção totalmente esterçado à direita ou à esquerda, com os freios direcionais aplicados ou não.

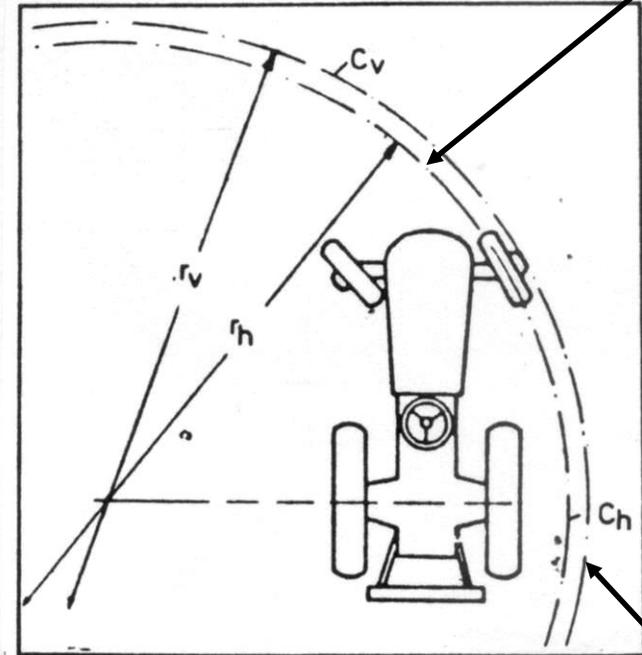


Configuração geométrica

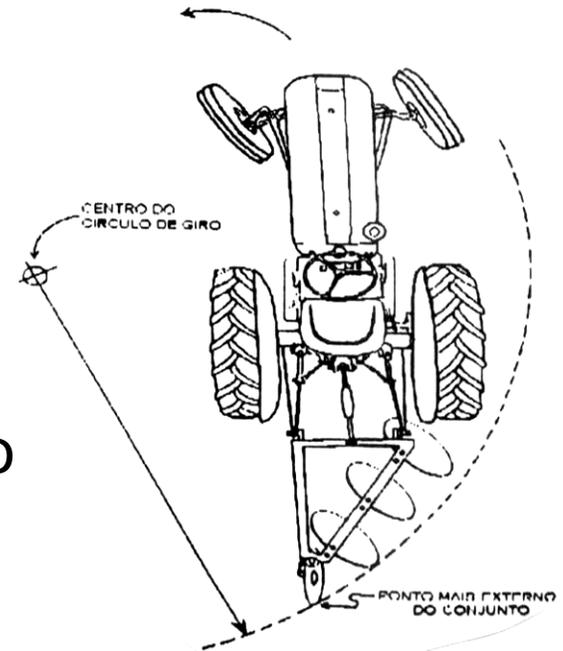
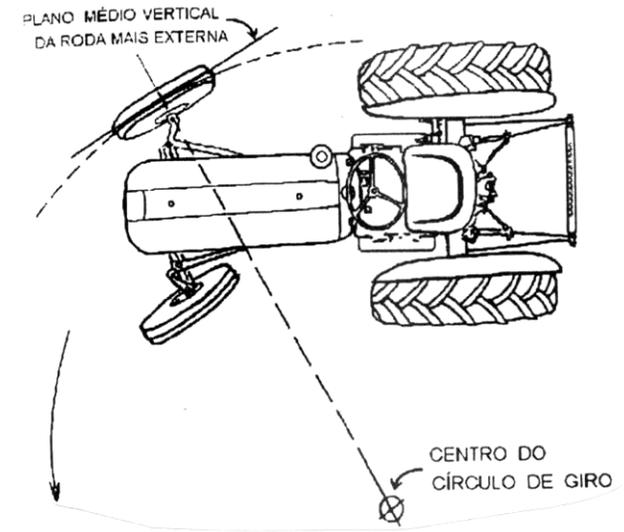
Espaço de Giro: espaço circular expresso através do raio de sua circunferência como raio do espaço de giro, delimitado pelo deslocamento do ponto de intersecção da perpendicular baixada **pelo ponto mais externo do trator** com o plano de apoio em nível, sobre o qual o espécime desloca-se em condições idênticas às definidas para o espaço de giro

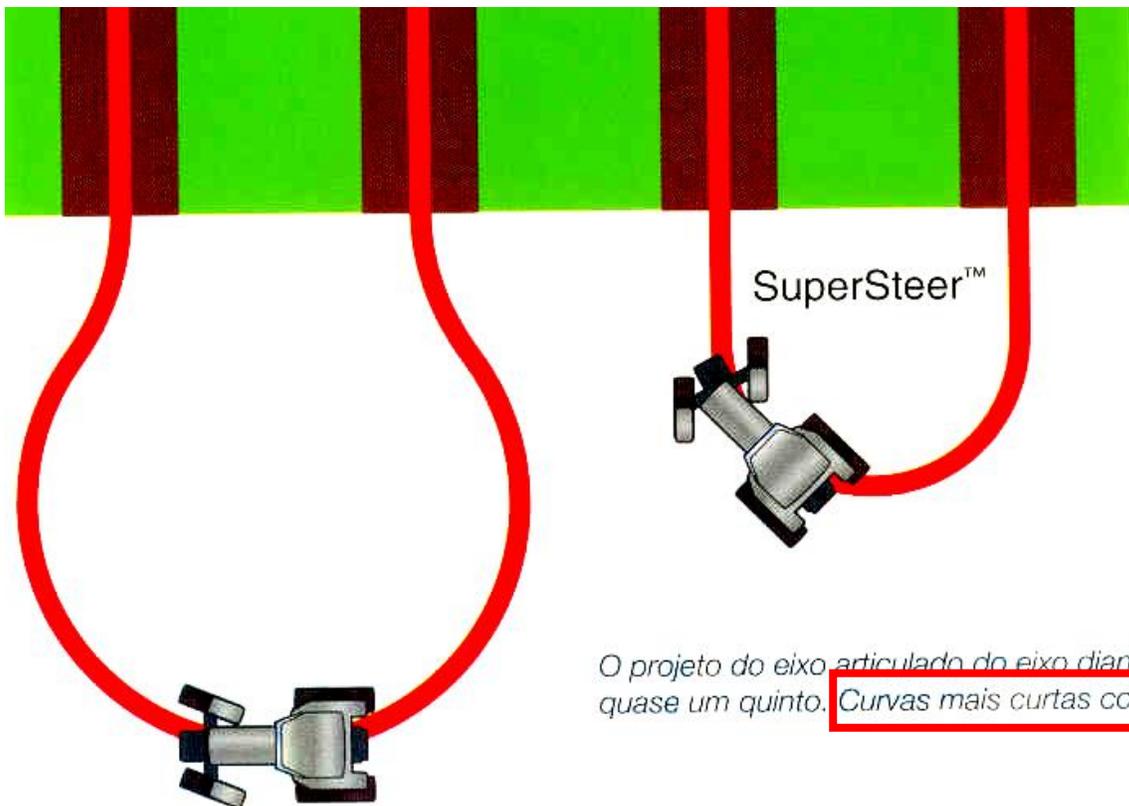


Raio de giro



Espaço de giro





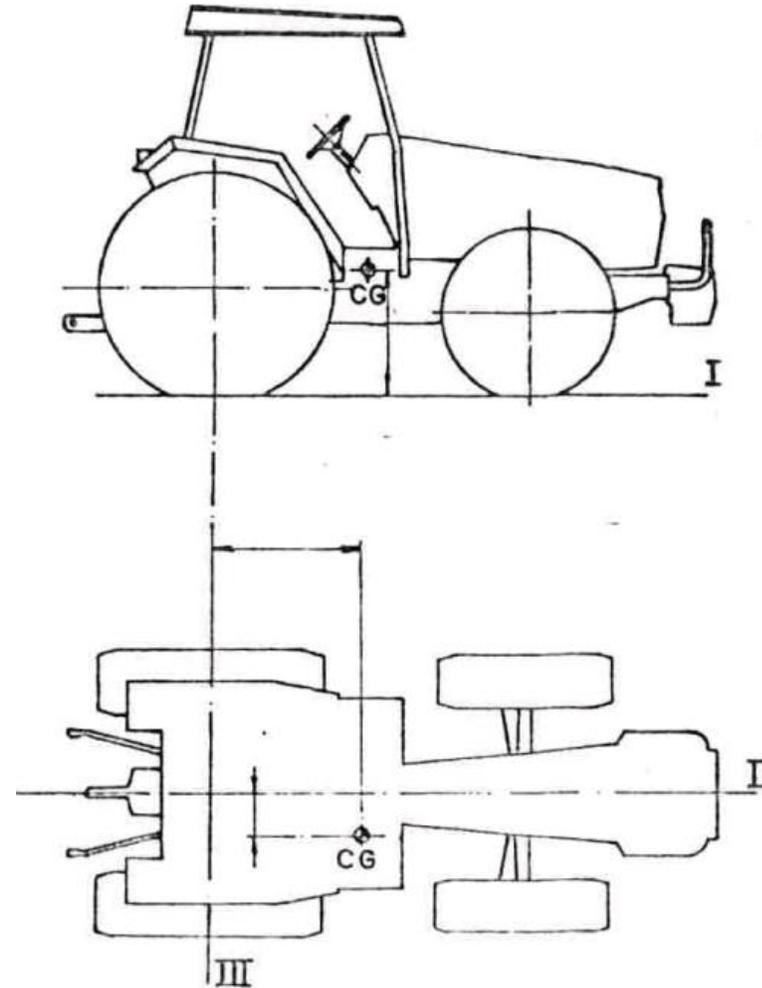
Os pesos dianteiros fazem parte do eixo SuperSteer, articulando-se ao se mudar a direção para permitir maior folga para a roda externa.

O projeto do eixo articulado do eixo dianteiro SuperSteer reduz os raios de giro em quase um quinto. **Curvas mais curtas com retorno mais rápido ao trabalho.**



Características Ponderais

- Massa do trator
 - Com e sem lastro
- Massa dianteira
 - Com e sem lastro
- Massa traseira
 - Com e sem lastro
- Massa dos lastros
 - Dianteiros;
 - Nas rodas traseiras;
 - Nas rodas dianteiras
- Centro de gravidade



Pontos Importantes (para LER!)

- Os valores caracterizados das dimensões e pesos dos tratores são mensurados seguindo um padrão.
- Alguns dos parâmetros são importantes para compreender o espaço ocupado pelo trator seja em transporte seja no galpão: comprimento, largura, altura.
- Alguns dos parâmetros permitem a compreensão do desempenho durante a operação em campo: raio e espaço de giro, bitola, vãos livres. Por exemplo em ambientes com pouco espaço pode ser mais importante o espaço de giro que a potência ou mesmo o consumo de combustível, quando da seleção do trator.
- O peso e a sua distribuição, com e sem o emprego de lastros é relevante para compreender a possibilidade de adequação do trator em função do tipo de operação. Por exemplo tratores que realizam apenas operações que exigem esforço em tração podem ter menor flexibilidade que aqueles que fazem diversos tipos de operação.

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais

Tomada de medidas

Cálculo do centro de gravidade

2. Desempenho do Motor

Avaliação na tomada-de-potência

3. Desempenho do Conjunto

Avaliação em ensaios de pista

4. Sistema Hidráulico

4. Força de Levantamento

5. Potência Hidráulica

5. Desempenho em Solo

6. Exemplos de Resultados

Desempenho do motor: TDP

Medidas

rotações, torque, consumo de combustível, temperaturas, pressão barométrica

Resultados na forma gráfica:

Potência em função da rotação (velocidade tangencial)

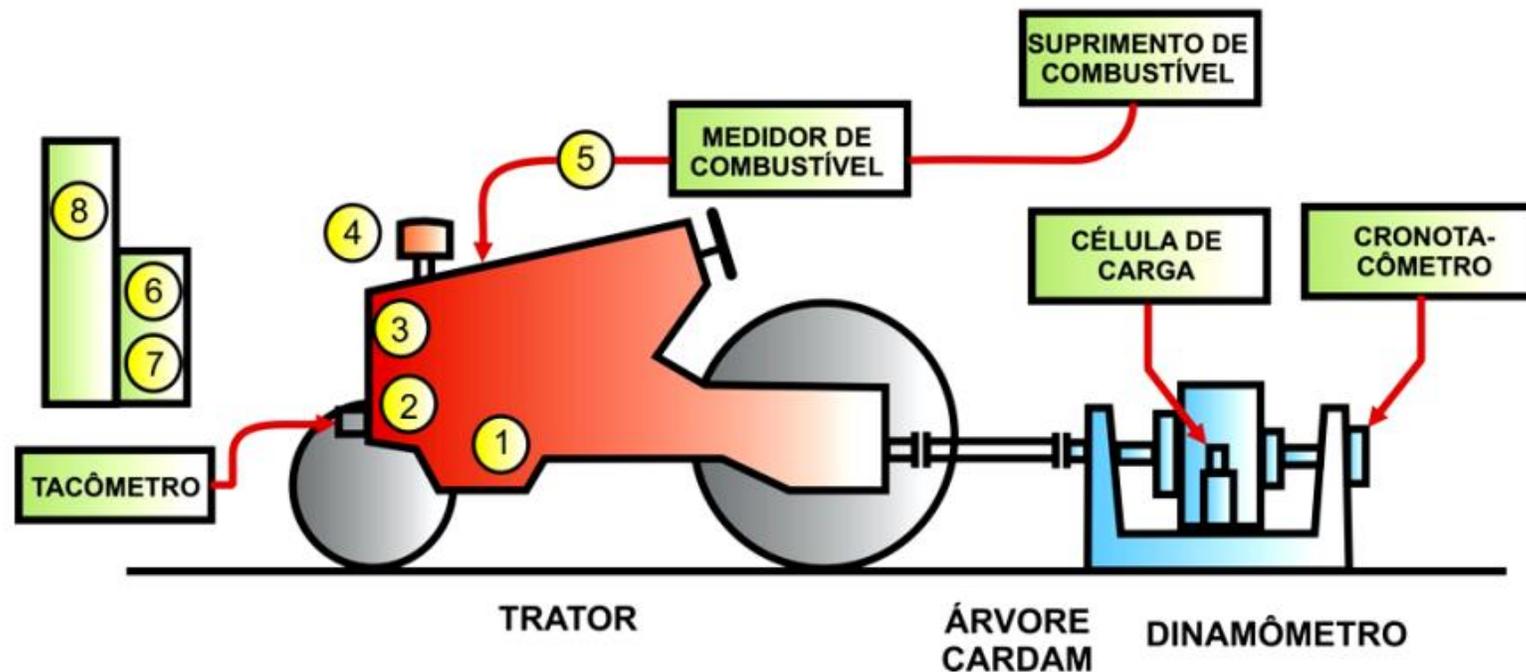
Torque na árvore de transmissão do motor

Consumo horário e específico em função da rotação

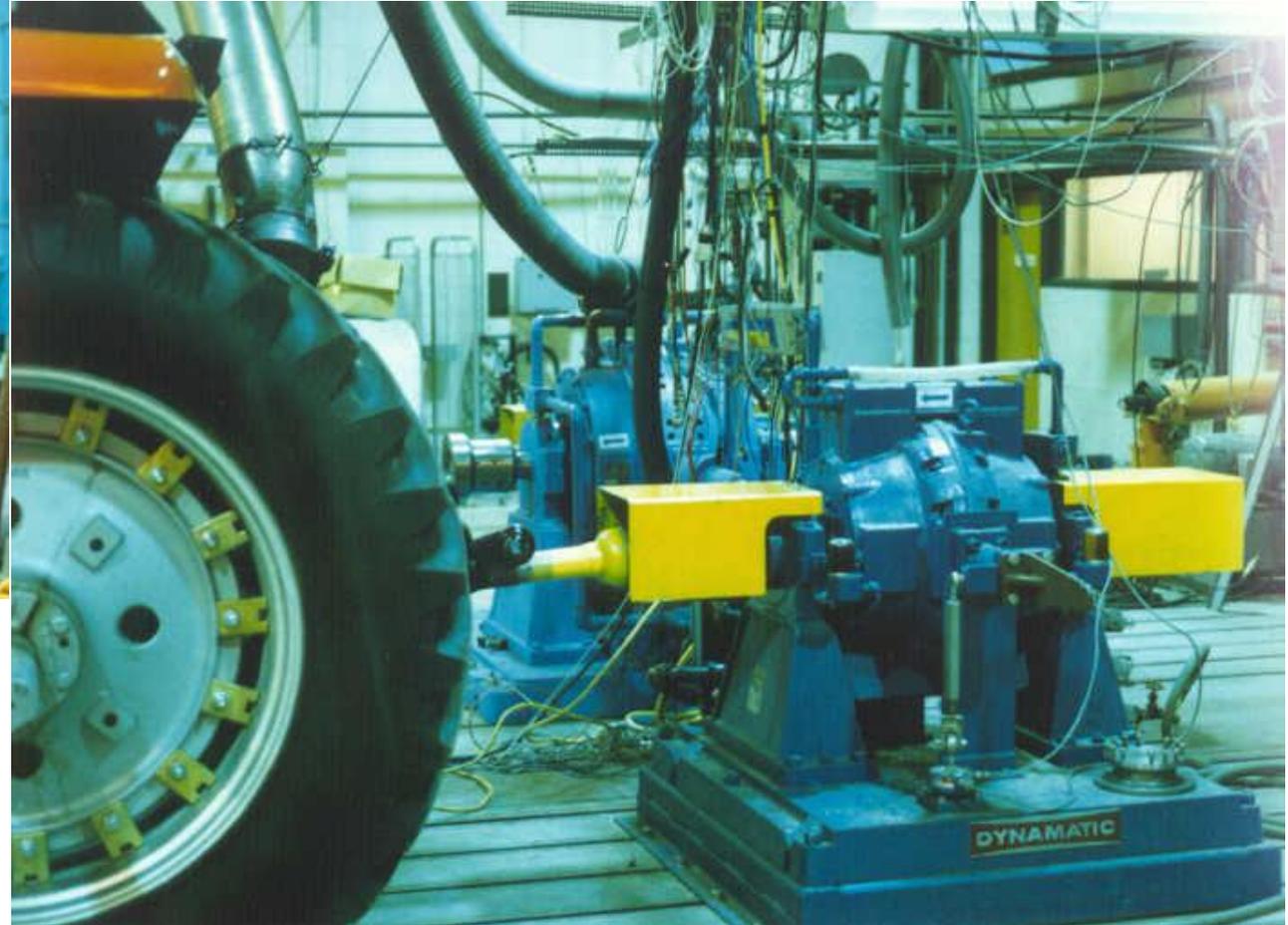
Consumo específico em função da potência

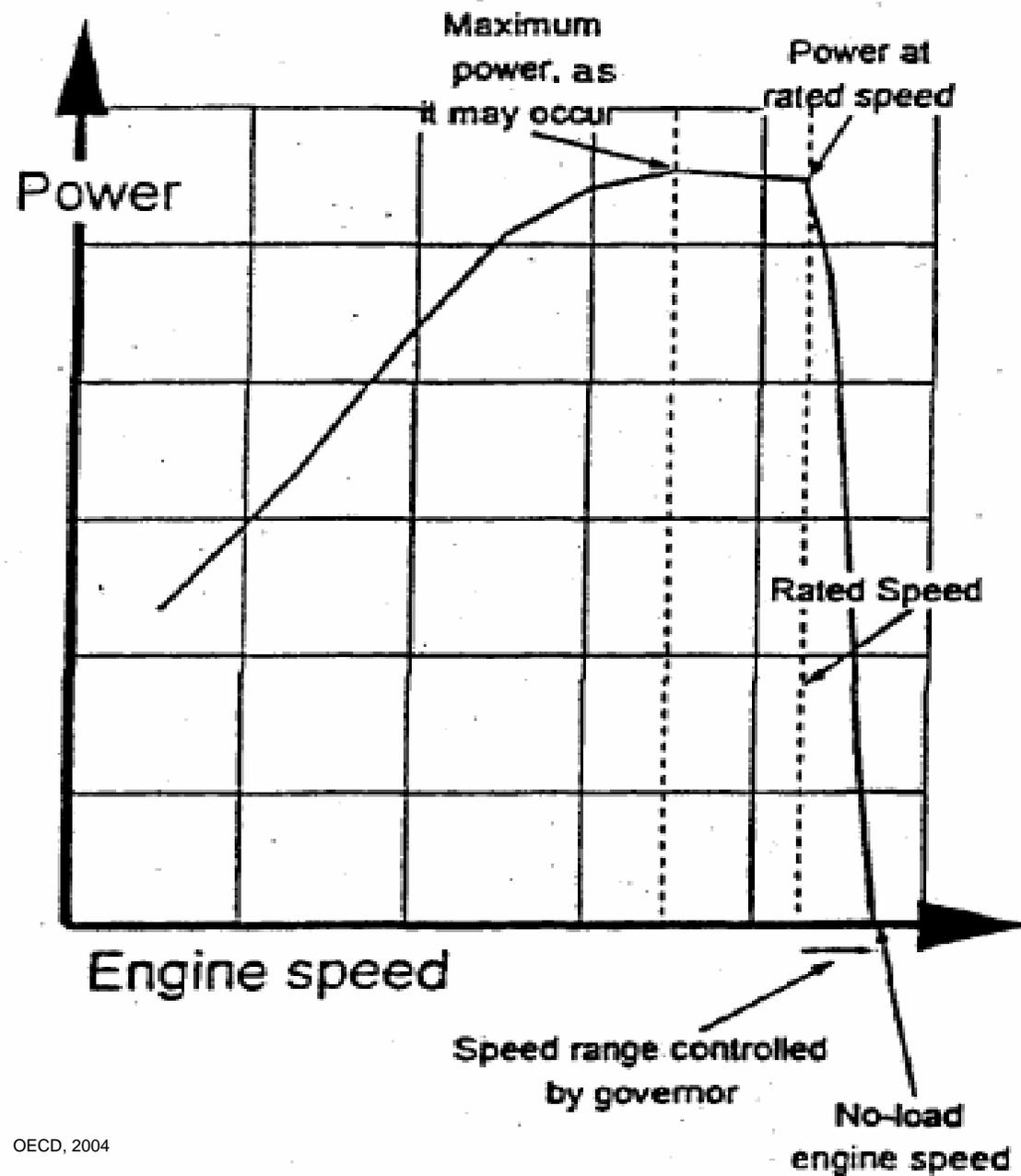
Desempenho do motor: TDP

- ① Temperatura do óleo do cárter
- ② ③ Temperaturas de entrada e saída da água de arrefecimento
- ④ Temperatura do ar de admissão
- ⑤ Temperatura do combustível
- ⑥ ⑦ Temperatura dos termômetros de bulbos seco e úmido
- ⑧ Barômetro

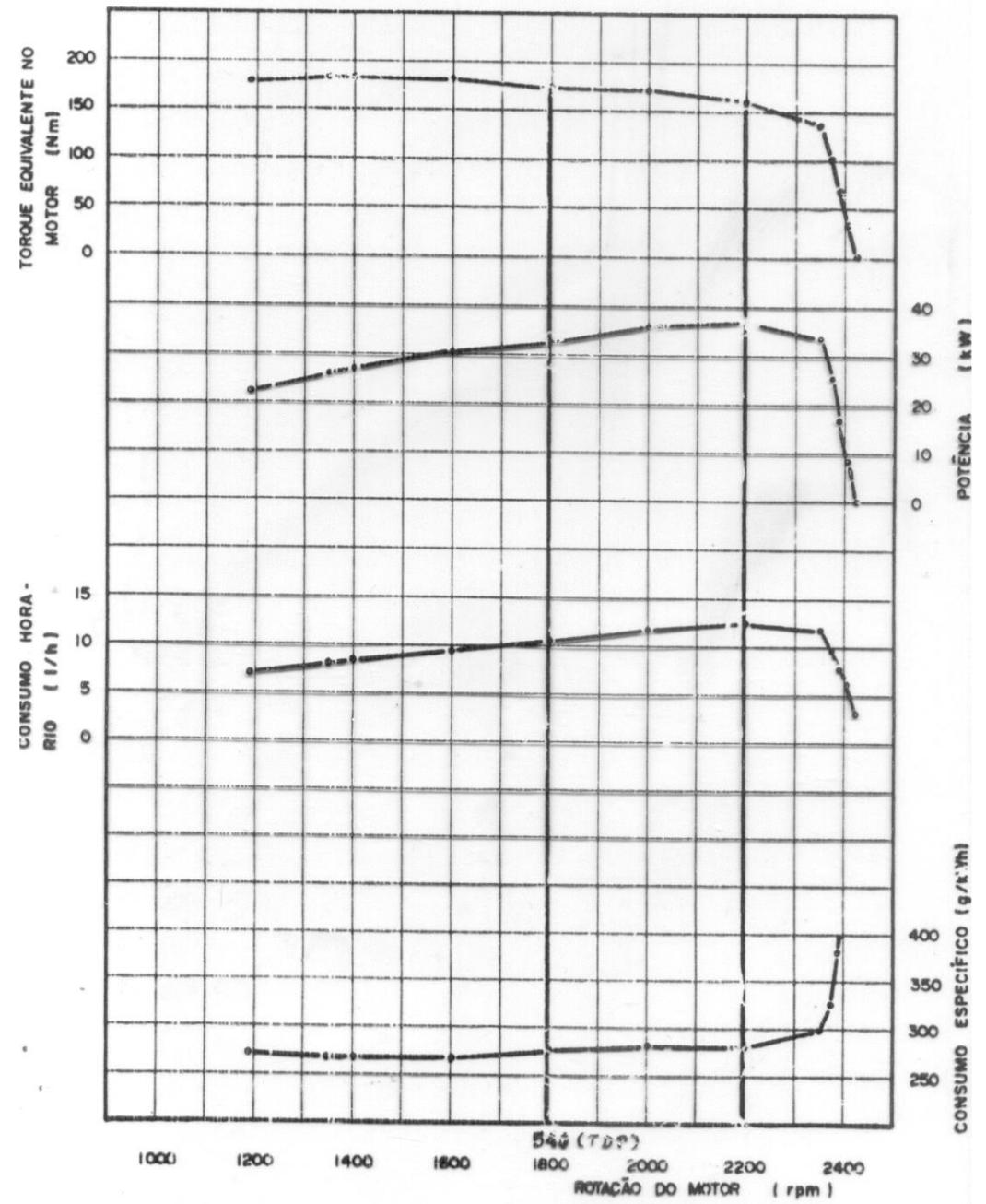
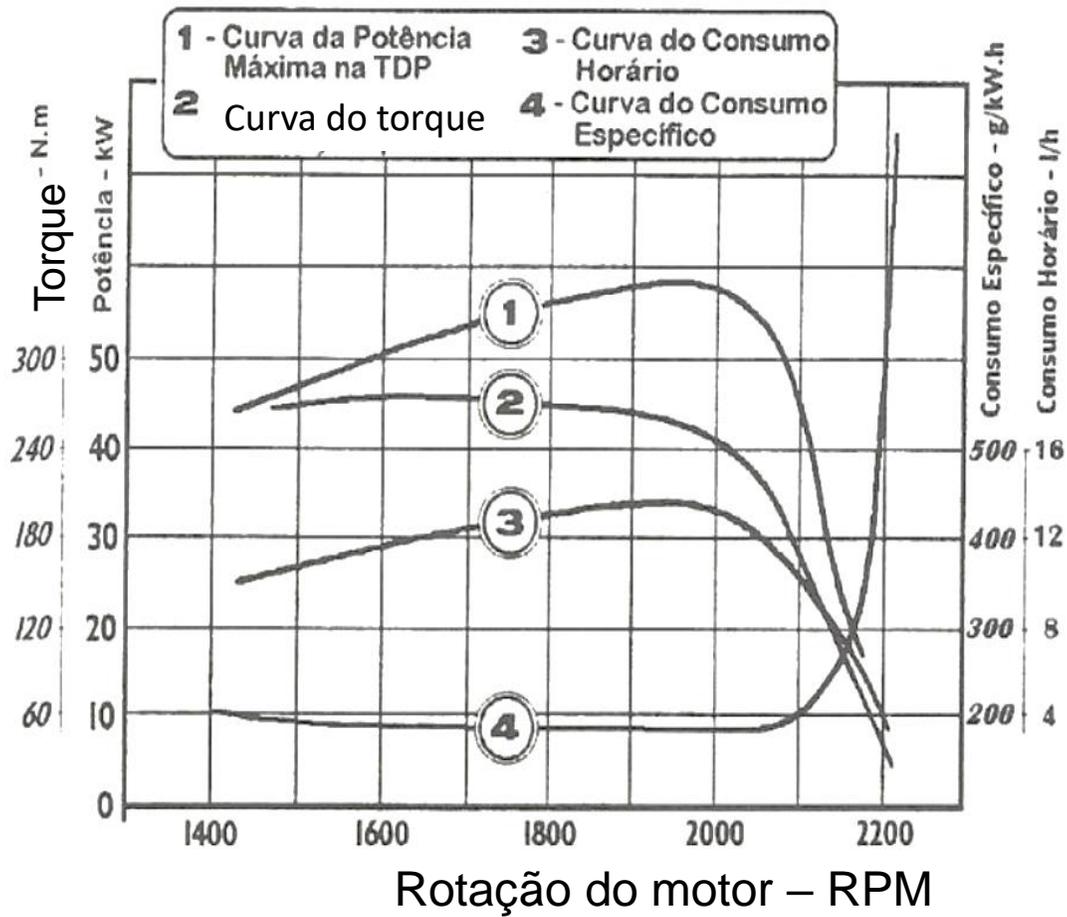


Tractor Test Lab, Universidade de Nebraska - Lincoln





OECD, 2004

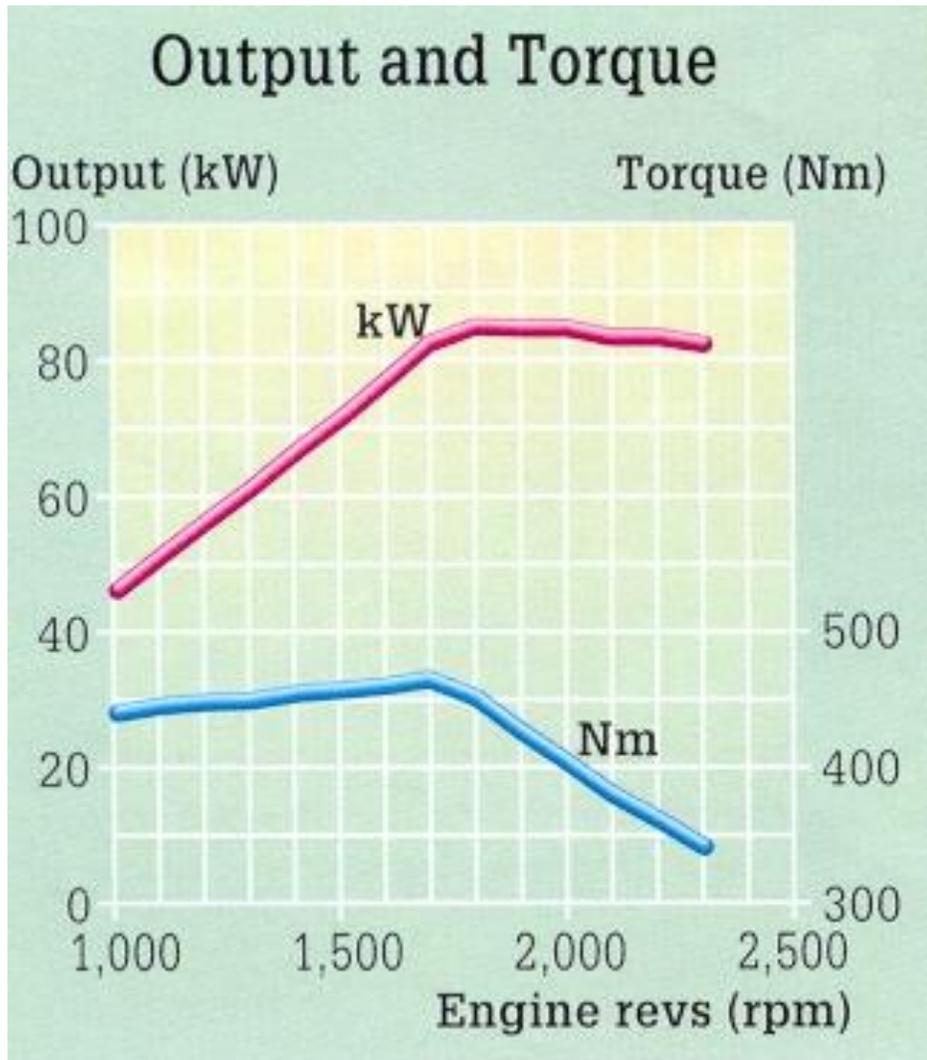


Desempenho do motor: TDP

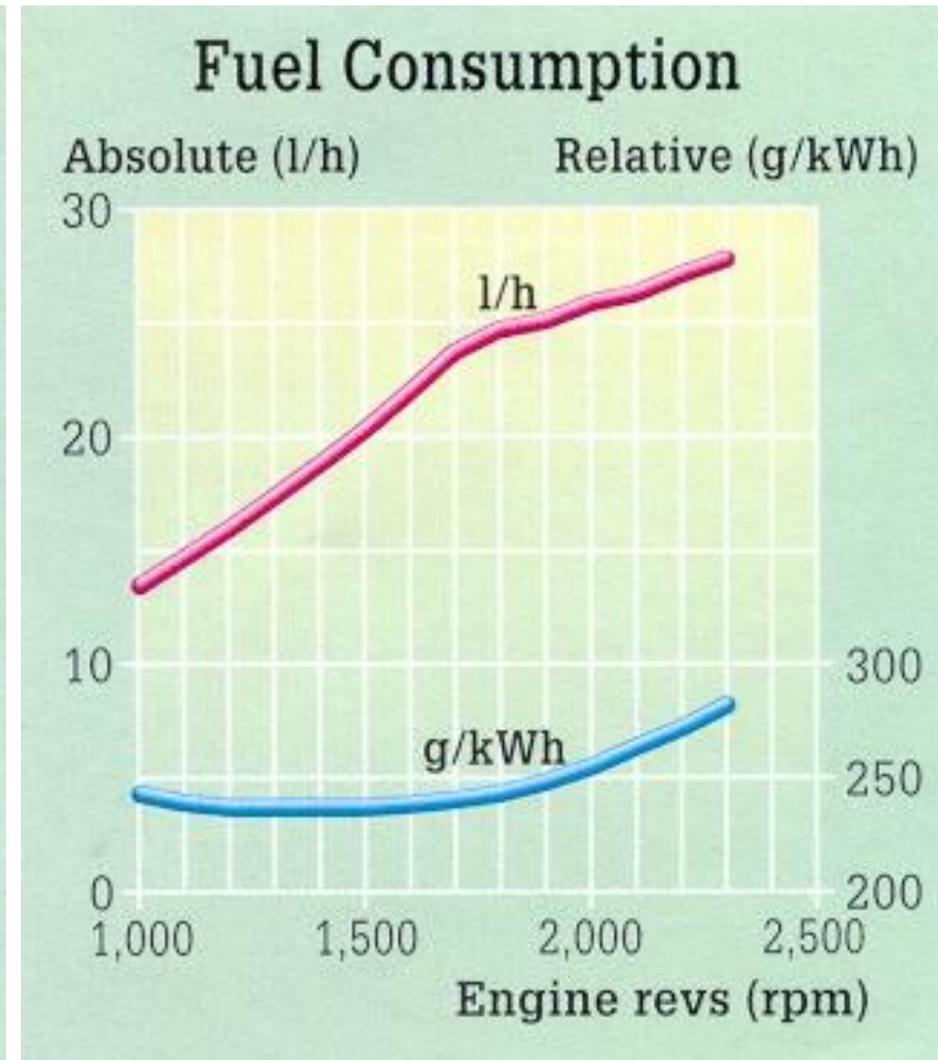
- **Consumo Horário (C_h):** em relação ao tempo, mensurado por instrumentos que compõem a bancada dinamométrica. Pode ser expresso em kg h^{-1} ou L h^{-1}
 - Cuidados com a mensuração volumétrica, pois a densidade é alterada com a temperatura – necessário registrar ambas
- **Consumo Específico (C_e):** em relação ao trabalho desenvolvido, obtido pela relação entre o consumo horário e a potência desenvolvida. Expresso em g kWh^{-1}

$$C_e = \frac{C_h * 1000}{H}$$

H = Potência, kW



Profi



Profi

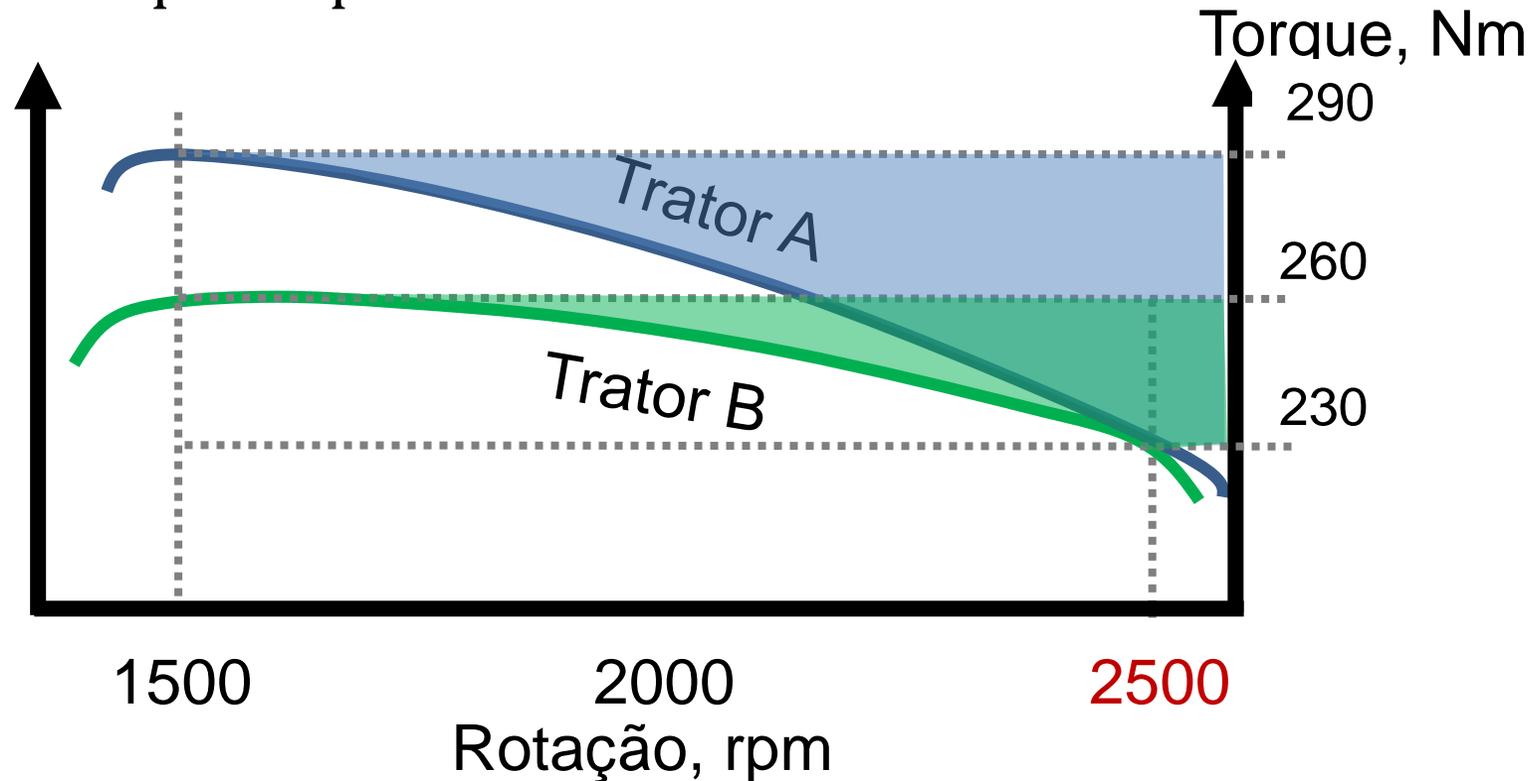
Reserva de torque → suportar carga momentânea

R_T = reserva de torque

T_{max} = torque máximo

TP_{max} = torque na potência máxima

$$R_T = \left(\frac{T_{max} - TP_{max}}{TP_{max}} \right) * 100$$



$$R_{TA} = 26\%$$

$$\left(\frac{290 - 230}{230} \right) * 100$$

$$R_{TB} = 13\%$$

$$\left(\frac{260 - 230}{230} \right) * 100$$

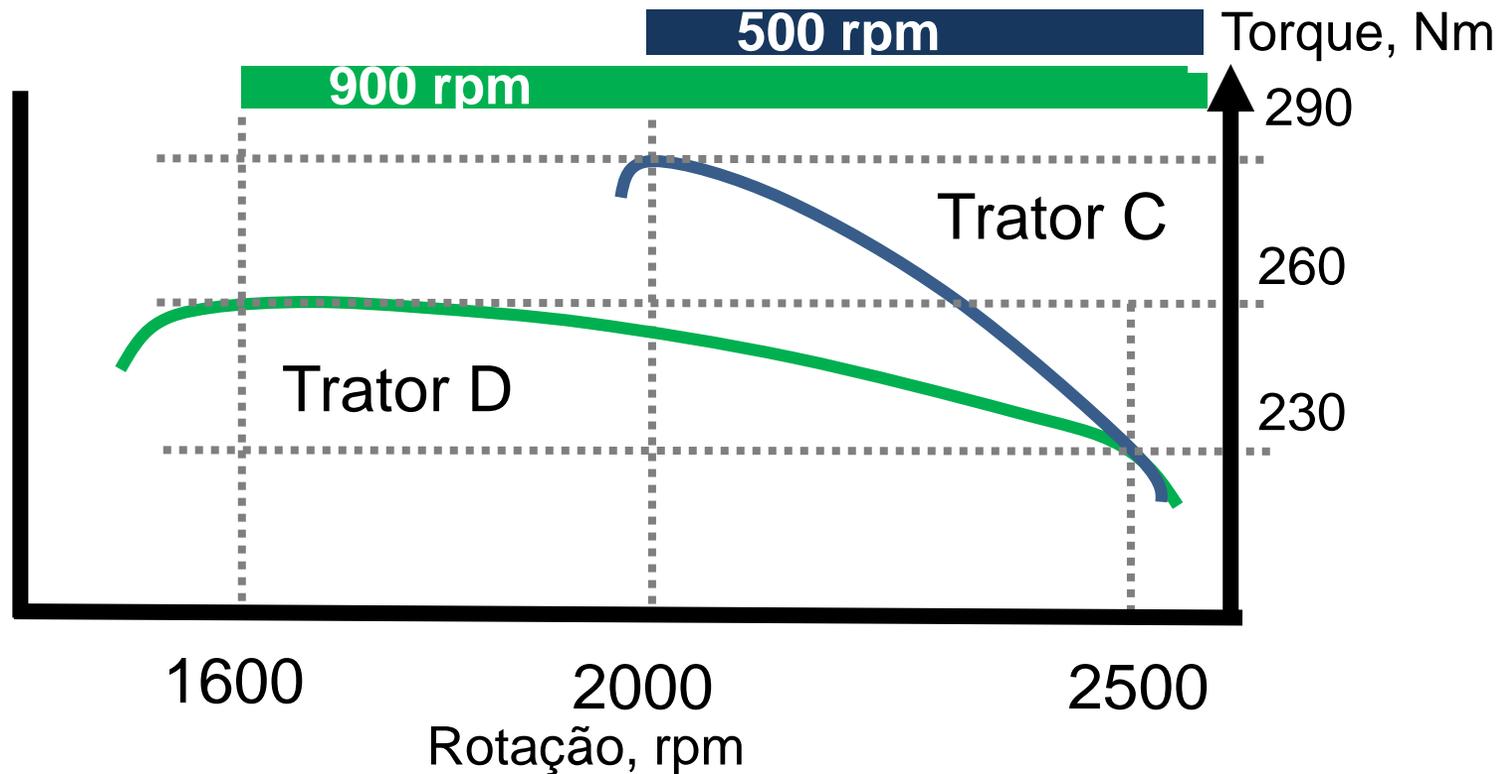
Reserva de rotação → flexibilidade em operações leves

R_R = reserva de rotação

RP_{max} = rotação de potência máxima

RT_{max} = rotação de torque máximo

$$R_R = \left(\frac{RP_{max} - RT_{max}}{RT_{max}} \right) * 100$$



$$R_{RC} = 25\%$$

$$\left(\frac{2500 - 2000}{2000} \right) * 100$$

$$R_{RD} = 56\%$$

$$\left(\frac{2500 - 1600}{1600} \right) * 100$$

Pontos Importantes (para LER!)

- O desempenho do motor é obtido por meio de mensurações realizadas na TDP.
- Além da rotação e da força, mensurada pelo dinamômetro, são determinados o consumo de combustível e as temperaturas.
- Medidas são realizadas em diversos regimes de operação, permitindo caracterizar a potência, torque e consumo simulando condições de uso em campo.
- Além dos parâmetros básicos é possível inferir sobre comportamento quando em regime variável de cargas: reserva de torque e reserva de rotação.

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais

Tomada de medidas

Cálculo do centro de gravidade

2. Desempenho do Motor

Avaliação na tomada-de-potência

3. Desempenho do Conjunto

Avaliação em ensaios de pista

4. Sistema Hidráulico

4. Força de Levantamento

5. Potência Hidráulica

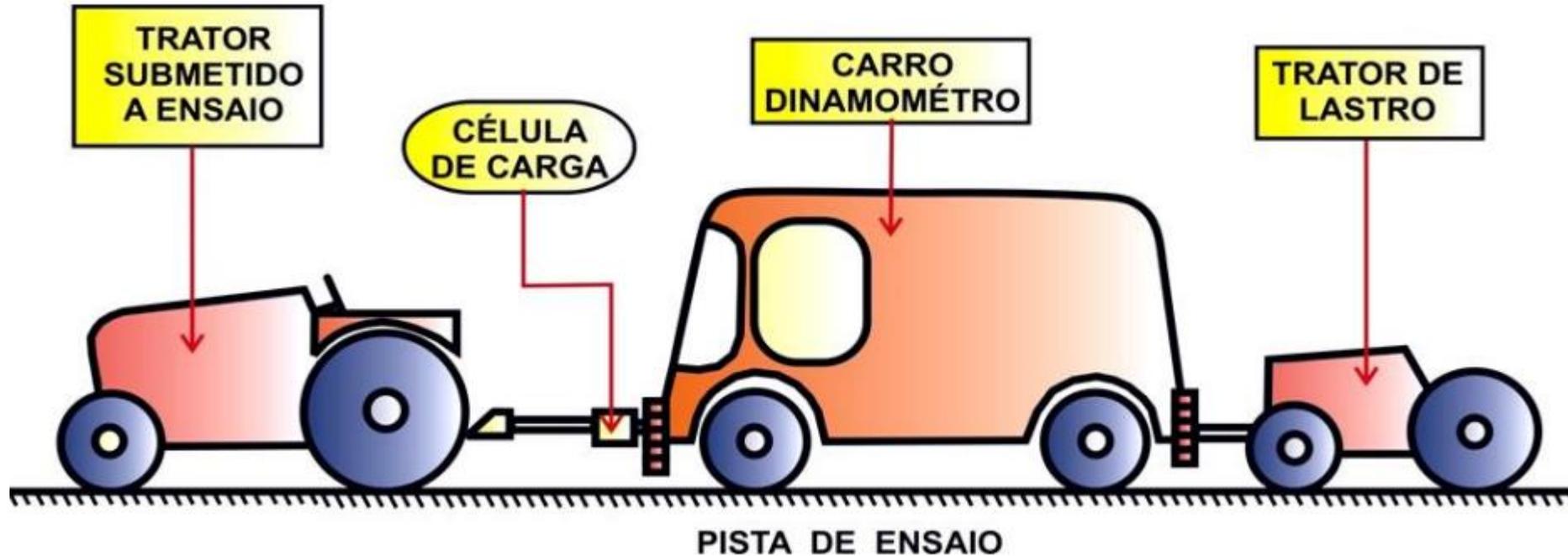
5. Desempenho em Solo

6. Exemplos de Resultados

Desempenho do conjunto: barra de tração

- Pista de concreto ou asfalto plana e sem remendos;
- Pneus novos;
- Linha de tração horizontal, respeitando limites de dirigibilidade;
- Testes com e sem lastragem de acordo com o especificado pelo fabricante e pressão de pneus segundo fabricante dos pneus;
- **Limite de patinagem** para tratores de rodas **15%**
- Marchas no intervalo entre 2,5 e 17 km h⁻¹
 - Em cada marcha, combinação de velocidade e torque que gere a maior potência

Desempenho do conjunto: barra de tração



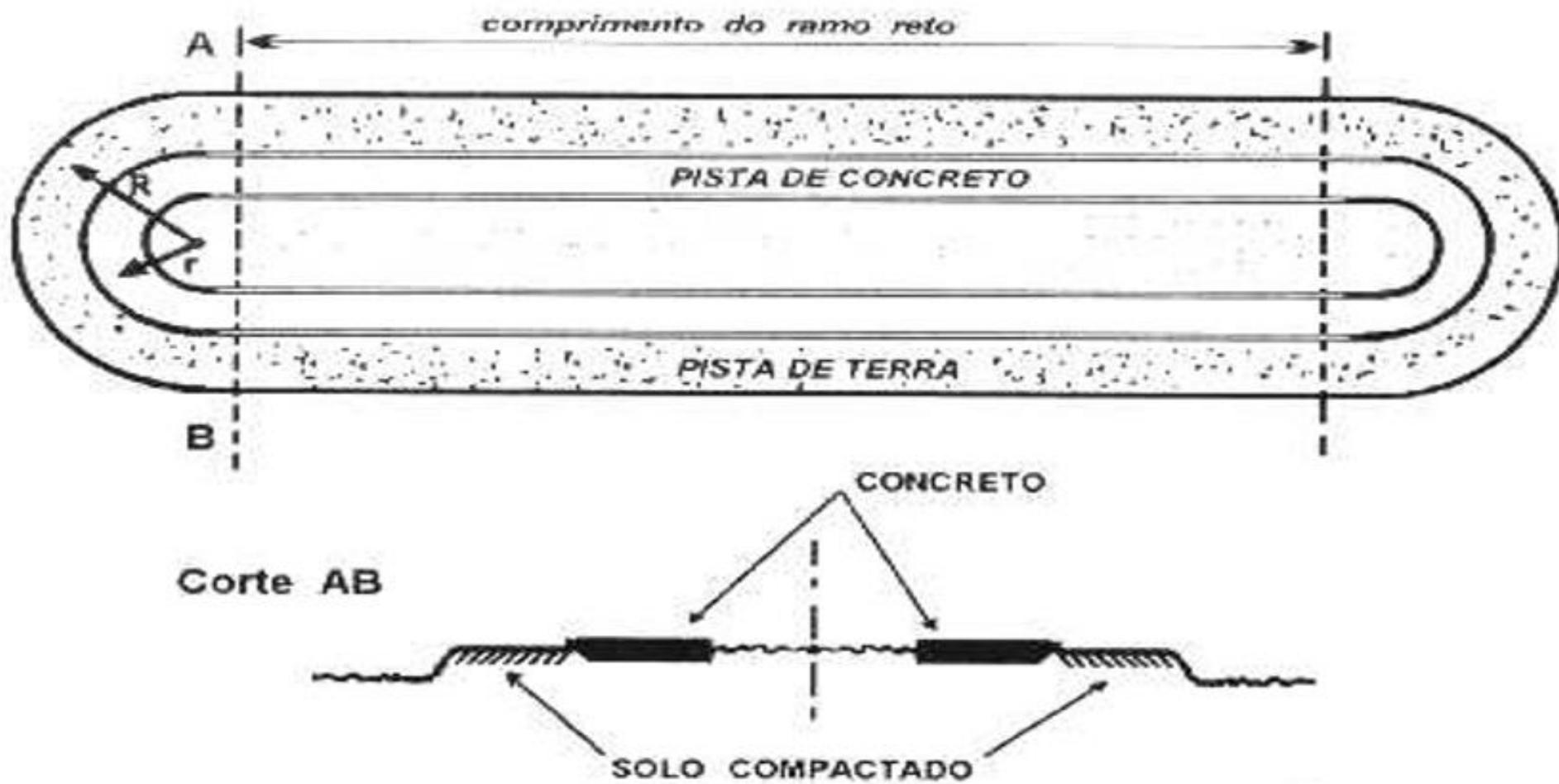
- Rotação do motor
- Força de tração
- Velocidade
- Patinagem
- Consumo de combustível

- Temperaturas:
- combustível
 - óleo lubrificante
 - fluido de arrefecimento
- Condições atmosféricas



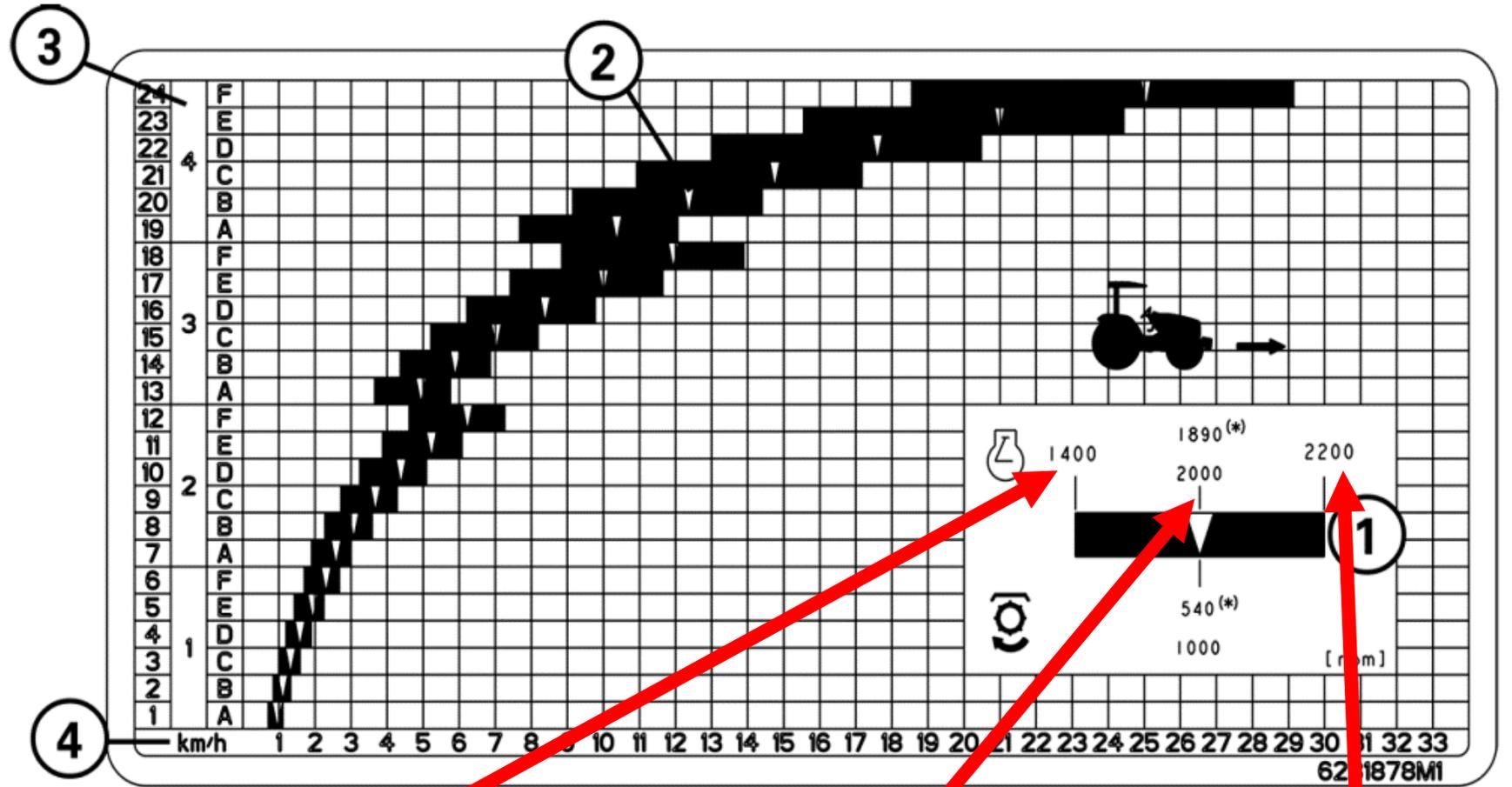
Nebraska Tractor Test Lab





Desempenho do conjunto: barra de tração

São avaliadas as diferentes marchas, com cargas crescentes e máxima aceleração

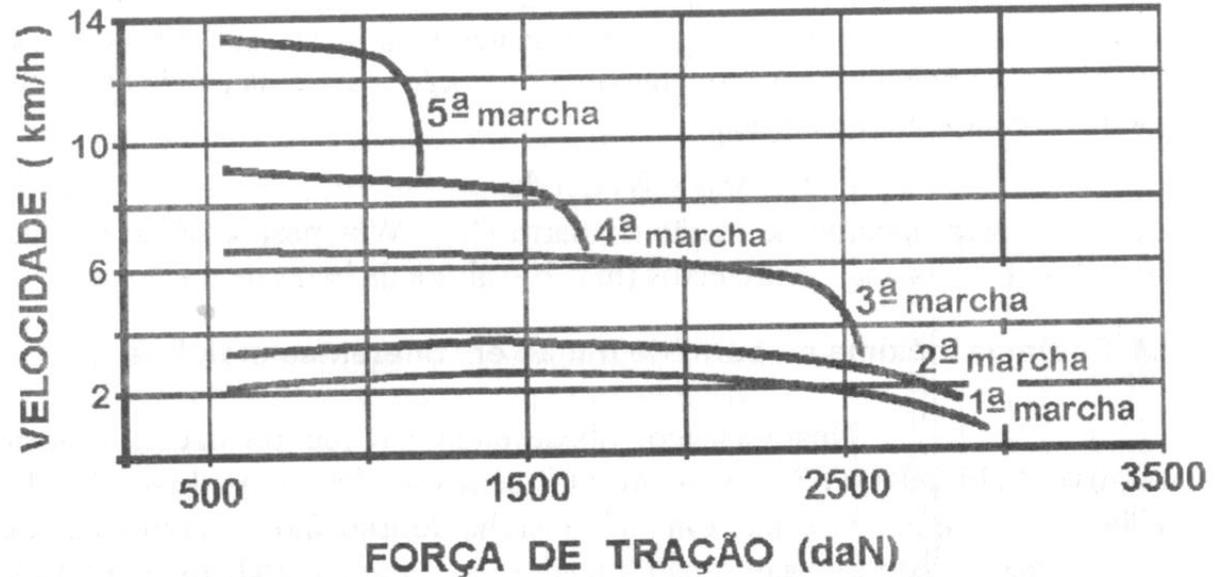
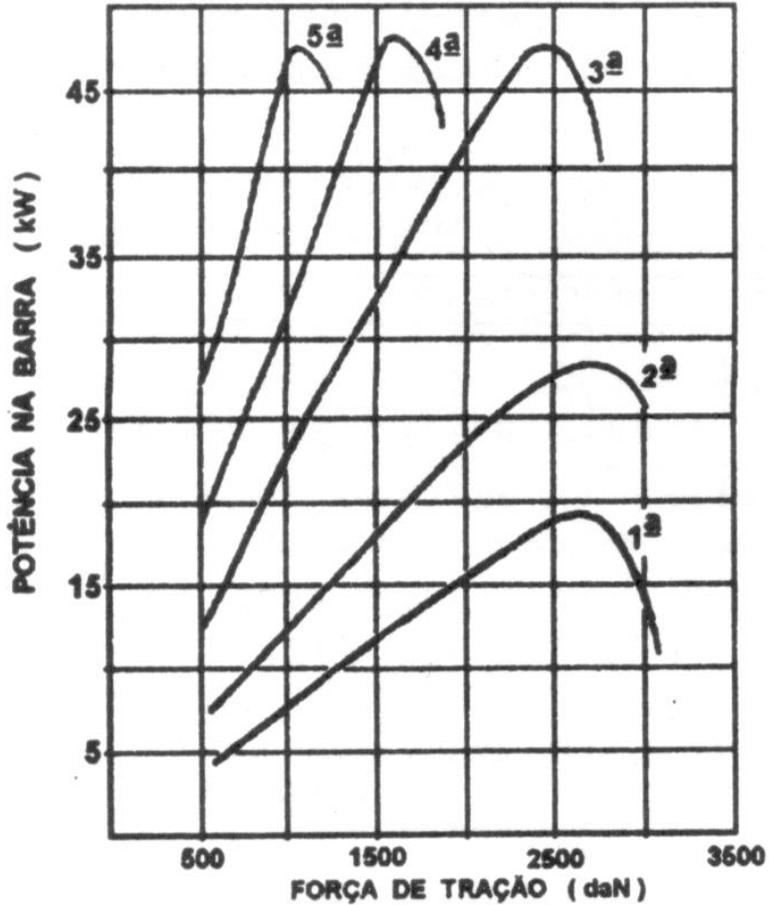


Rot. Torque máximo

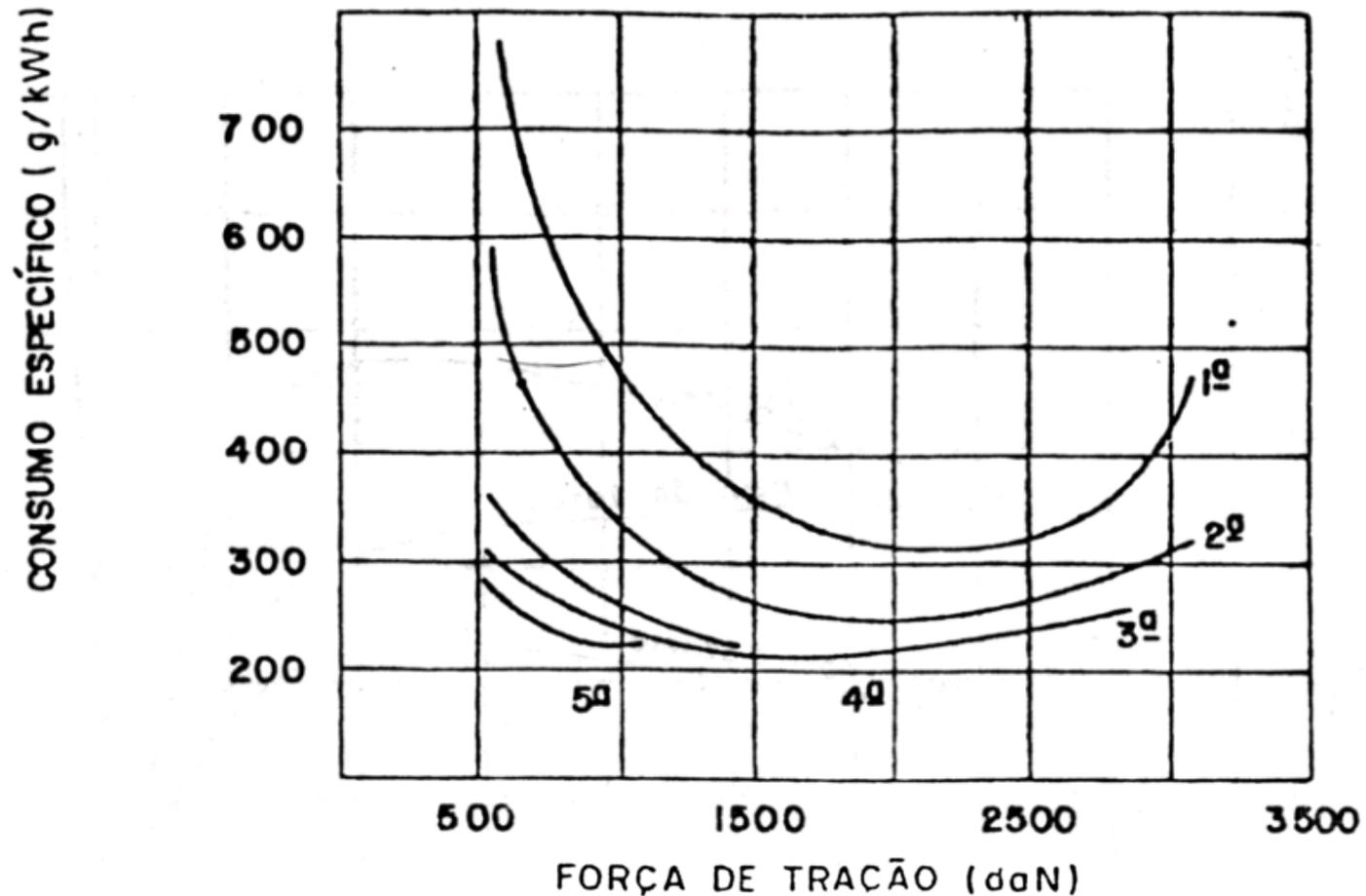
Rot. Nominal TDP

Rot. Potência máxima

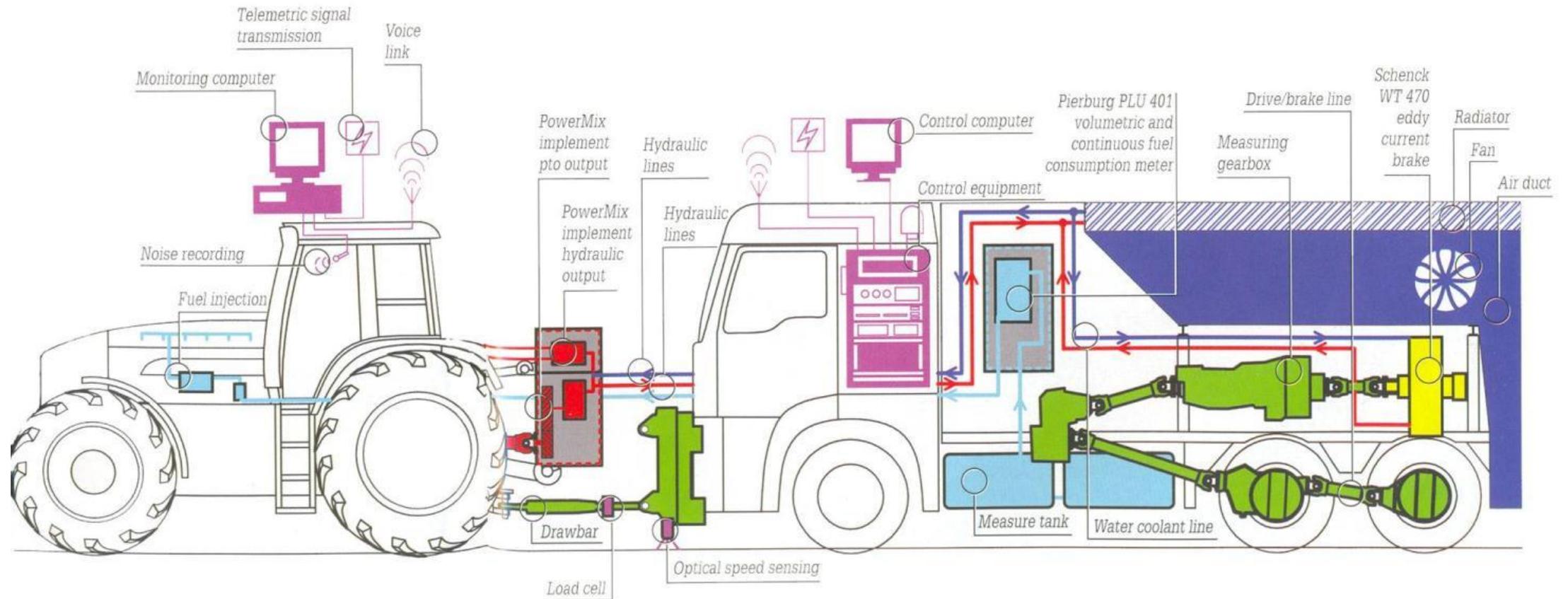
Desempenho do conjunto: barra de tração



Desempenho do conjunto: barra de tração



DLG – Alemanha (Powermix)



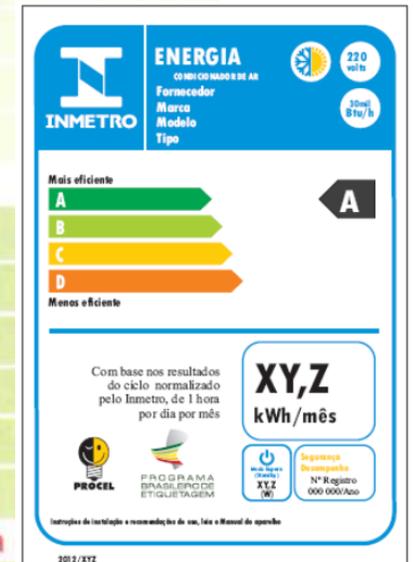
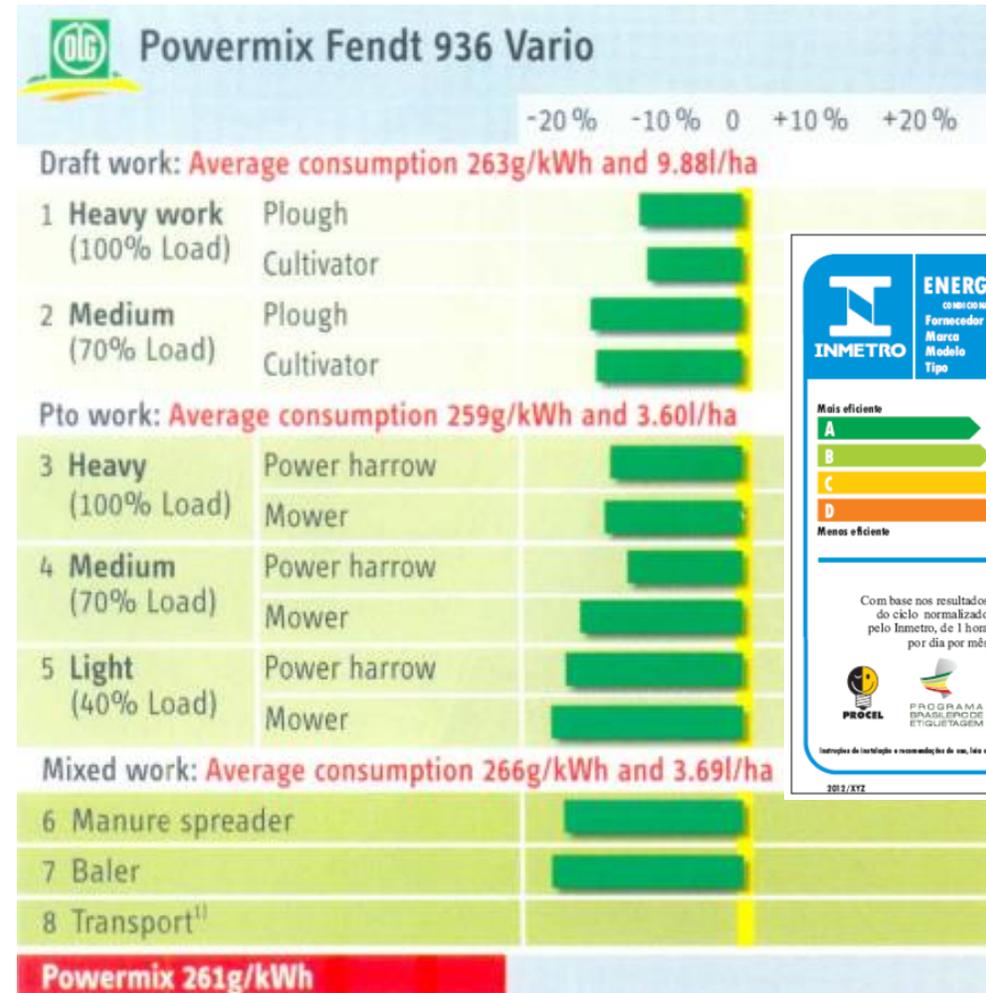
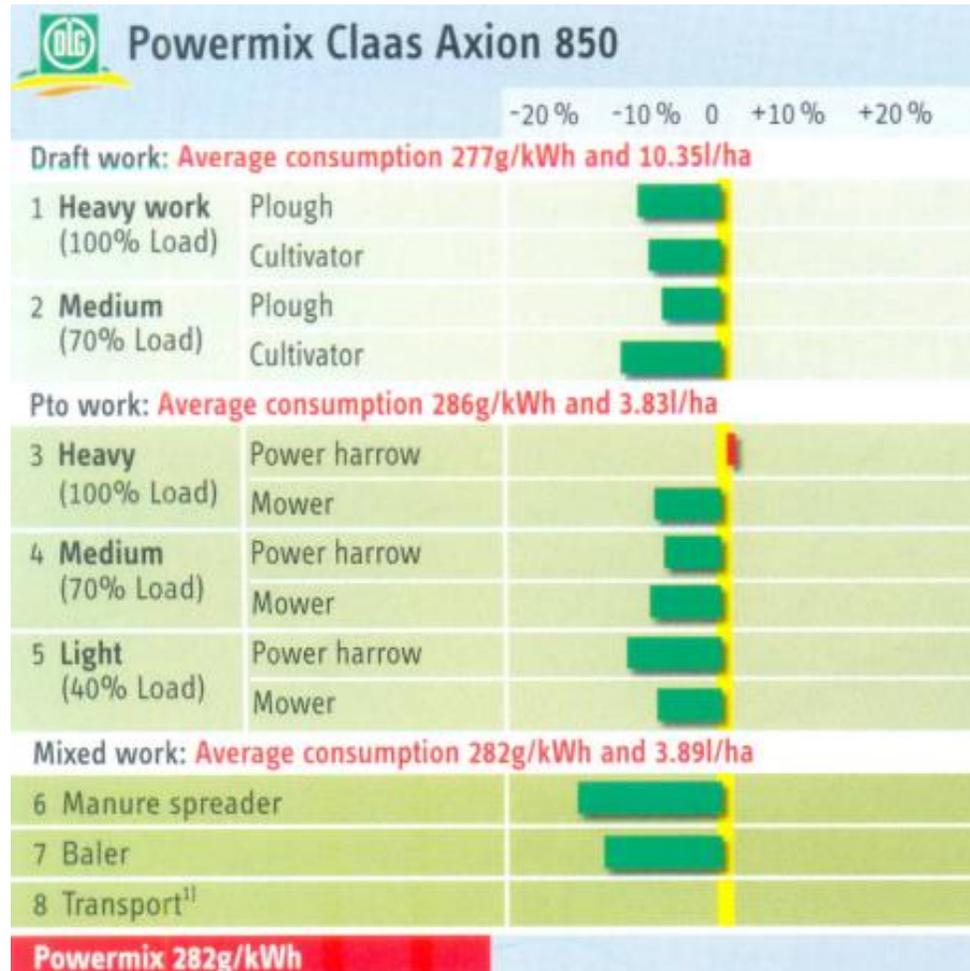
DLG – Alemanha (Powermix)



Profi

Comparativo de tratores dentro da população de todos já ensaiados nessa metodologia

Powermix parameter, obtained from the 21 tractors tested so far, is currently 305g/kWh.



Profi

Taking the show indoors

Unpredictable weather and varying conditions outside – the joys of farming, eh – are just some of the reasons why we've tweaked our testing procedure with Powermix 2.0. To kick things off, we measured three tractors from Fendt, John Deere and New Holland ... to demonstrate exactly what has changed



With the move to Powermix 2.0, all of the DLG measurements are carried out on the rolling road.





The dyno was supplied by Maha and is integrated into the rolling road design.

Profi, 05/2018

Pontos Importantes (para LER!)

- A capacidade de disponibilizar força para tracionar equipamentos acoplados à barra de tração é de grande relevância nos tratores.
- A capacidade de realizar esforço em tração depende tanto de características do trator como da condição do terreno.
- Em função da disponibilidade de relações de transmissão na caixa de mudança de marchas podem haver pontos em que não se encontre uma combinação para aproveitar a potência e torque do trator.
- Tipos e ajustes dos rodados e do lastro, além do tipo do trator influenciam a capacidade de tração.
- As avaliações realizadas em pista permitem inferir sobre o desempenho em tração, mas o desempenho em solo é distinto.

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais
Tomada de medidas
Cálculo do centro de gravidade
2. Desempenho do Motor
Avaliação na tomada-de-potência
3. Desempenho do Conjunto
Avaliação em ensaios de pista
4. Sistema Hidráulico
Força de Levantamento
Potência Hidráulica
5. Desempenho em Solo
Avaliação na condição de uso
6. Exemplos de Resultados

Desempenho do sistema hidráulico

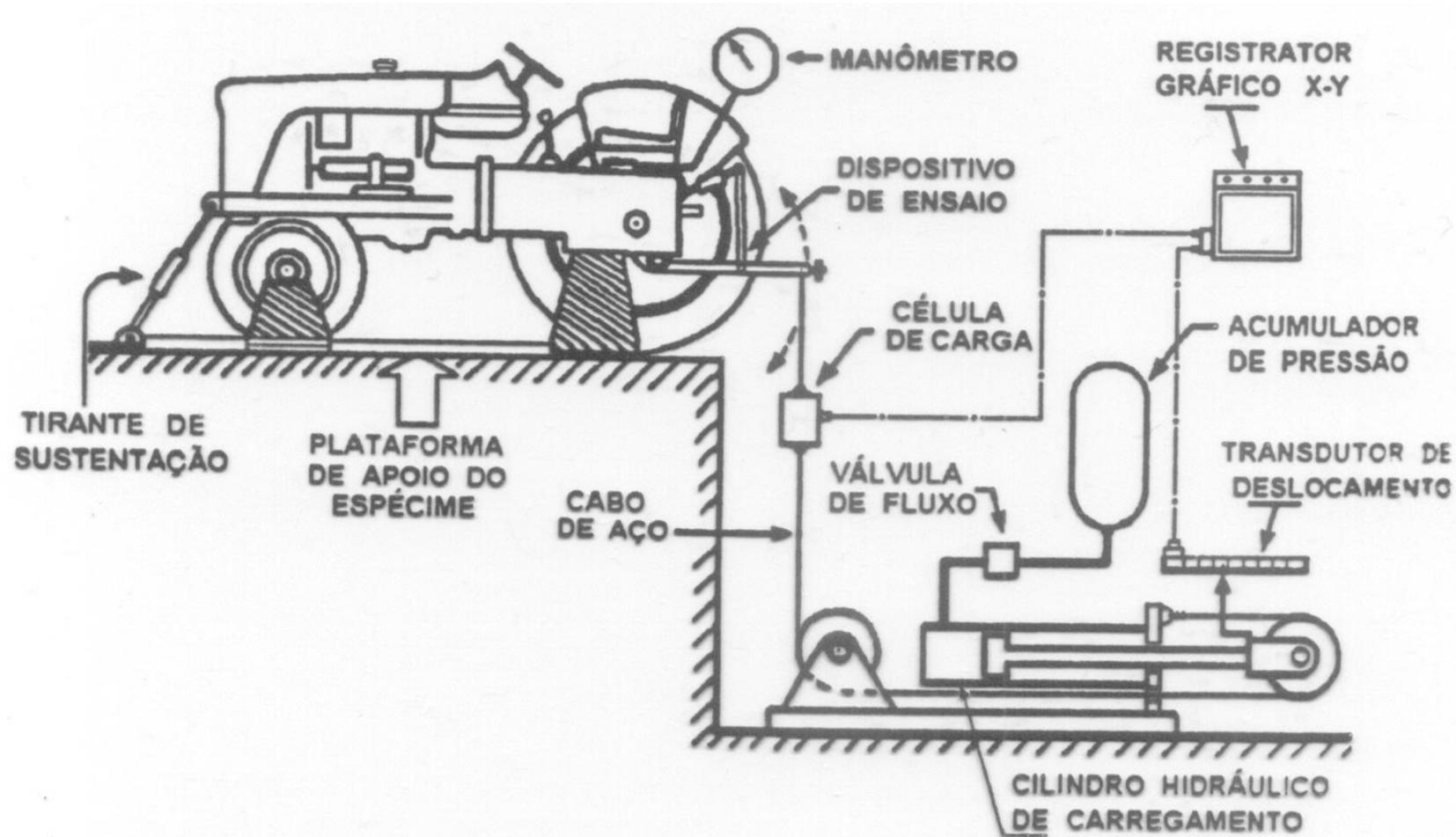
Temperatura do óleo hidráulico padronizada
(65 +/- 5°C), ou mensurada continuamente

Força máxima no olhal braços inferiores

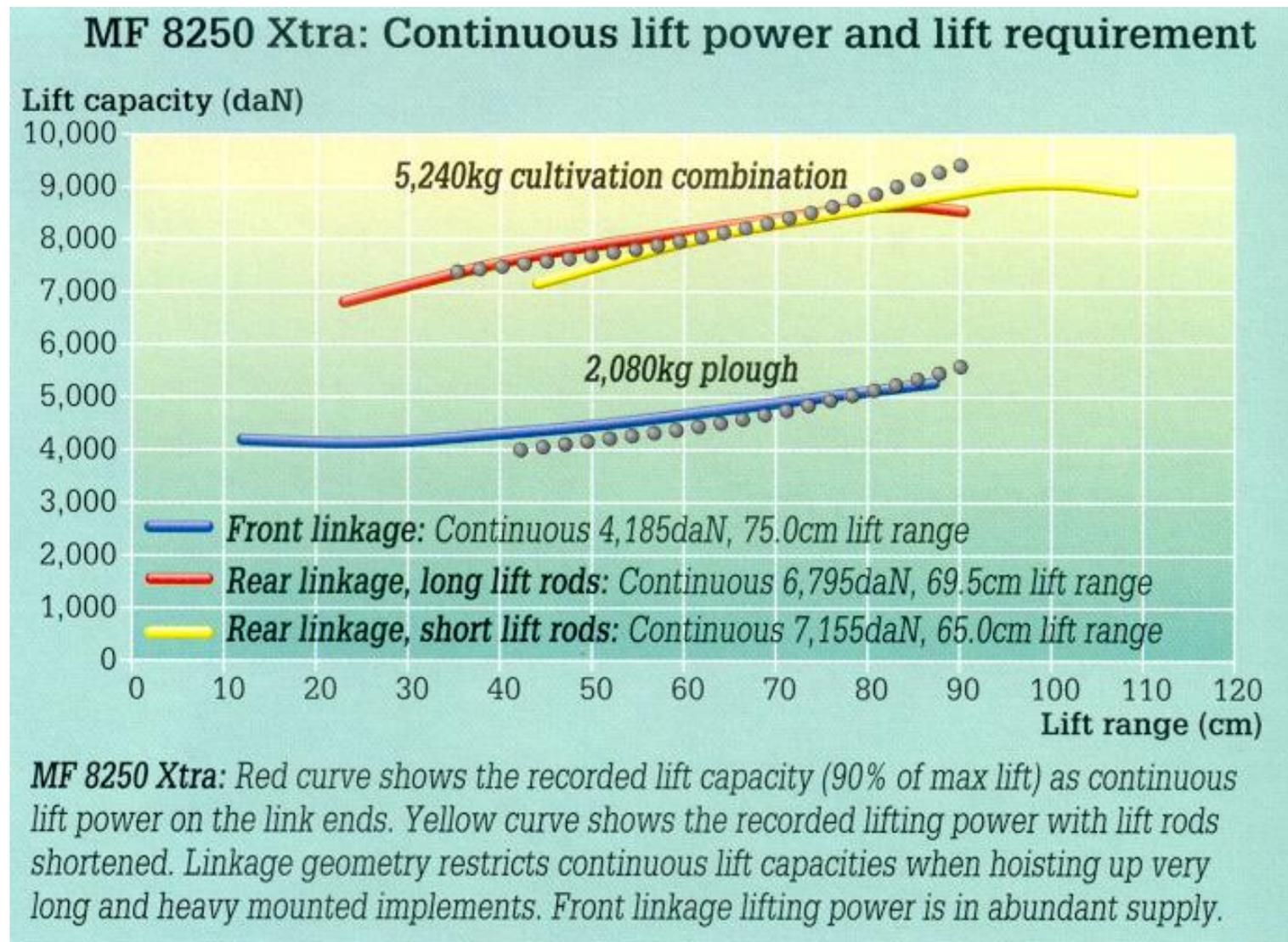
Força máxima a uma distância de 610 mm

Potência máxima disponível na tomada hidráulica externa (VCR)

Desempenho do sistema hidráulico - Força de levantamento

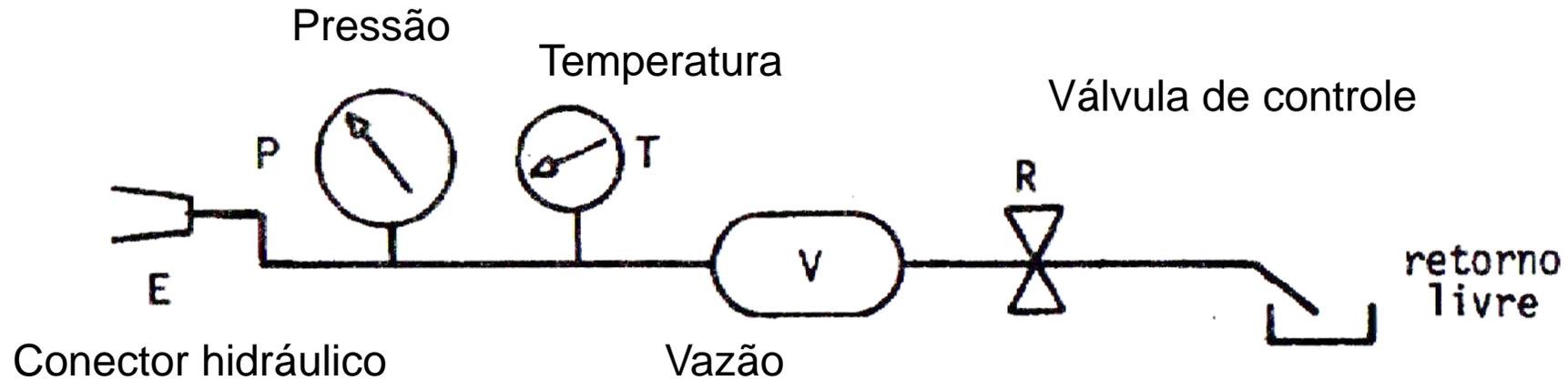


Desempenho do sistema hidráulico - Força de levantamento



Profi

Desempenho do sistema hidráulico – Potência hidráulica



$$N(W) = Q \left(\frac{m^3}{s} \right) * p (Pa)$$

Potência

Vazão

Pressão

Pontos Importantes (para LER!)

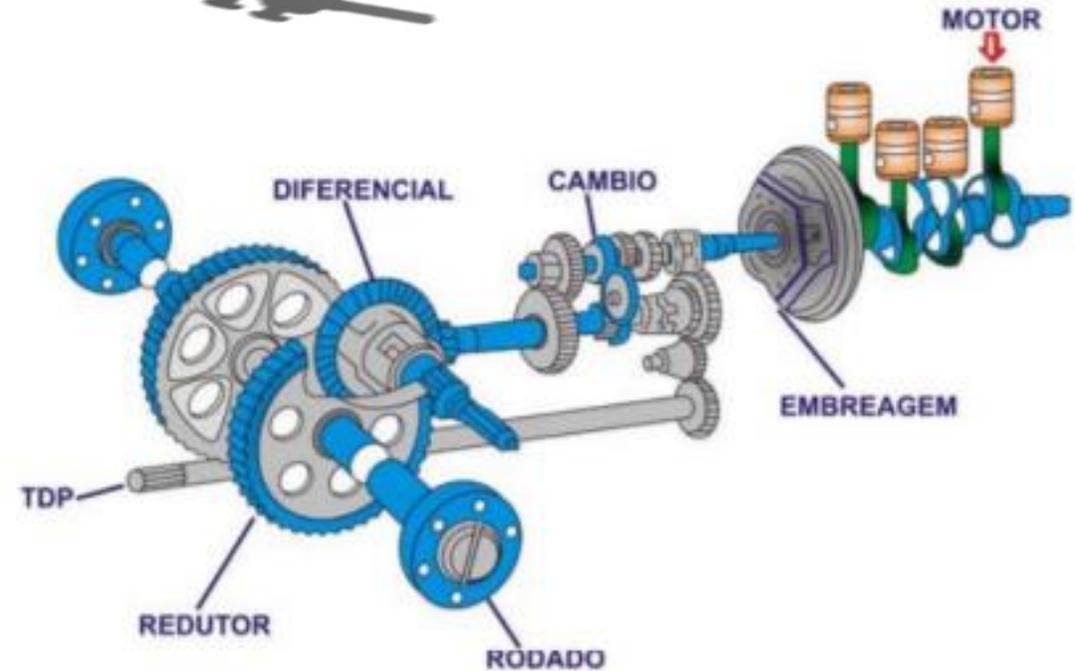
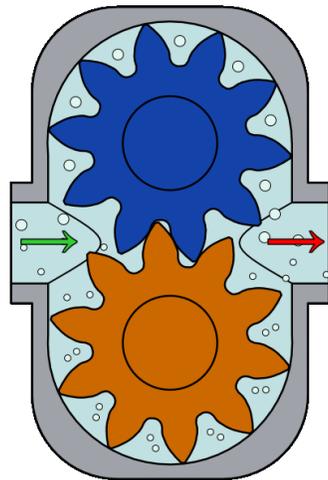
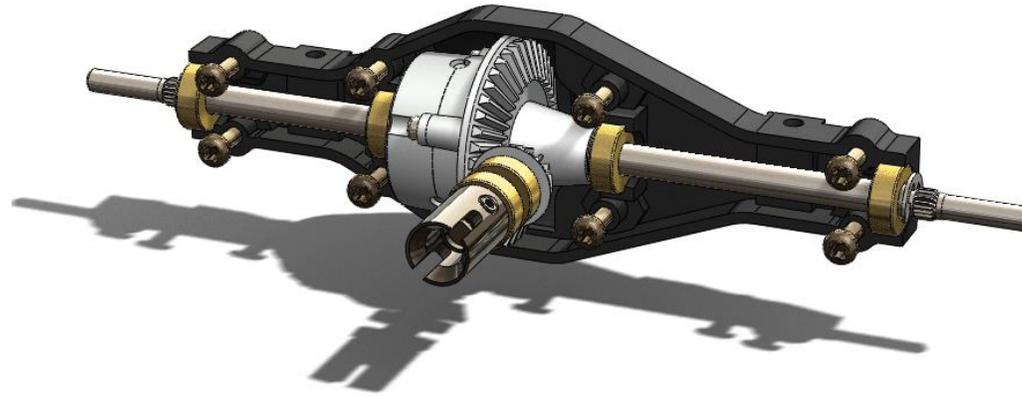
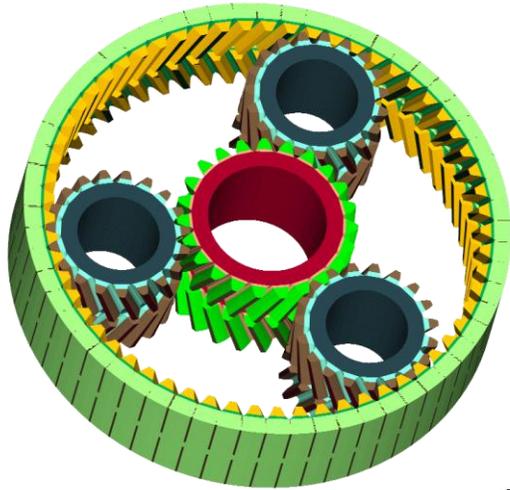
- O acoplamento ao sistema de três pontos requer que tratores tenham capacidade para suportar e posicionar o que está acoplado.
- A capacidade de levantar e as alturas são determinadas e permitem compreender se o trator é adequado para uso com os diversos equipamentos.
- A disponibilidade de potência para acionamento através do sistema hidráulico é caracterizada como uma combinação de pressão e vazão.
- Tratores que apresentam mais de uma tomada do sistema hidráulico devem ter as potências disponíveis caracterizadas para acionamento simultâneo.

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais
Tomada de medidas
Cálculo do centro de gravidade
2. Desempenho do Motor
Avaliação na tomada-de-potência
3. Desempenho do Conjunto
Avaliação em ensaios de pista
4. Sistema Hidráulico
Força de Levantamento
Potência Hidráulica
5. Desempenho em Solo
6. Exemplos de Resultados

Rendimento em transmissões

80 a 98%



Relações de importância

$$T_m * N_m * E_t = T_r * N_r \quad E_t = \frac{P_r}{P_m}$$

$$P_b = E_r * P_r \quad E_r = \frac{P_b}{P_r}$$

$$P_b = P_m * E_t * E_r$$

T_m = Torque no motor

T_r = Torque no rodado

N_m = Rotação do motor

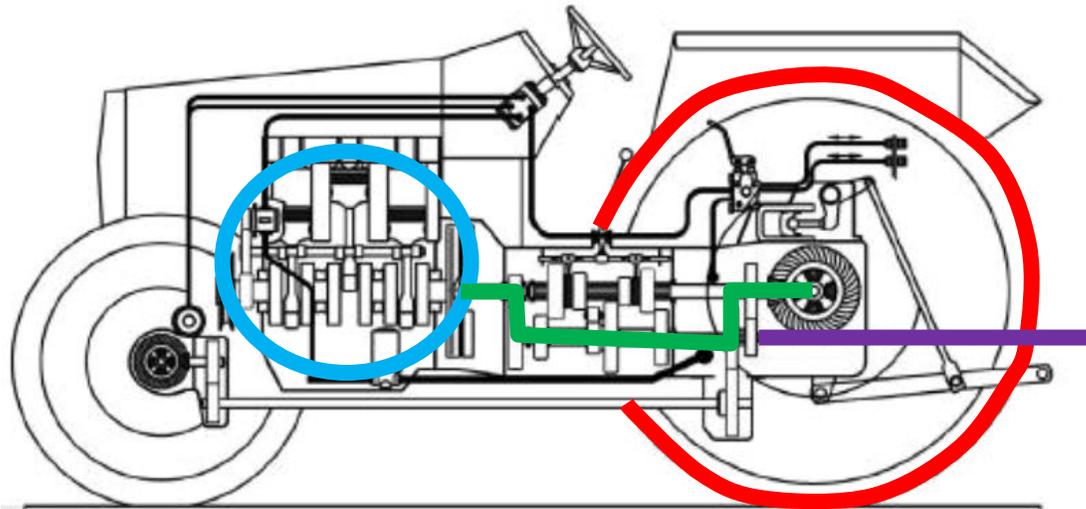
N_r = Rotação do rodado

E_t = Eficiência da transmissão

E_r = Eficiência de tração rodado

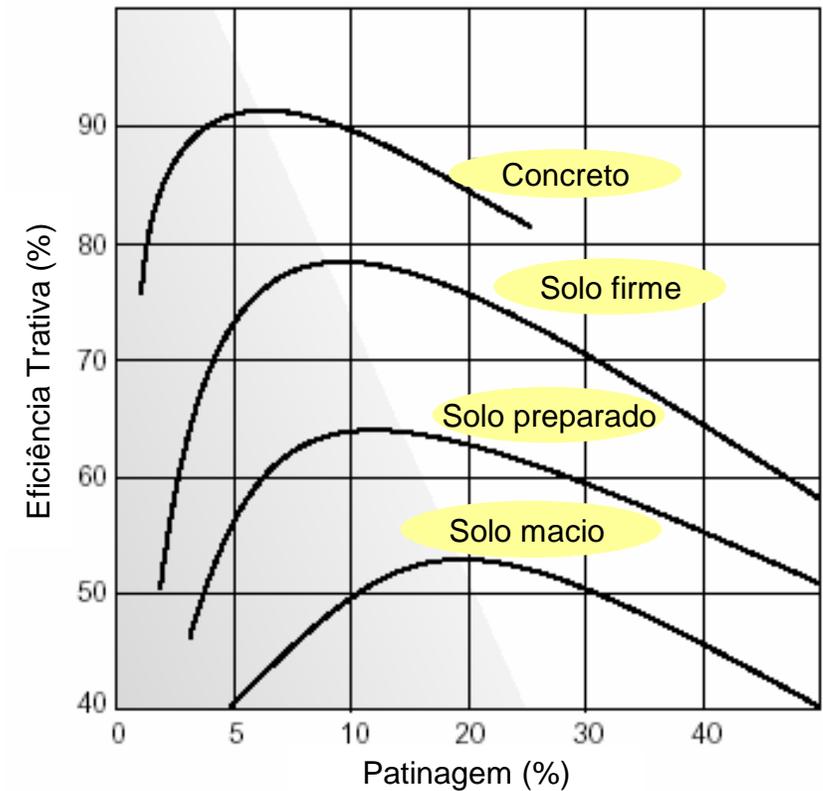
P_m = Potência no motor

P_r = Potência no rodado

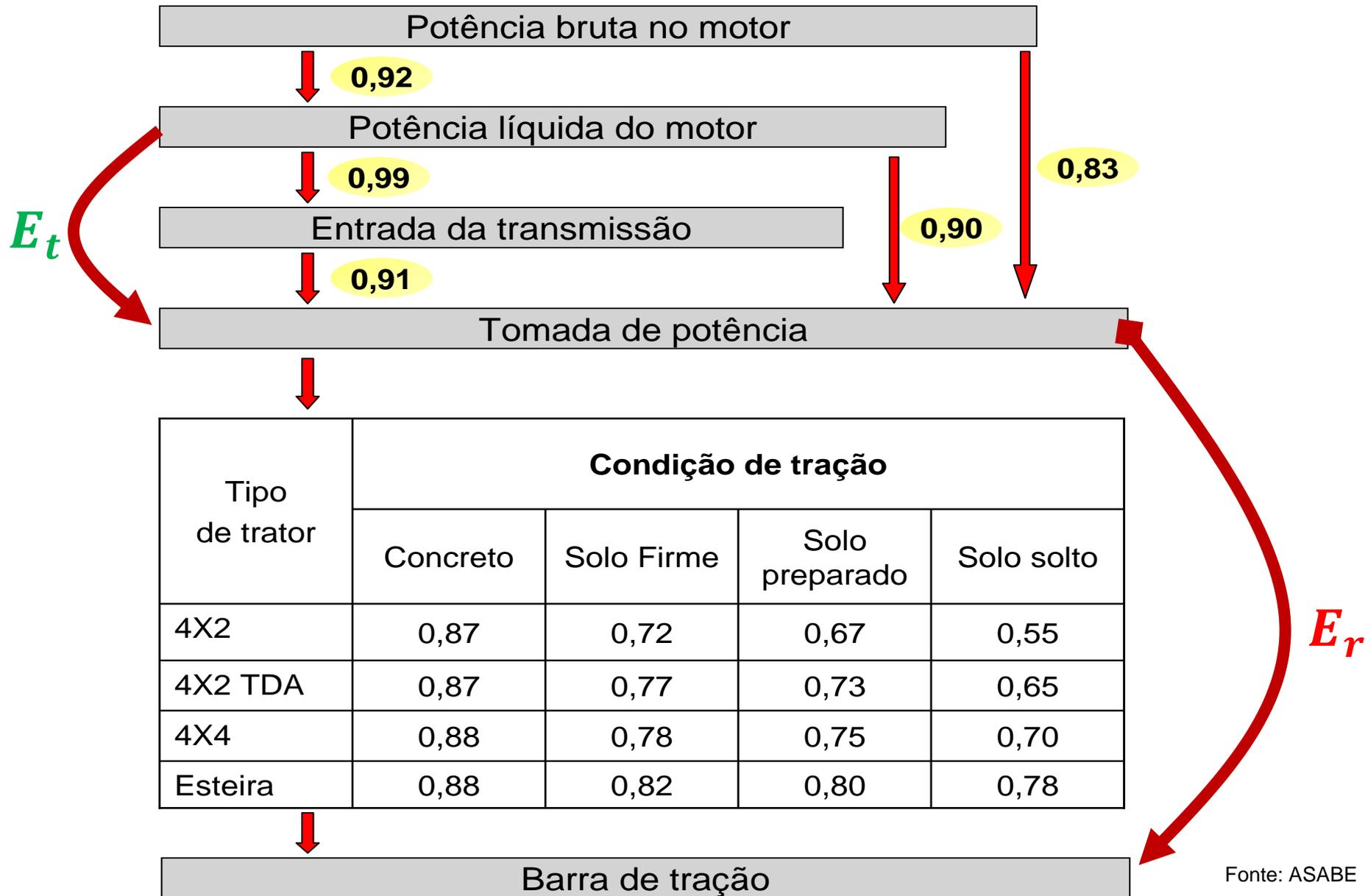


Desempenho em solos

$$\text{Eficiência Tração}(\%) = \frac{\text{Potência na Barra de tração}}{\text{Potência no rodado}}$$



Restrição
Resistência ao rolamento ← → Patinagem



Fonte: ASABE

Desempenho de Tratores

1. Características dimensionais e ponderais
Tomada de medidas
Cálculo do centro de gravidade
2. Desempenho do Motor
Avaliação na tomada-de-potência
3. Desempenho do Conjunto
Avaliação em ensaios de pista
4. Sistema Hidráulico
Força de Levantamento
Potência Hidráulica
5. Desempenho em Solo
6. Exemplos de Resultados

Exercício

Qual a força disponível na barra de tração de um trator 4x2 TDA de 150 cv para tracionar um equipamento de preparo do solo a 5 km h^{-1} , em terreno firme? ($1 \text{ cv} = 735 \text{ W}$)

Considerar $E_t = 90\%$ e $E_r = 77\%$ (E_t eficiência da transmissão, E_r eficiência do rodado)

- Velocidade: $5 \text{ km h}^{-1} \div 3,6 = 1,39 \text{ m s}^{-1}$
- Potência na TDP = $150 * 0,735 = 110,25 \text{ kW} * 0,9 \rightarrow 99,22 \text{ kW}$
- Potência na barra = $99,22 * 0,77 \rightarrow 76,40 \text{ kW}$
- Potência (W) = Força (N) * Velocidade (m s^{-1})
- $76400 = F * 1,39$
- $F = 54966 \text{ N}$

