

# **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS**

**LER 466 – Avaliação do Desempenho de Máquinas Agrícolas  
Depto Engenharia de Biossistemas - ESALQ/USP**

**Prof. Walter Molina**

**2014**

# 1. PONTOS DE FORNECIMENTO DE POTÊNCIA NO TRATOR

- ✓ Tomada de potência (TDP)
- ✓ Sistema Hidráulico
- ✓ Rodado (Barra de Tração e Engate de 3 pontos)

# EFICIÊNCIAS MÁXIMAS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

POTÊNCIA LÍQUIDA NO MOTOR

0,87 a 0,90

0,96 a 0,98

0,75 a 0,81

TRANSMISSÃO

0,85 a 0,89

EIXO

0,92 a 0,93

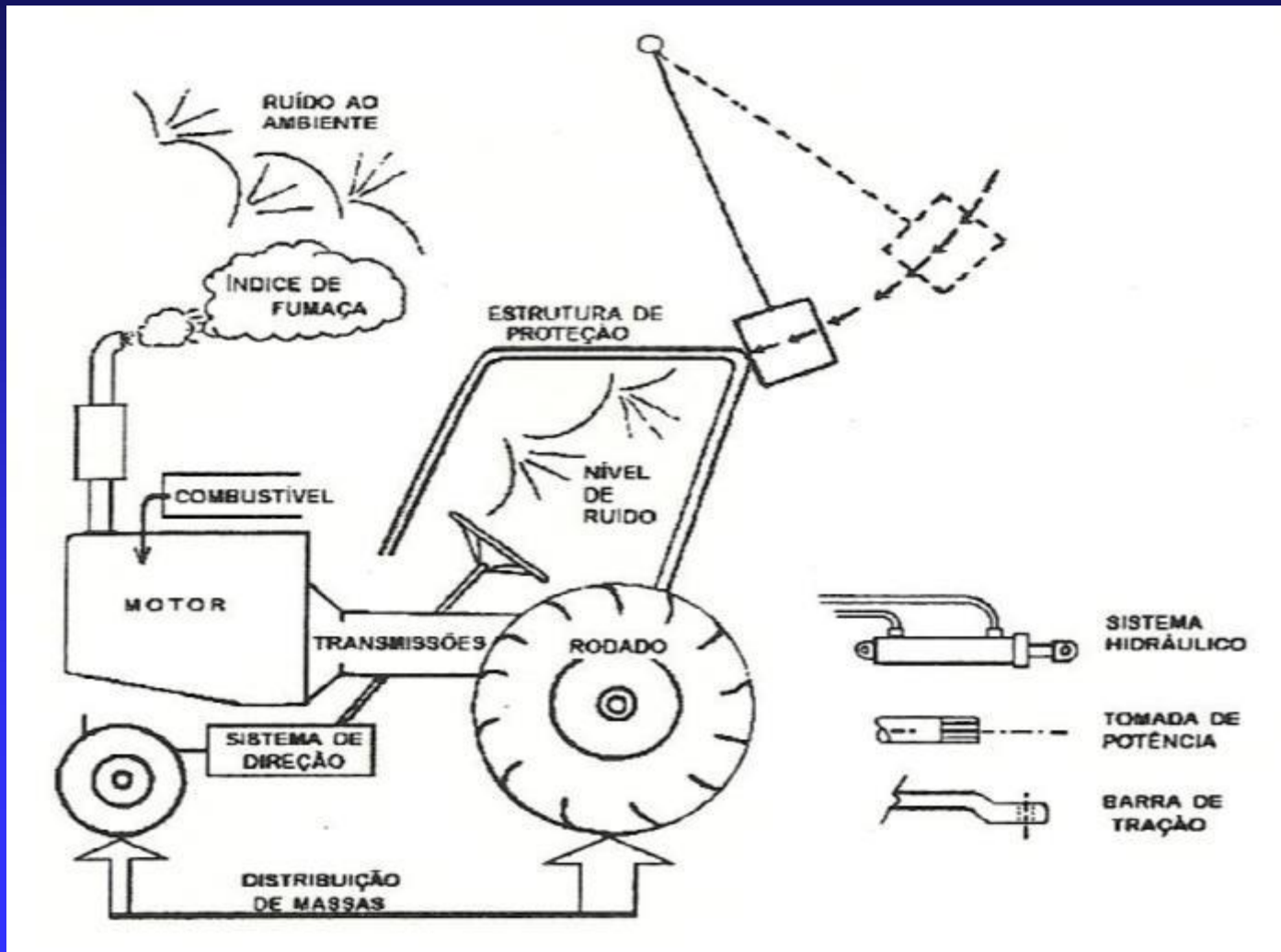
BARRA DE  
TRAÇÃO

TDP

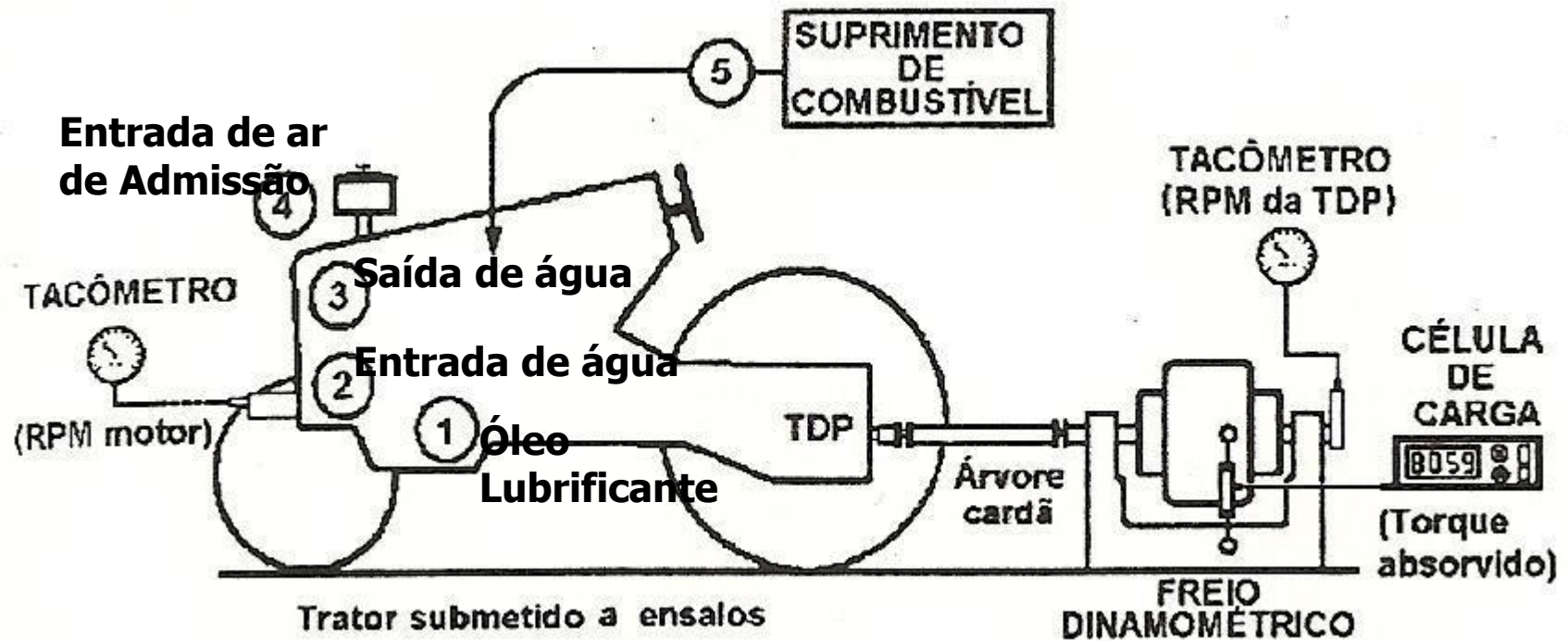
0,86 a 0,89



## 2. ASPECTOS CONSIDERADOS NUM ENSAIO



## 2.1 Tomada de Potência

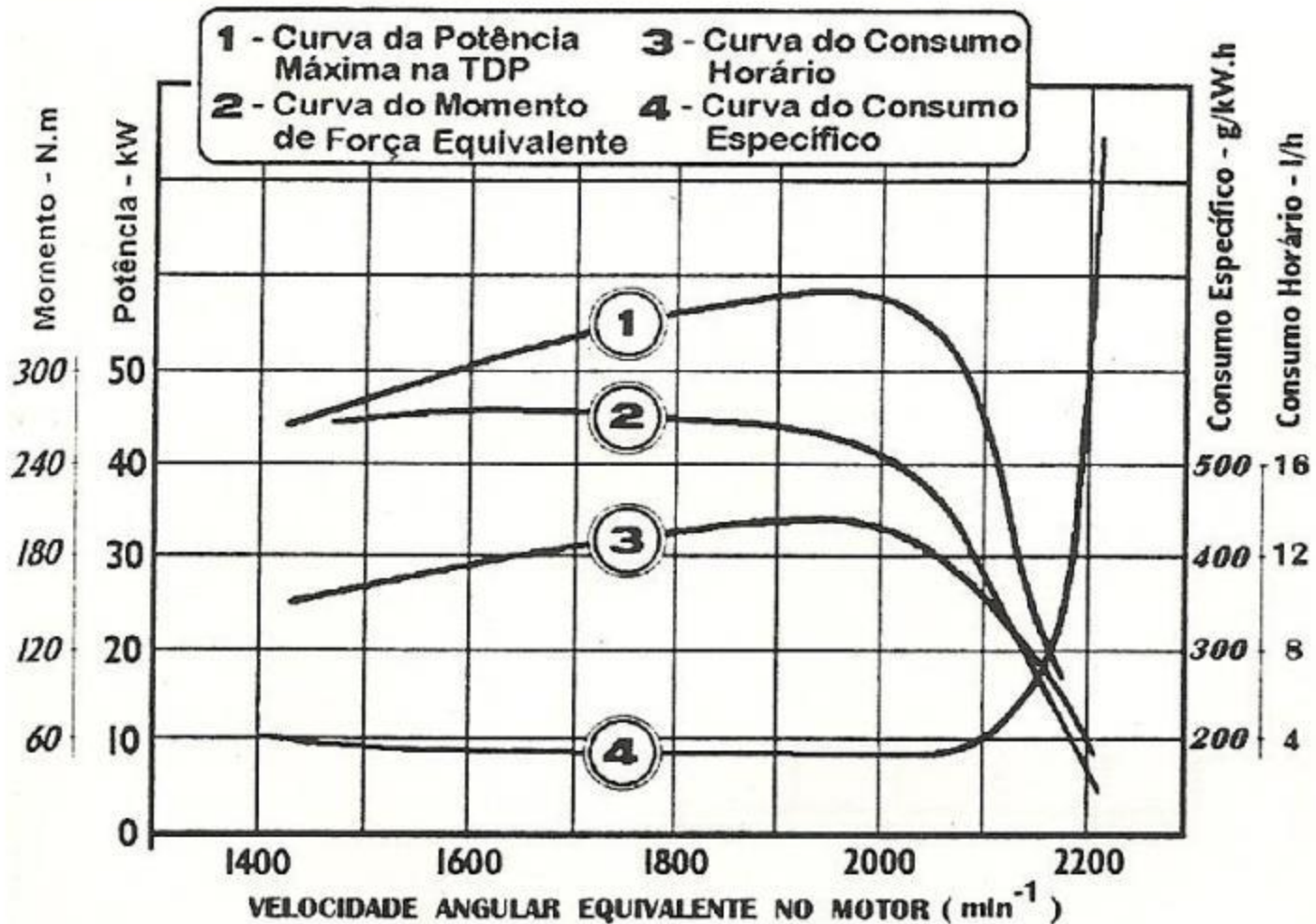


1, 2, 3, 4 e 5 - Termômetros

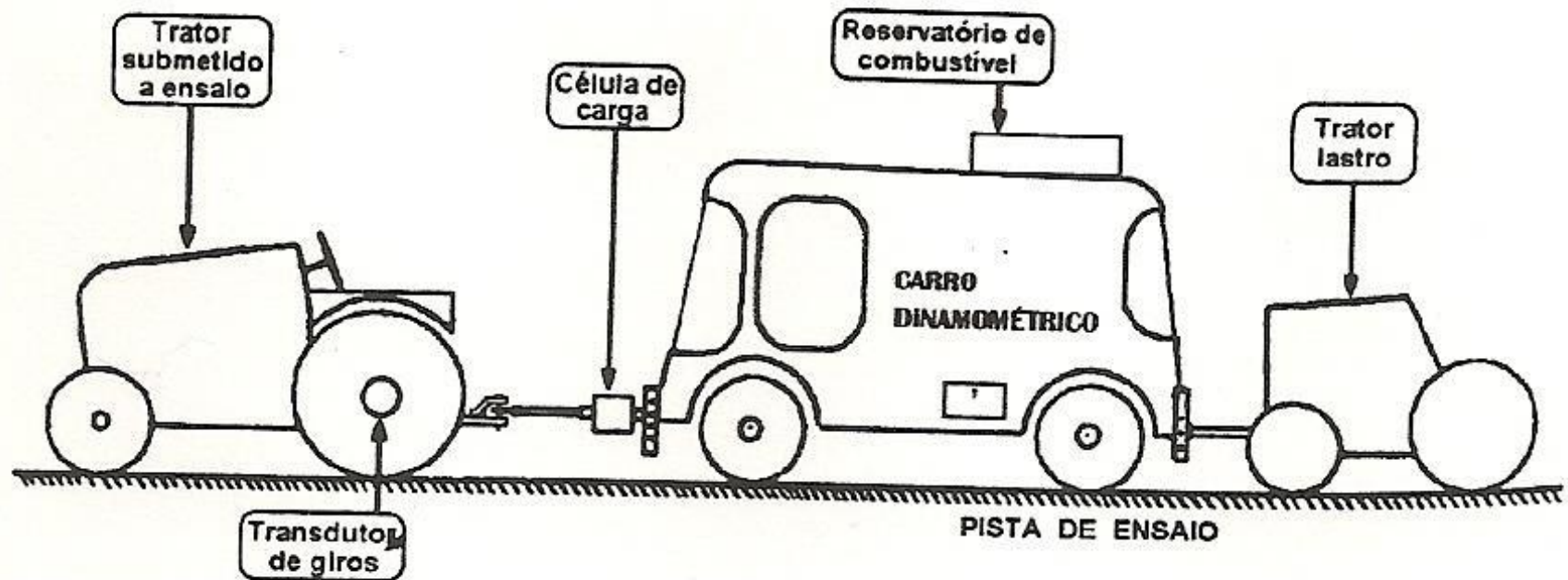
# Apresentação dos Resultados dos Ensaios da TDP

GENEA / MA		DESEMPENHO NA TOMADA DE POTÊNCIA PRINCIPAL										RELATÓRIO Nº: 986/85	
		TRATOR (marca/modelo): VALNET 88				MOTOR (marca/modelo): MWM D 229.04 VR				LOCAL: CENEVA/MA		DATA: 13/08/85	
POTÊNCIA DISPONÍVEL KW (cv)	ROTAÇÃO		CONSUMO DE COMBUSTÍVEL		TRABALHO ESPECÍFICO kW.h/l (cv.h/l)	TEMPERATURAS (°C)				CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS			
	MOTOR min <sup>-1</sup>	TDP min <sup>-1</sup>	HORÁRIO (h/h)	ESPECÍFICO g/kW.h (g/cv.h)		AR DE ADMISSÃO	FLUIDO DE ARREFECIMENTO	LUBRIFICANTE DO MOTOR	COMBUSTÍVEL	TEMPERATURA DO BULBO SECO (°C)	TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (°C)	PRESSÃO BAROMÉTRICA (mm Hg)	
ENSAIO DA POTÊNCIA À ROTAÇÃO NOMINAL DO MOTOR - 2 HORAS													
50,4 (69,5)	2300	668	15,6	261 (192)	3,2 (4,4)	24,1	78,8 (máx.)	100,6 (máx.)	20,0	20,4	15,9	713	
ENSAIO DA POTÊNCIA À ROTAÇÃO NOMINAL DA TDP - 1 HORA													
46,3 (62,9)	1860	540	13,5	247 (182)	3,4 (4,7)	24,1	81,6 (máx.)	98,0 (máx.)	20,5	21,4	16,4	713	
ENSAIOS SOB TORQUES PARCIAIS													
ENSAIO A - 85 % DO TORQUE NA POTÊNCIA MÁXIMA													
45,0 (61,2)	2420	702	14,1	264 (194)	3,2 (4,3)	23,8	77,2 (máx.)	93,1 (máx.)	21,2	22,2	17,0	713	
ENSAIO B - TORQUE NULO													
0,0 (0,0)	2545	739	4,6	(-)	0,0 (0,0)	22,6	72,8 (máx.)	88,8 (máx.)	21,8	22,2	17,0	713	
ENSAIO C - 42,5 % DO TORQUE NA POTÊNCIA MÁXIMA													
23,1 (31,4)	2480	720	8,8	321 (236)	2,6 (3,6)	22,4	74,0 (máx.)	86,2 (máx.)	22,0	22,1	16,8	713	
ENSAIO D - TORQUE OBTIDO NA POTÊNCIA MÁXIMA													
50,4 (68,5)	2300	668	15,5	260 (191)	3,3 (4,4)	24,2	78,7 (máx.)	95,3 (máx.)	21,9	22,1	16,8	713	
ENSAIO E - 21,2 % DO TORQUE NA POTÊNCIA MÁXIMA													
11,7 (15,9)	2505	728	6,5	474 (348)	1,8 (2,4)	22,2	72,7 (máx.)	86,6 (máx.)	22,2	22,1	16,9	713	
ENSAIO F - 68,3 % DO TORQUE NA POTÊNCIA													
34,2 (46,5)	2450	711	11,3	278 (204)	3,0 (4,1)	22,4	74,9 (máx.)	86,7 (máx.)	21,6	22,1	16,9	713	
Torque equivalente no motor à potência máxima: ..... 209 N.m (21,3 m.kgf) a 2300 min <sup>-1</sup>													
Máximo torque equivalente no motor: ..... 247 N.m (25,2 m.kgf) a 1400 min <sup>-1</sup>													
Rotação máxima no motor: ..... 2545 min <sup>-1</sup>													
										Acréscimo de Torque: 18,2 % à 61 % da rotação nominal			

# Apresentação dos Resultados dos Ensaio da TDP



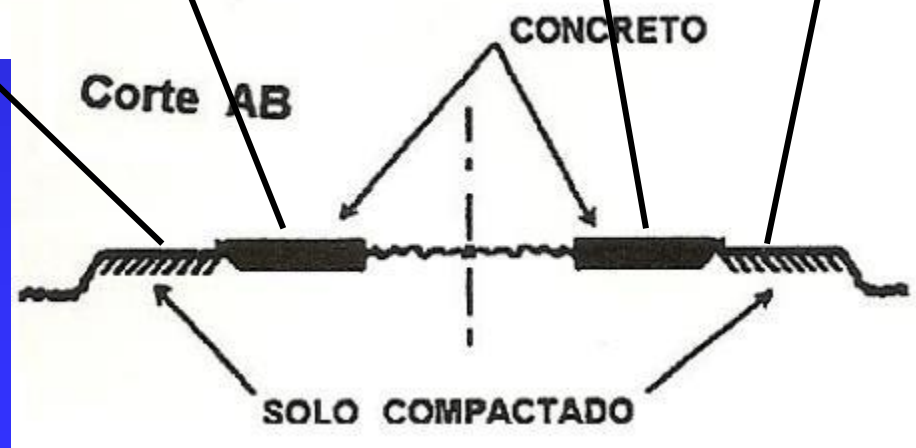
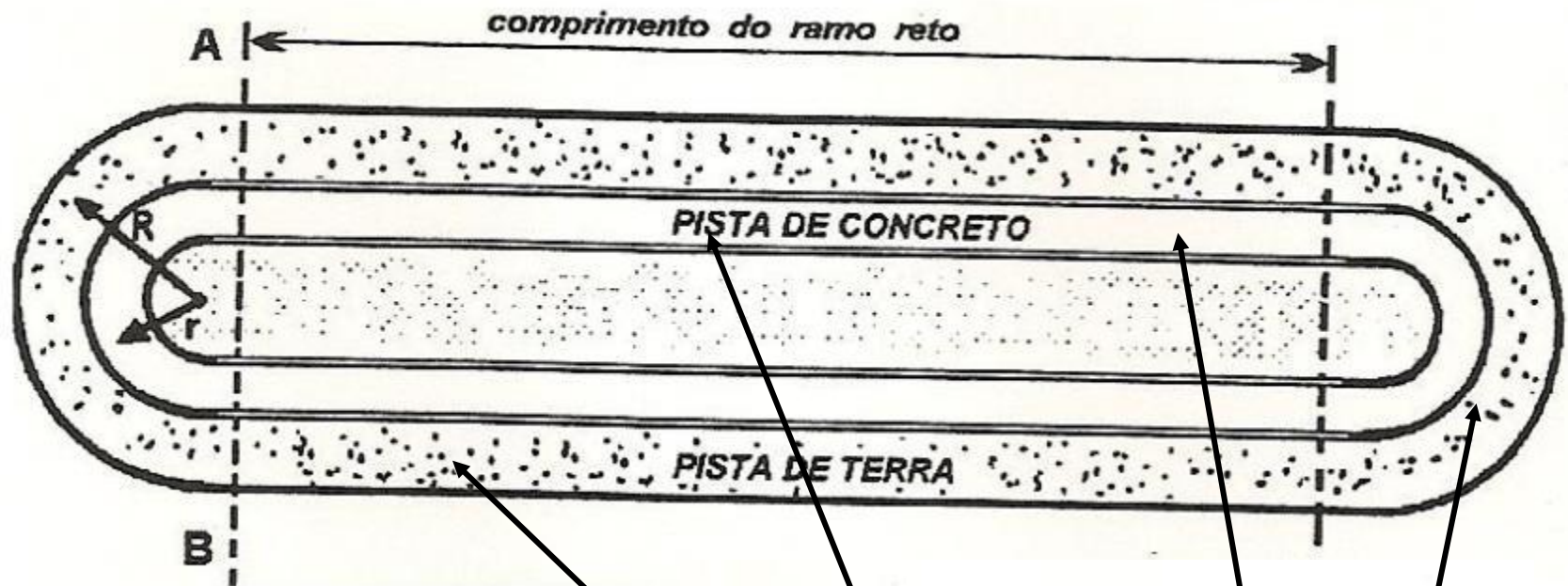
## 2.2 Barra de Tração



Comboio de Ensaio – Barra de Tração



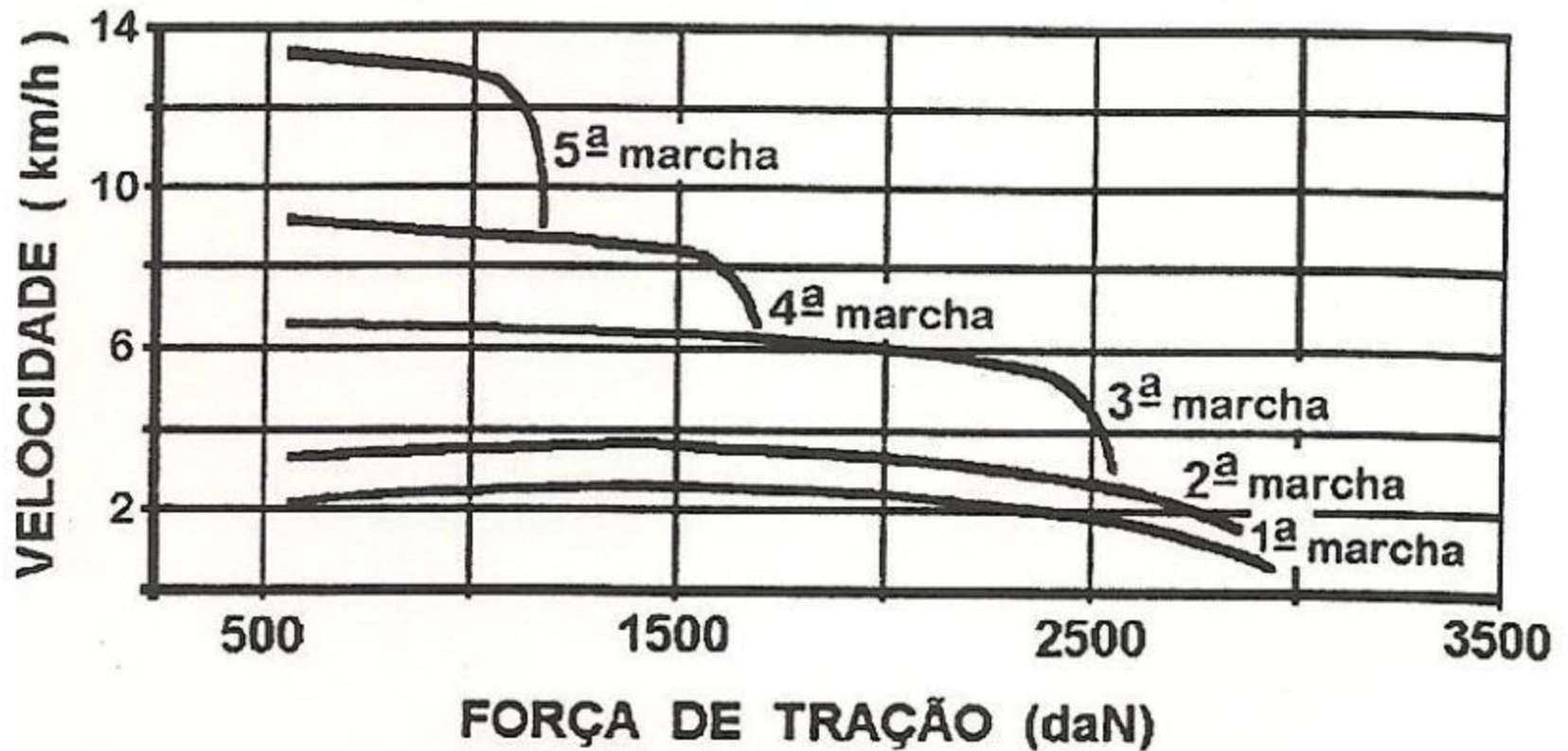
# Pista



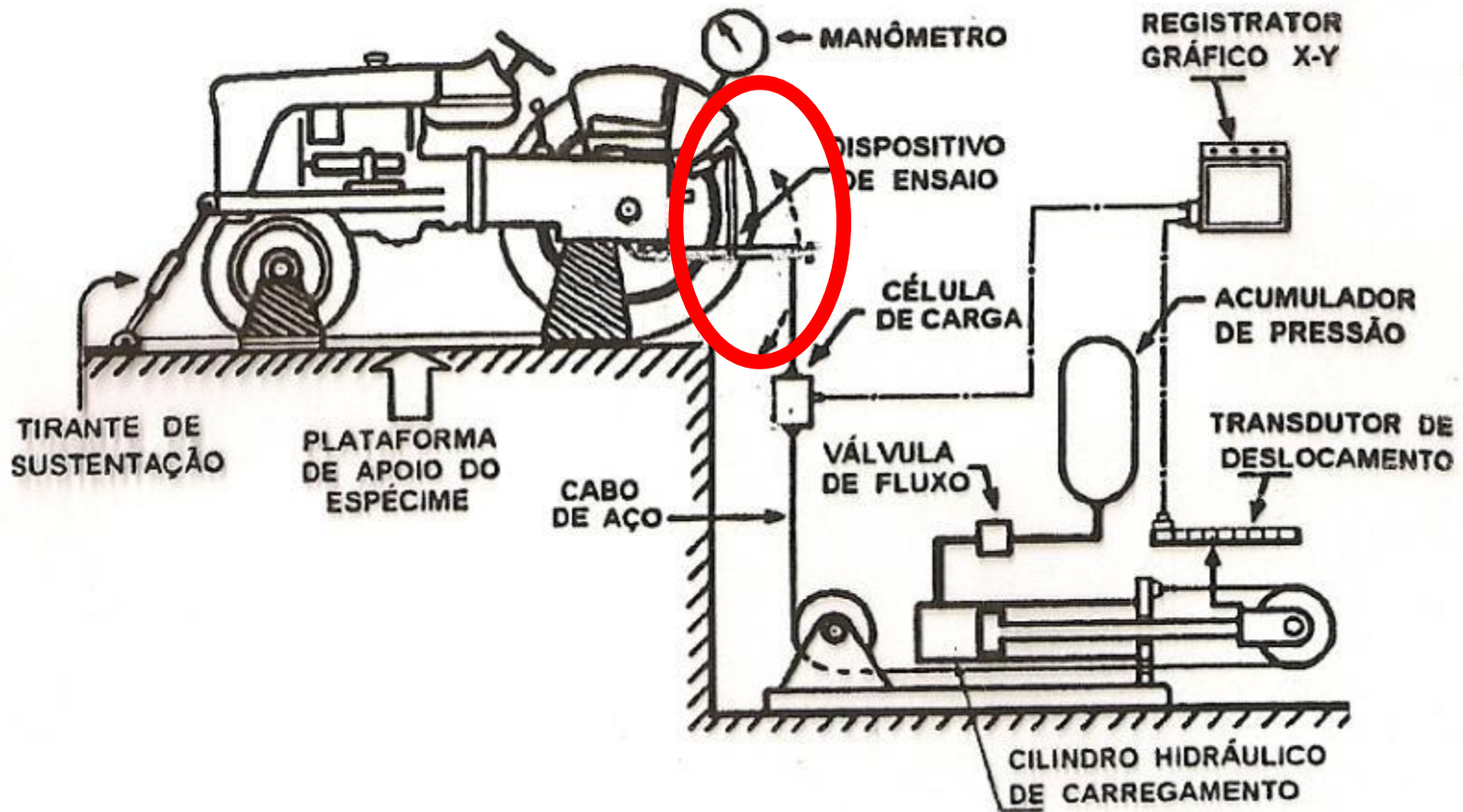
# VÍDEO



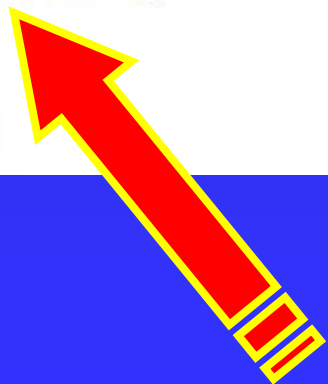
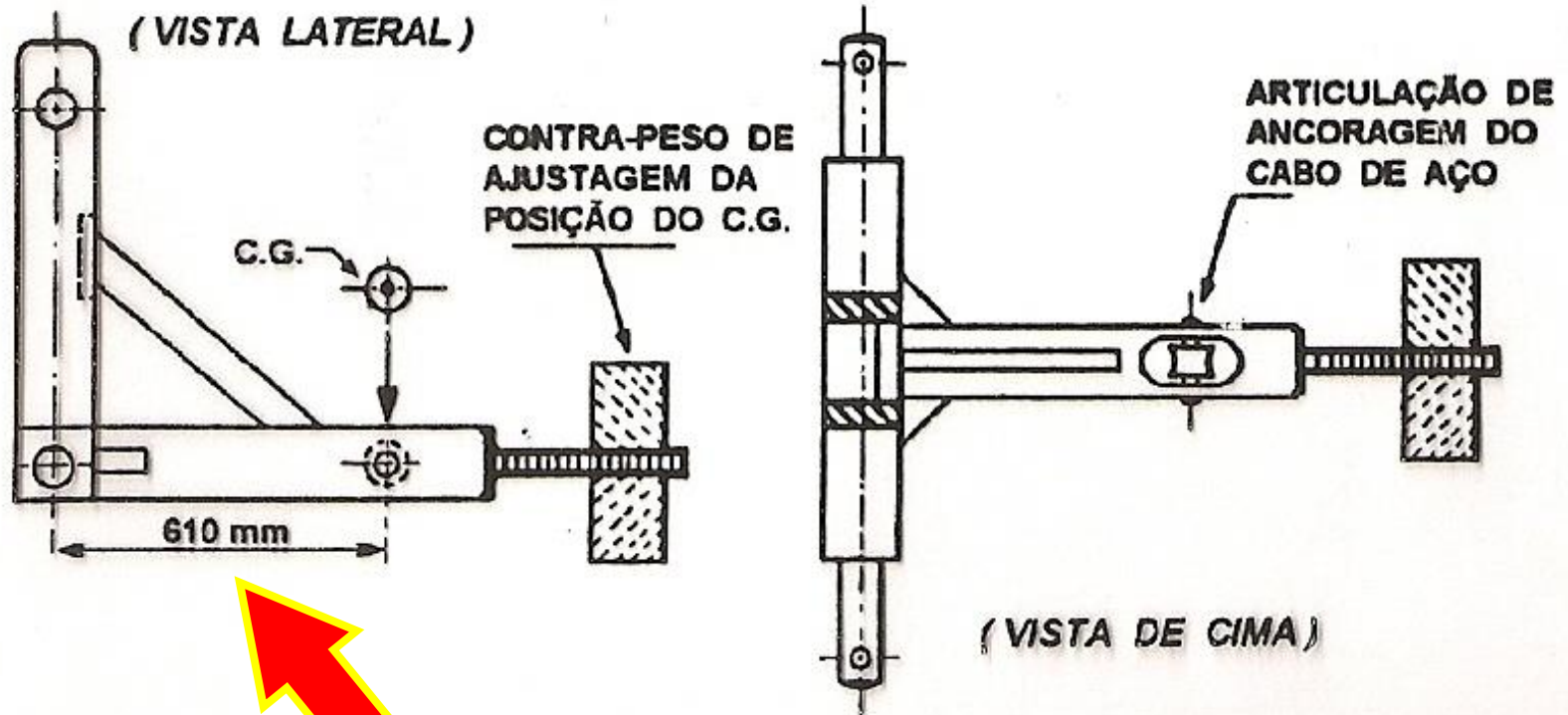
# Resultados



## 2.3 Sistema Hidráulico



# Dispositivo para Ensaio



# Resultados do Ensaio de Sistema Hidráulico

**QUADRO 8.4.** Exemplo de apresentação dos resultados do ensaio de força de levantamento. *Fonte: DEA /IA, 1987 (Relatório do Trator Massey Ferguson 275 TDA).*

DISCRIMINAÇÃO DOS PARÂMETROS	RESULTADOS OBTIDOS	
	Ponto de engate	Ponto de ancoragem
Capacidade de levantamento - kN (kgf):	24,0 (2448)	15,0 (1525)
Altura na posição mais baixa ( mm )	345	345
Movimento vertical (mm)	545	545
Momento no eixo traseiro - kN.m	22,8 (2326)	23,3 (2379)
Ângulo de inclinação da torre (graus)	10,5	
Pressão no sistema - kPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	17206 (175,5)	

**Fonte: MIALHE (1996)**

## 2.4 Nível de Ruído

Tempos limites de exposição permitidos para trabalhadores submetidos a ação de ruído sem estar adequadamente protegido. Fontes: ROBIN (1987) e ROSEMBERG (1976).

Níveis de ruído dB (A)	Tempo limite de exposição ao ruído (h:min) permitido por:	
	MT (Brasil)	OSHA (EUA)
85	8:00	16:00
90	4:00	8:00
95	2:00	4:00
100	1:00	2:00
105	0:30	1:00
110	0:15	0:30
115	0:07	0:15

Efeitos de vários níveis de ruído no ser humano (ROBIN, 1987) Fonte: MIALHE 1996

Nível de Ruído	Efeitos no Ser Humano
< 30 dB(A)	Nenhum efeito
> 30 dB(A)	Reações psíquicas (irritabilidade, desatenção, cansaço prematuro)
65 dB(A)	Reações vegetativas (aumento da pressão sanguínea, ritmo cardíaco, tensão muscular, menor irrigação sanguínea da pele)
85-100dB(A)	perdas crescentes no nível de audição (reversíveis e irreversíveis)
> 120 dB(A)	traumatismo no aparelho auditivo



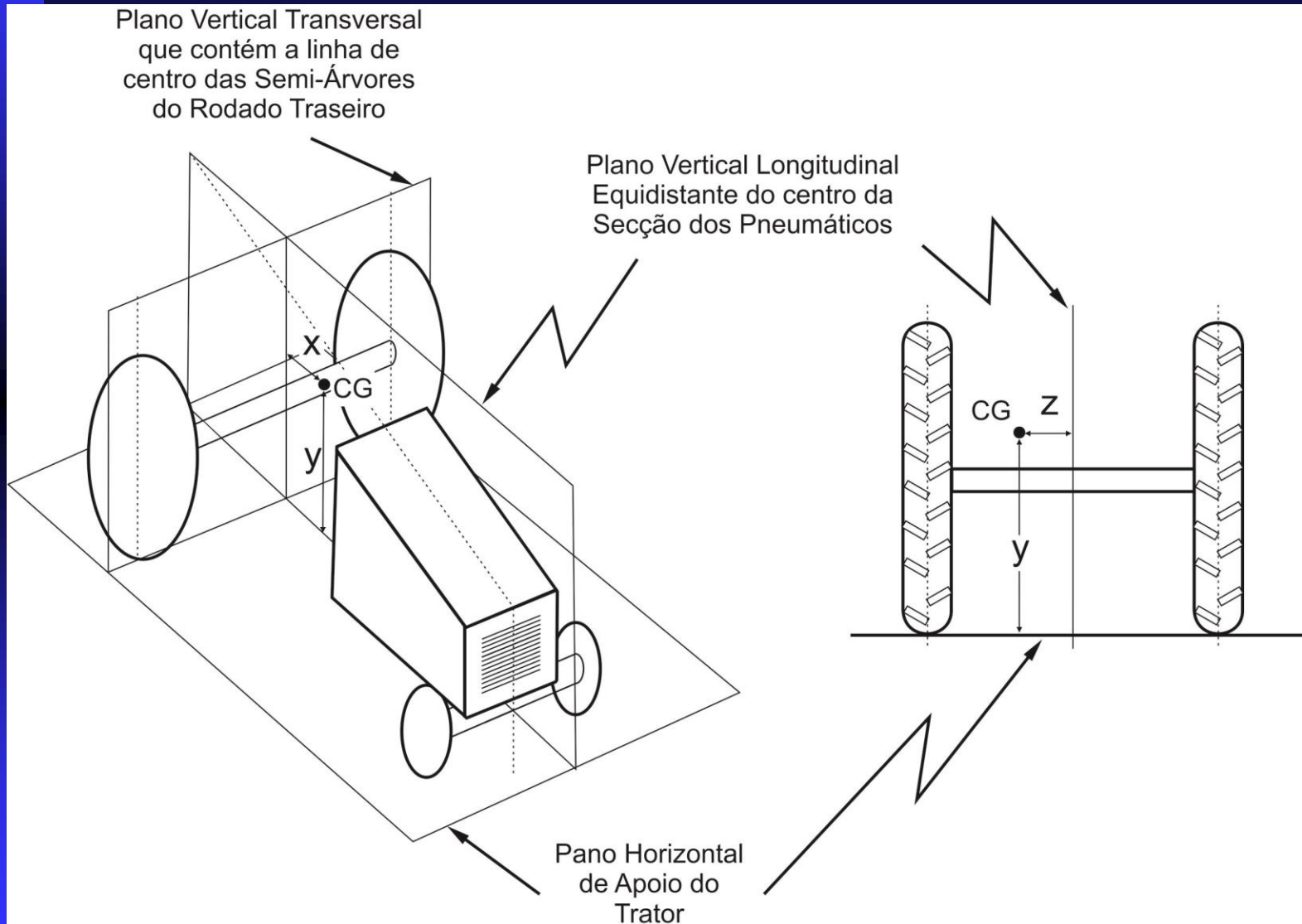
De 85 a 100 dB

Perdas  
Crescentes  
no nível de  
audição:  
reversíveis e  
irreversíveis

Exemplo de apresentação dos resultados do ensaio de nível de ruído em cada marcha, entre 4 e 17 km/h. *Fonte:* DEAVIA, 1987 (Relatório do Trator Massey Ferguson 275 TDA).

MARCHAS	CARGA NA BARRA (%)		PRESSÃO SONORA dB(A)	
	Nominal	Real	Ouvido	De fundo
4ª	25	24,4		
	75	74,4		
	100	-		
5ª	25	24,0		
	75	74,6		
	100	100,8		
6ª	25	25,4		
	75	74,2		
	100	99,1		
7ª	25	22,3		
	75	76,0		
	100	100,8		
8ª	25	25,8		
	75	76,9		
	100	96,6		
9ª	25	26,0		
	75	76,0		
	100	99,0		

## 2.5 Distribuição de Massa

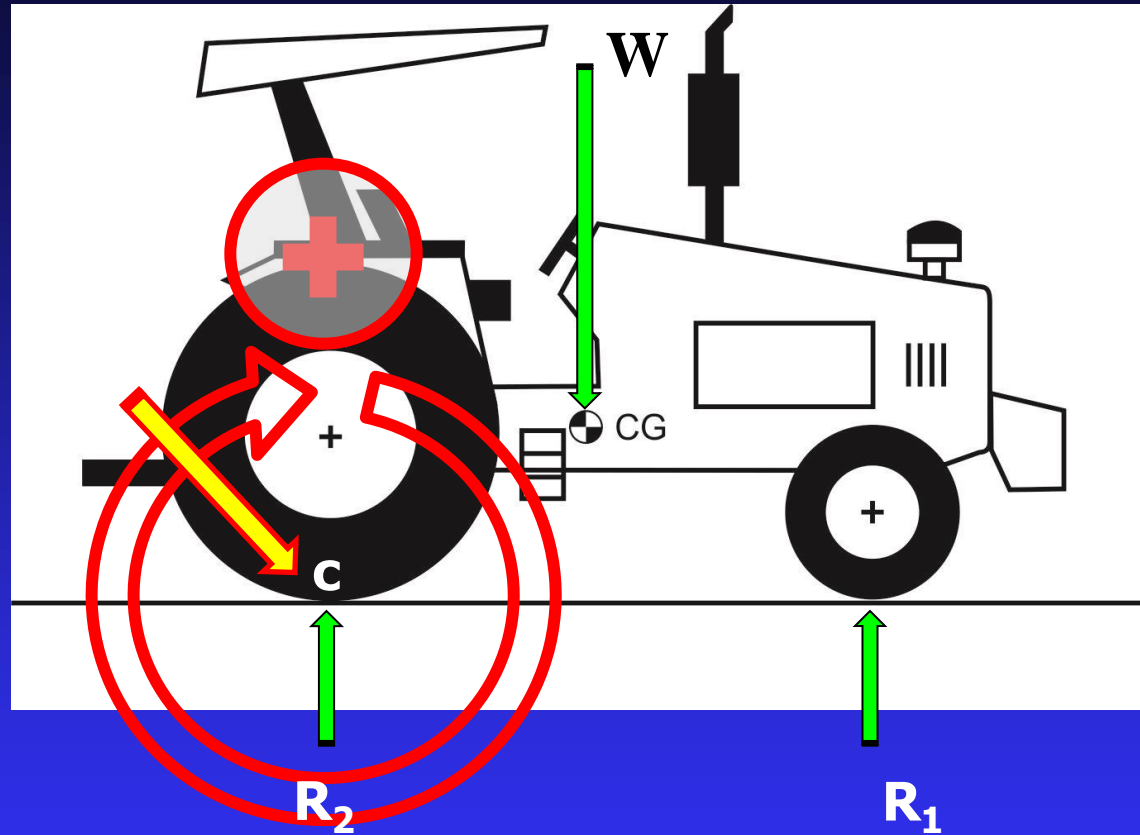


# Determinação

da "Cota X"

**Momento  
Angular (M)**

$$\underline{M = F \cdot b}$$



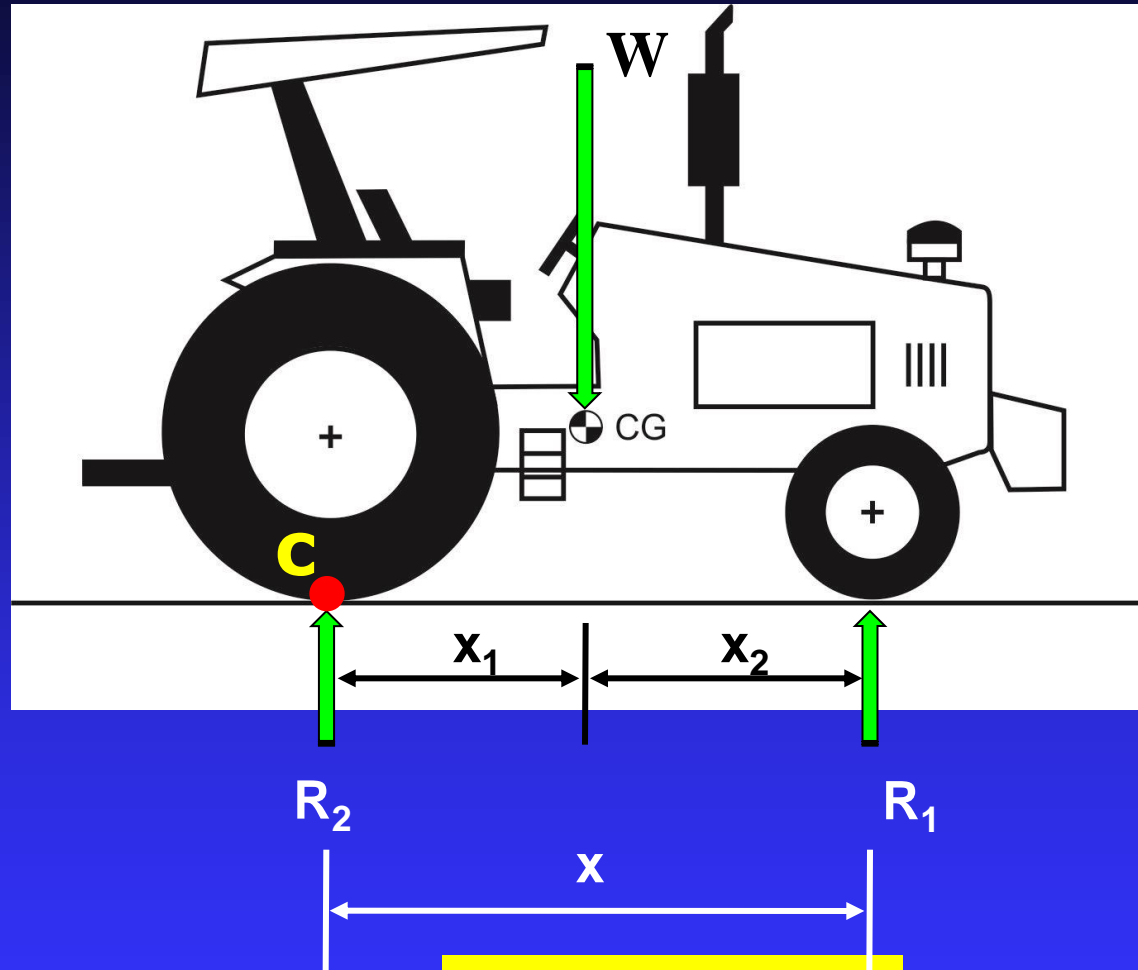
$$W - R_1 - R_2 = 0$$

# Determinação

da "Cota X"

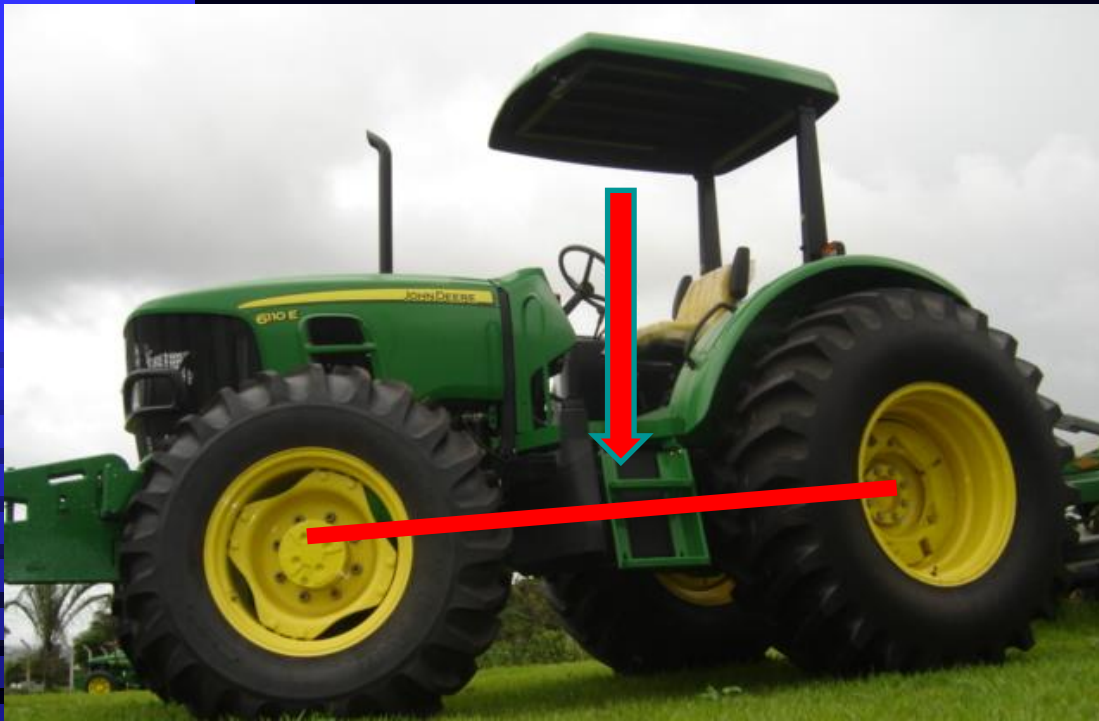
$$W \cdot X_1$$

$$- R_1 \cdot X$$



$$\Sigma_{MC} = W \cdot X_1 - R_1 \cdot X = 0$$

$$X_1 = \frac{R_1 \cdot X}{W}$$



# JD 6110E

Peso Total – 7.000kgf

Distância

Entre Eixos - 2.400mm

## Recomendação para tratores 2x2TDA

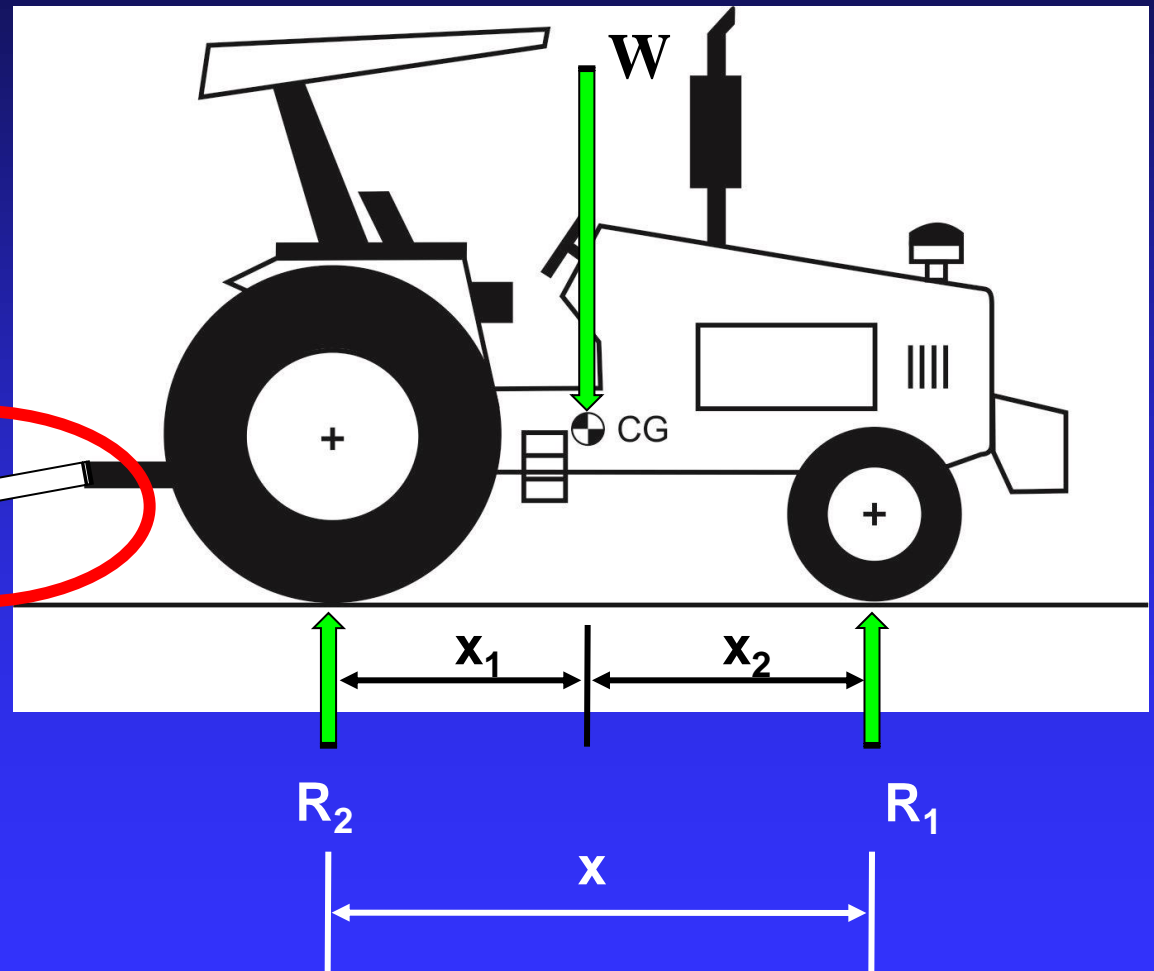
- % do peso total no eixo dianteiro – 40%

$$X_1 = \frac{7.000 \times 0,4 \times 2.400}{7.000} = 960\text{mm}$$

# Transferência de Peso

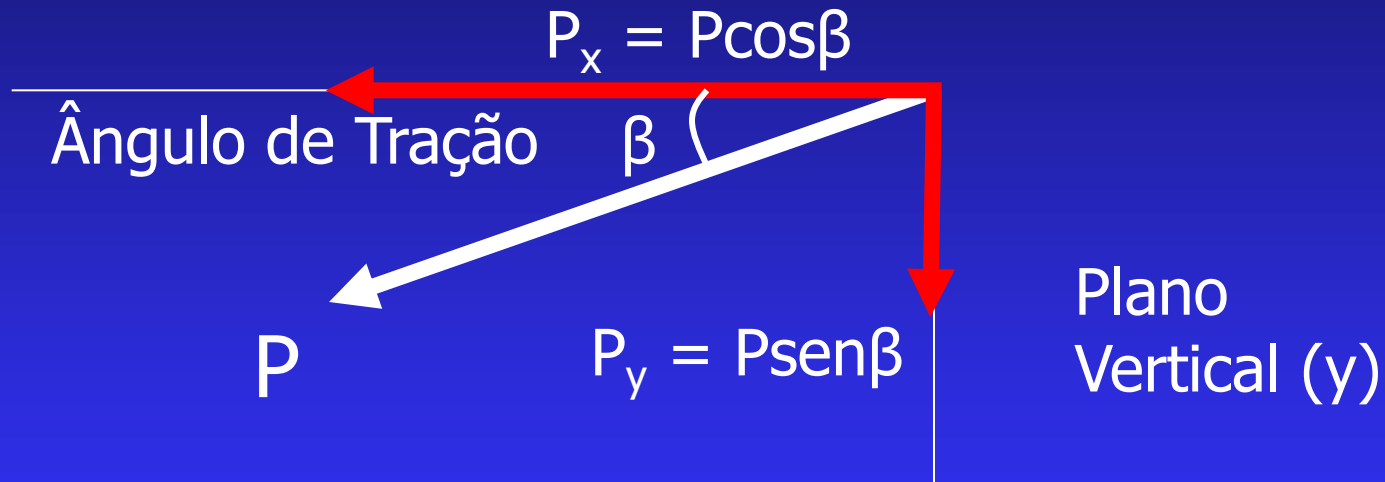
Força de Tração

P



# Transferência de Peso

Plano de Apoio (x)

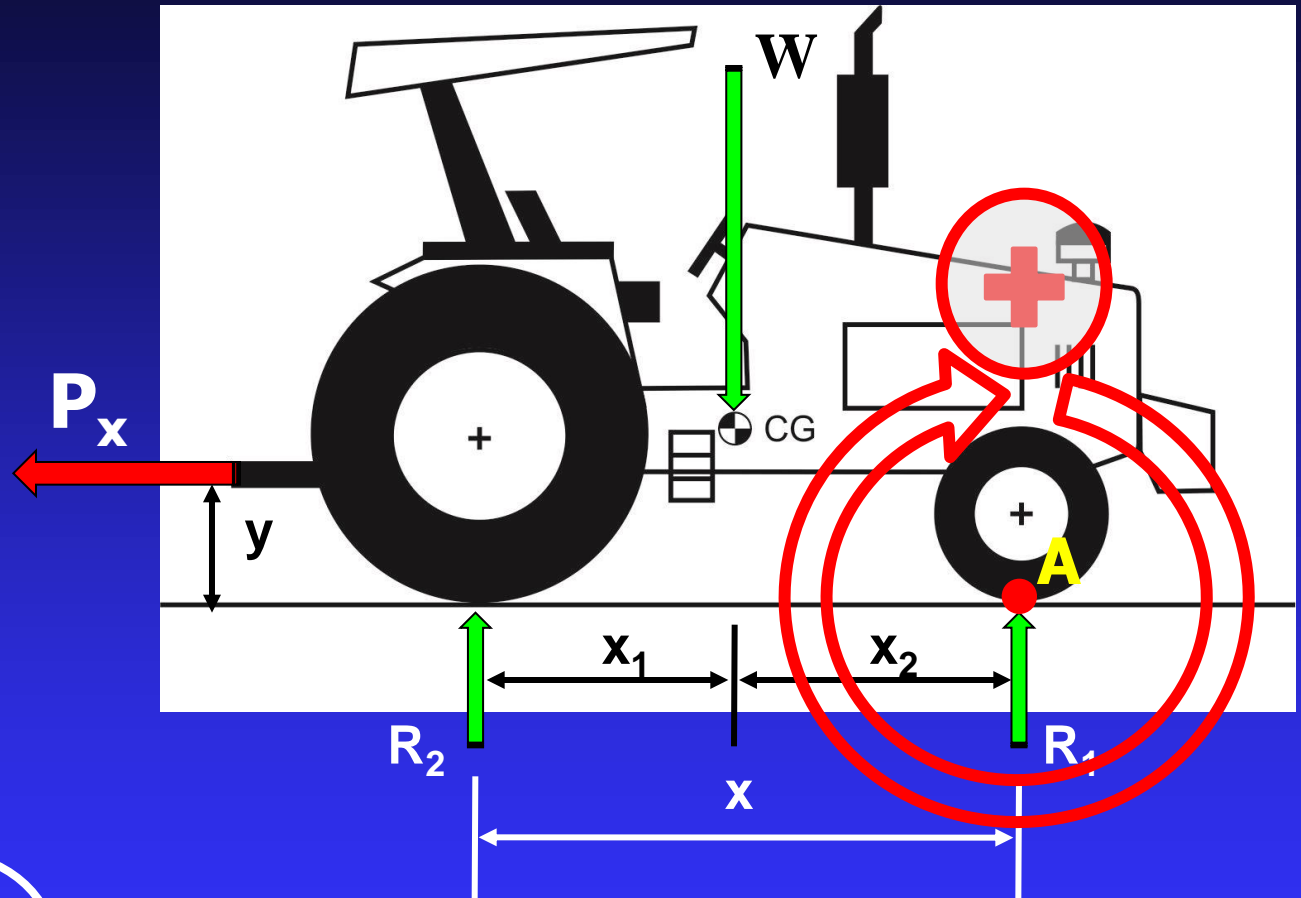


$$\beta \rightarrow 0$$

$$P_y \rightarrow 0$$

# Transferência de Peso

$$R_2 \cdot X$$
$$- W \cdot X_2$$
$$- P_x \cdot y$$



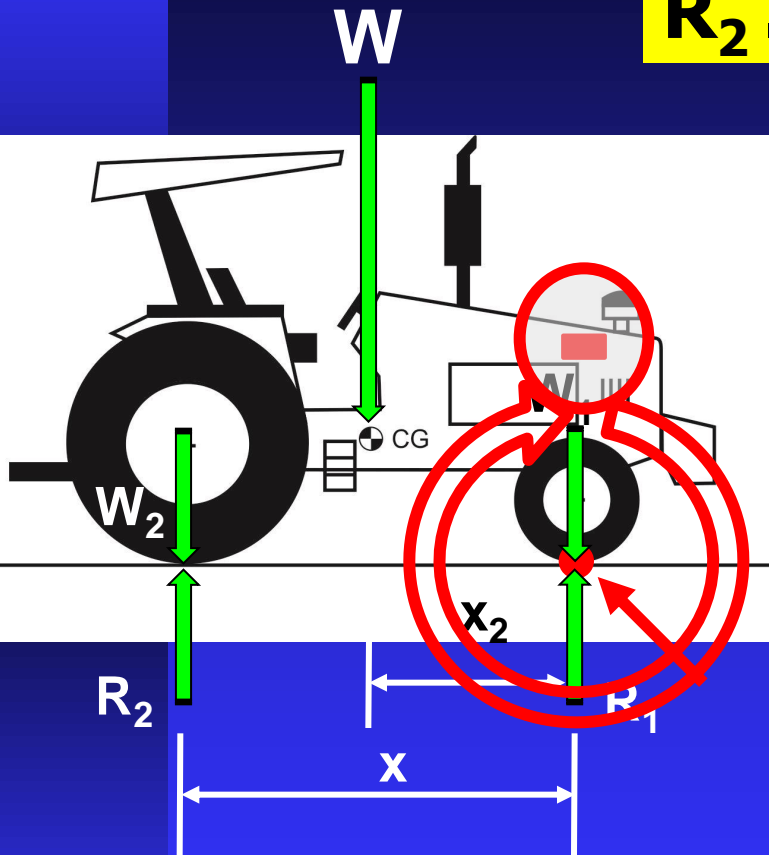
$$\sum_{MA} = R_2 \cdot X - W \cdot X_2 - P_x \cdot y = 0$$

$$R_2 \cdot X = W \cdot X_2 + P_x \cdot y$$



# Transferência de Peso

$$R_2 \cdot X = W \cdot X_2 + P_x \cdot y$$



$$W \cdot X_2 - R_2 \cdot X = 0$$

$$W \cdot X_2 = R_2 \cdot X$$

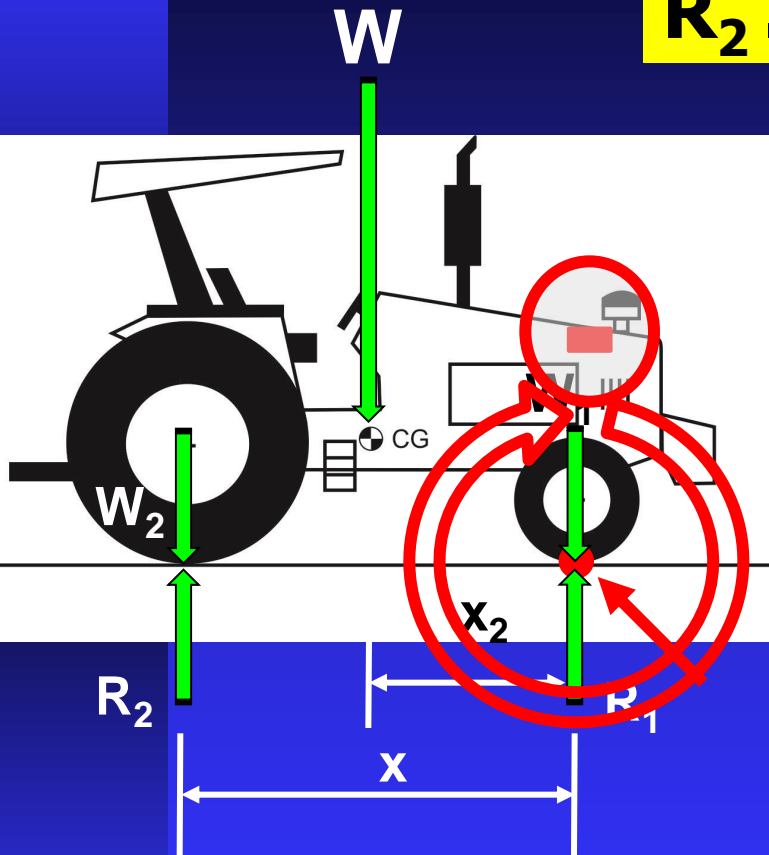
$$R_2 = W_2 \quad W \cdot X_2 = W_2 \cdot X$$

$$W_2 = \frac{W \cdot X_2}{X}$$

Limpendo o excesso...

# Transferência de Peso

$$R_2 \cdot X = W \cdot X_2 + P_x \cdot y$$



$$W \cdot X_2 - R_2 \cdot X = 0$$

$$W \cdot X_2 = R_2 \cdot X$$

$$R_2 = W_2 \quad W \cdot X_2 = W_2 \cdot X$$

$$W_2 = \frac{W \cdot X_2}{X}$$

Limpendo o excesso...

# Transferência de Peso

$$R_2 \cdot X = W \cdot X_2 + P_x \cdot y$$

$$R_2 = \frac{W \cdot X_2 + P_x \cdot y}{X} = \frac{W \cdot X_2}{X} + \frac{P_x \cdot y}{X}$$

Reação do  
Apoio da  
Roda  
Traseira

$$R_2 = W_2 + \frac{P_x \cdot y}{X}$$

Transferência  
de Peso

Massa sobre o Eixo Traseiro

# DESEQUILÍBRIO



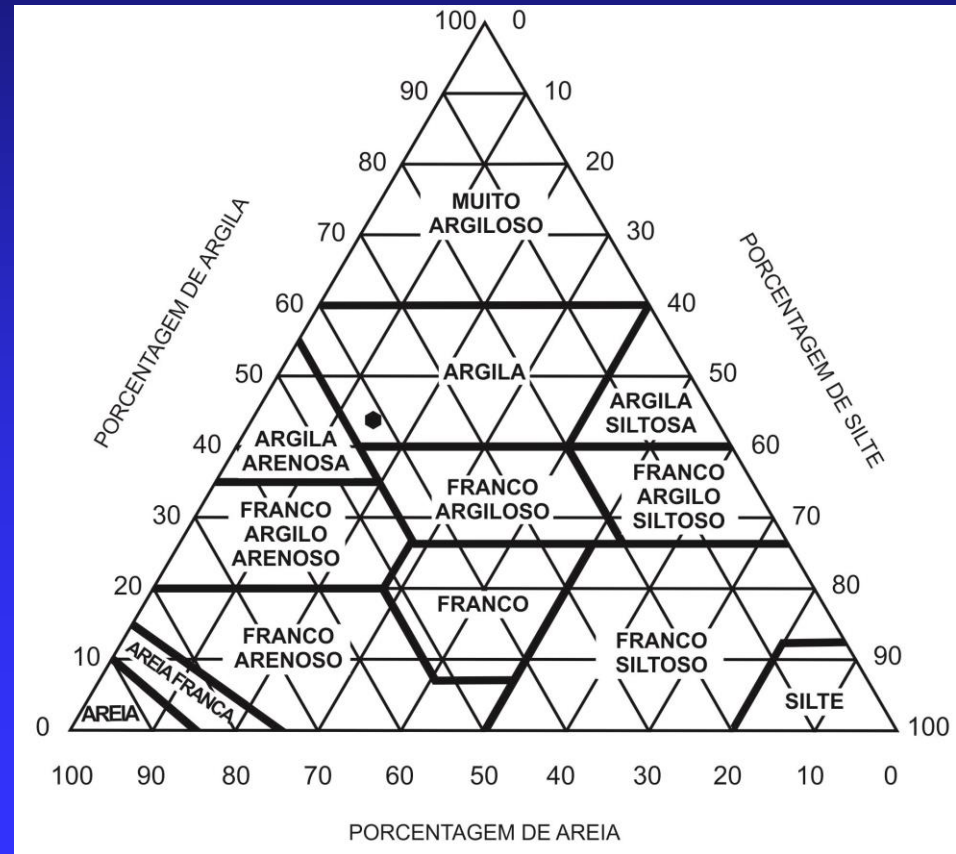
# PULLING



## 2.6 Desempenho em Solo Agrícola

Fatores relativos ao solo que influenciam no desempenho:

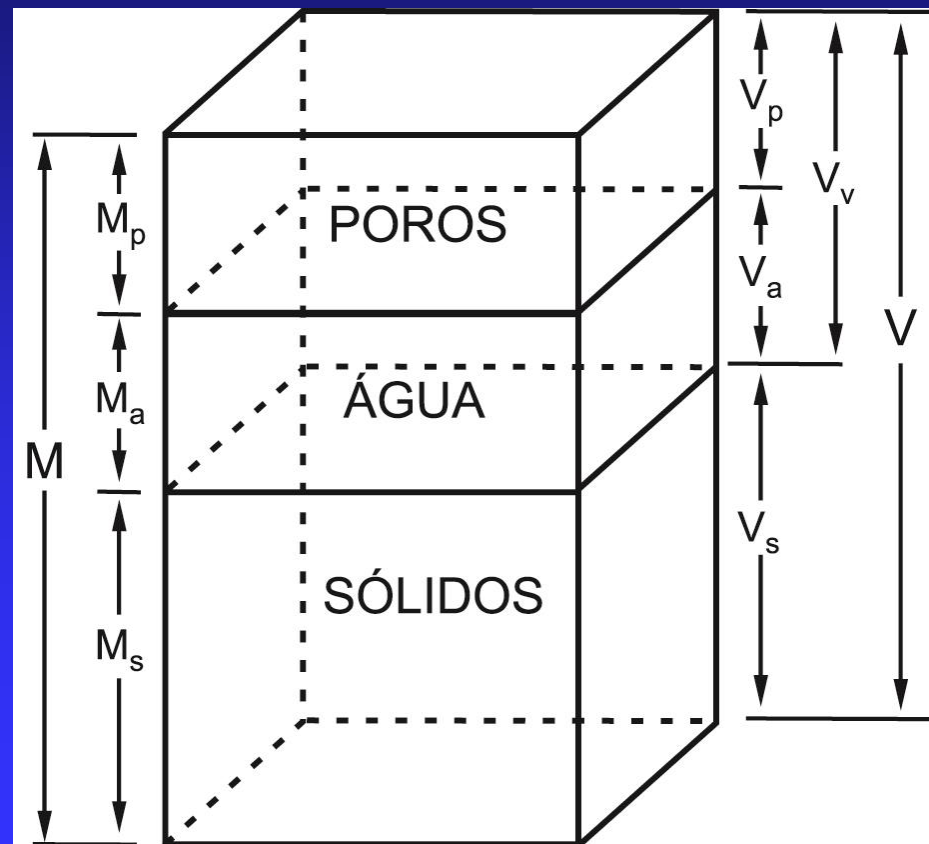
✓ Textura



## 2.6 Desempenho em Solo Agrícola

Fatores relativos ao solo que influenciam no desempenho:

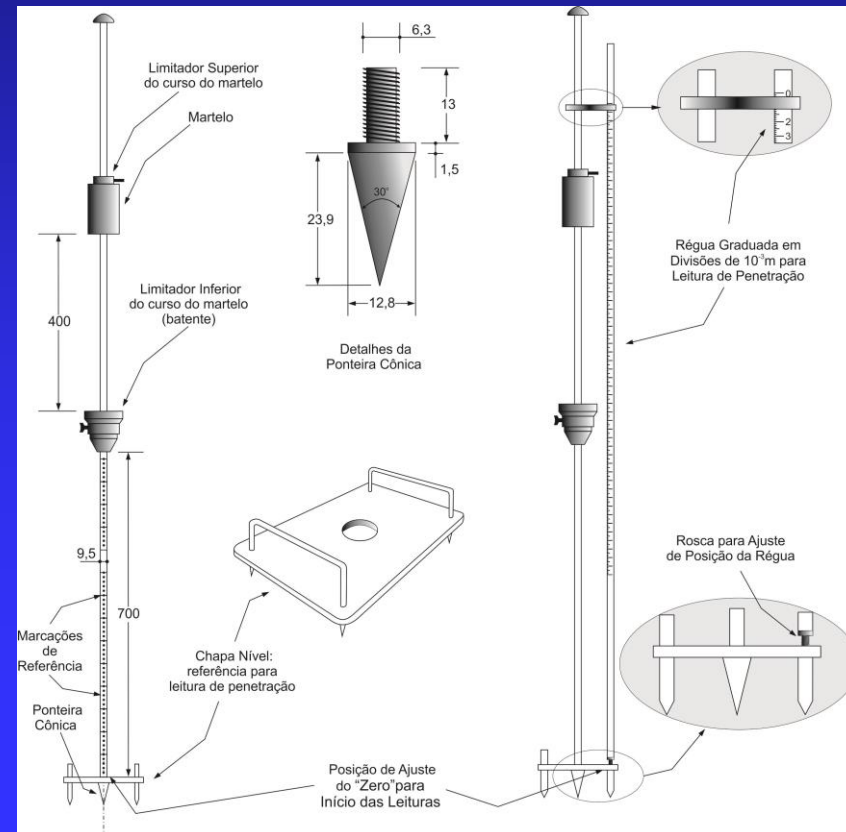
- ✓ Textura
- ✓ Umidade



# 2.6 Desempenho em Solo Agrícola

Fatores relativos ao solo que influenciam no desempenho:

- ✓ Textura
- ✓ Umidade
- ✓ Resistência à penetração (tração e cisalhamento)





## 2.6 Desempenho em Solo Agrícola

Fatores relativos ao solo que influenciam no desempenho:

- ✓ Textura
- ✓ Umidade
- ✓ Resistência à penetração (tração e cisalhamento)
- ✓ Cobertura vegetal



## 2.6 Desempenho em Solo Agrícola

Fatores relativos ao solo que influenciam no desempenho:

- ✓ Textura
- ✓ Umidade
- ✓ Resistência à penetração (tração e cisalhamento)
- ✓ Cobertura vegetal
- ✓ Topografia



## 2.6 Desempenho em Solo Agrícola

Fatores relativos ao solo que influenciam no desempenho:

- ✓ Textura
- ✓ Umidade
- ✓ Resistência à penetração (tração e cisalhamento)
- ✓ Cobertura vegetal
- ✓ Topografia
- ✓ Regularidade da superfície



Fatores relativos ao rodado que influenciam no desempenho:

- ✓ Dimensões (largura e diâmetro/comprimento)



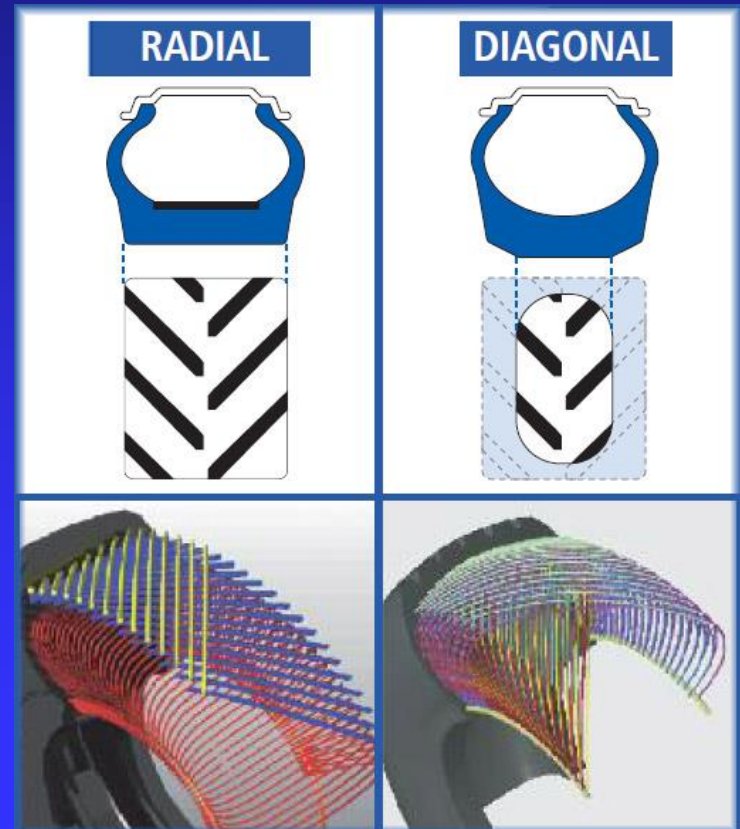
Fatores relativos ao rodado que influenciam no desempenho:

- ✓ Dimensões (largura e diâmetro/comprimento)
- ✓ Forma



Fatores relativos ao rodado que influenciam no desempenho:

- ✓ Dimensões (largura e diâmetro/comprimento)
- ✓ Forma
- ✓ Construção



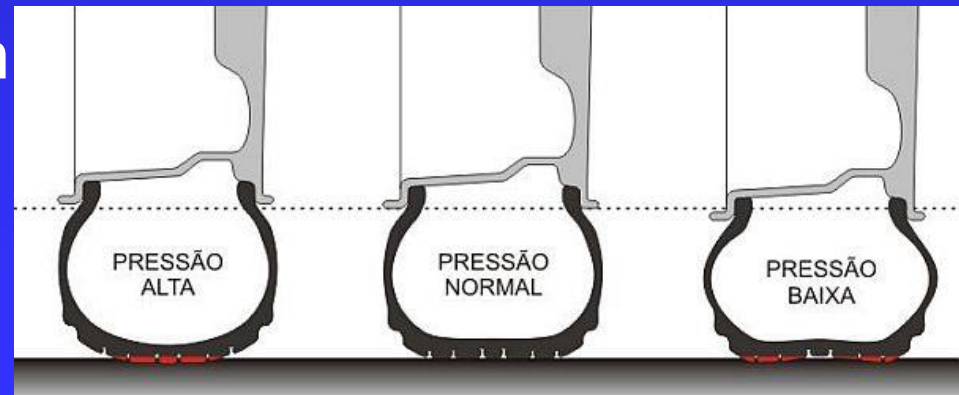
Fatores relativos ao rodado que influenciam no desempenho:

- ✓ Dimensões (largura e diâmetro/comprimento)
- ✓ Forma
- ✓ Construção
- ✓ Carga normal



## Fatores relativos ao rodado que influenciam no desempenho:

- ✓ Dimensões (largura e diâmetro/comprimento)
- ✓ Forma
- ✓ Construção
- ✓ Carga normal
- ✓ Pressão de insuflagem (pneumáticos)





## 2.6.1 Teoria da Tração

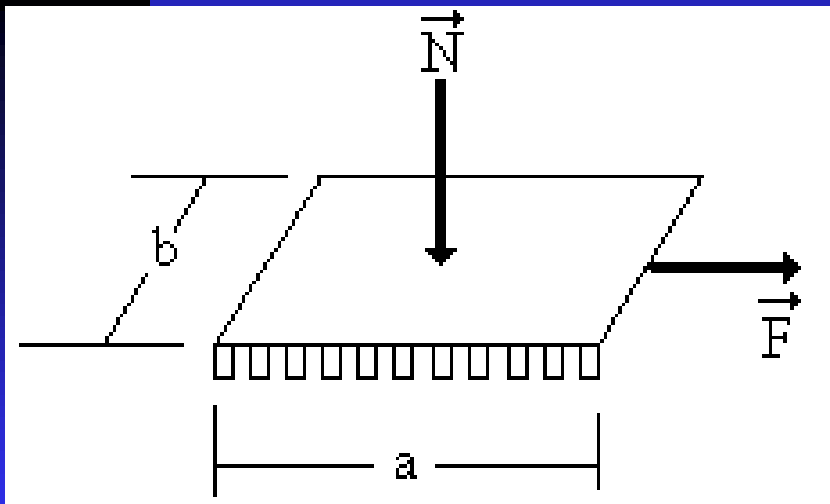
a) Noções elementares de dinâmica do solo

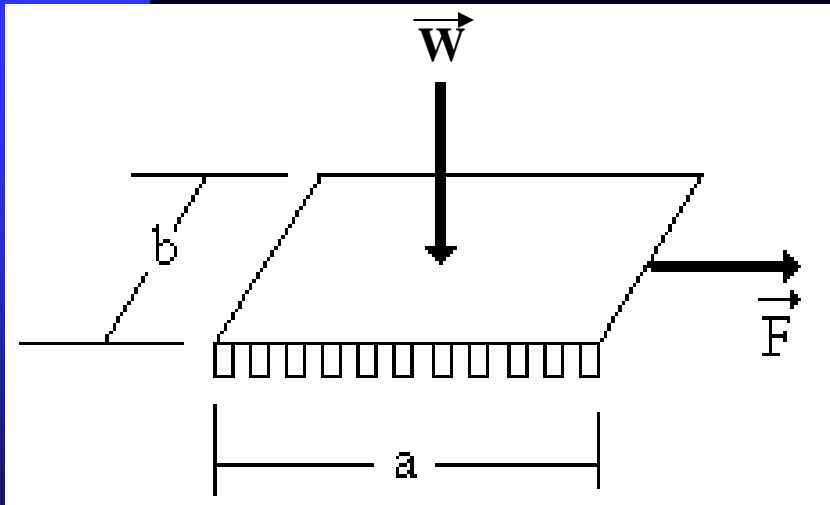
✓ Tensão de Cisalhamento

$$A = a \cdot b$$

N – Força Normal à placa

F – Força de Cisalhamento





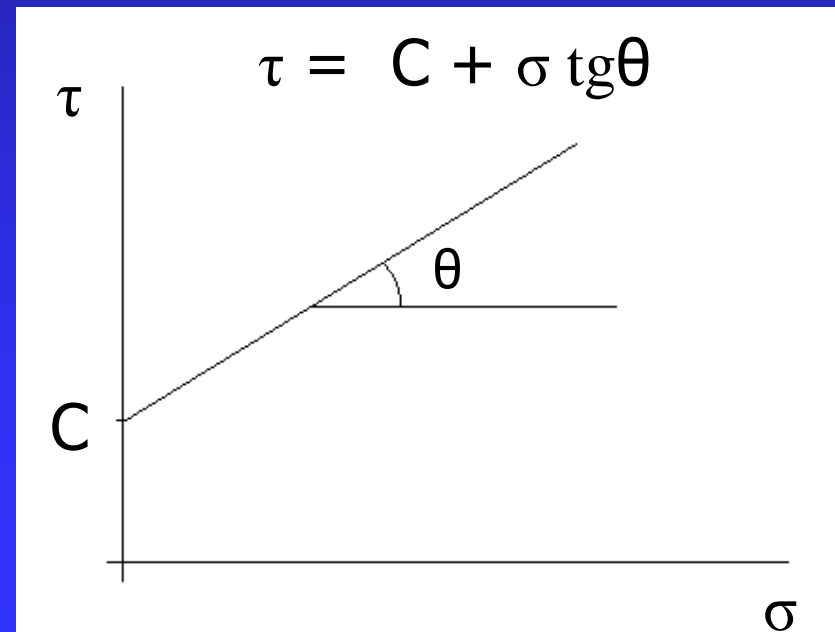
$$A = a \cdot b$$

W – Força Normal à placa

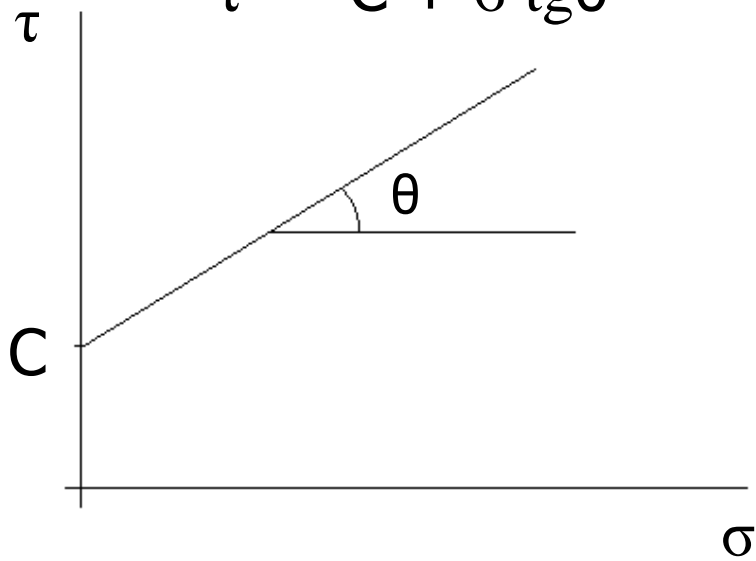
F – Força de Cisalhamento

$$\zeta = \frac{F}{A} \rightarrow \text{Tensão de Cisalhamento}$$

$$\sigma = \frac{W}{A} \rightarrow \text{Tensão Normal}$$



$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg}\theta$$



$$\zeta = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

$$\zeta = C + \sigma \operatorname{tg}\theta$$

$$\left[ \frac{F}{A} = C + \frac{W}{A} \operatorname{tg}\theta \right] \cdot A$$

$$\mathbf{F = AC + W \operatorname{tg}\theta}$$

$$\underline{F = AC + W \operatorname{tg}\theta}$$


Areia Seca:

$C = 0$  e  $\theta$  - Alto

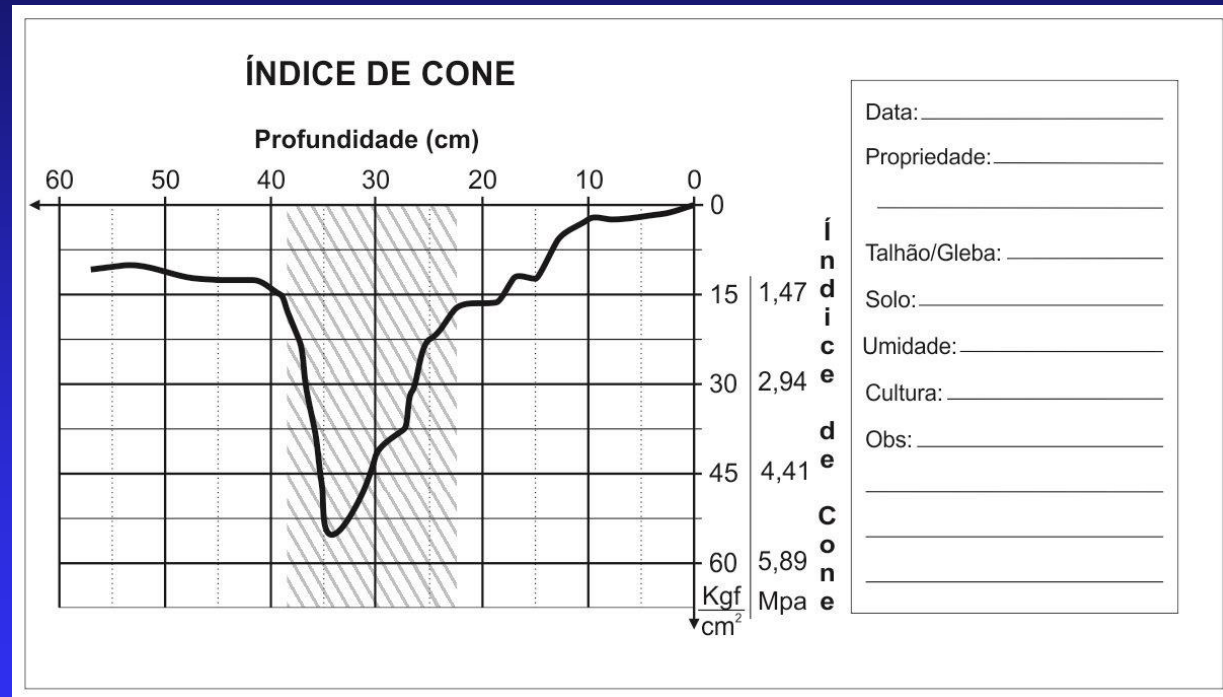
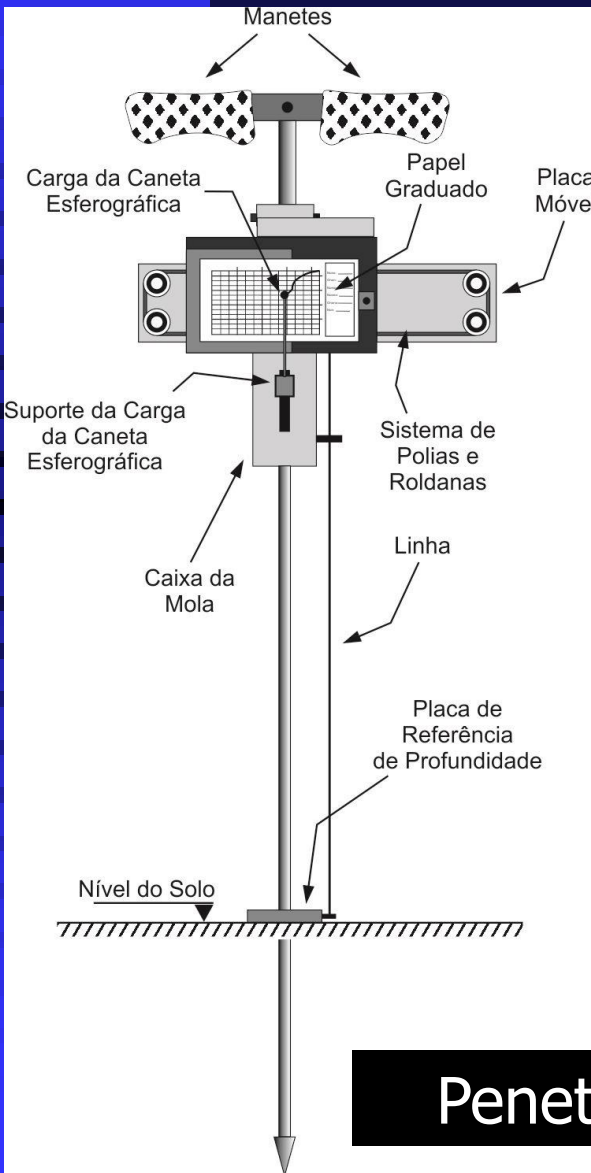
$$F = W \operatorname{tg}\theta$$

Argila úmida:

$C$  - Alto e  $\theta = 0$

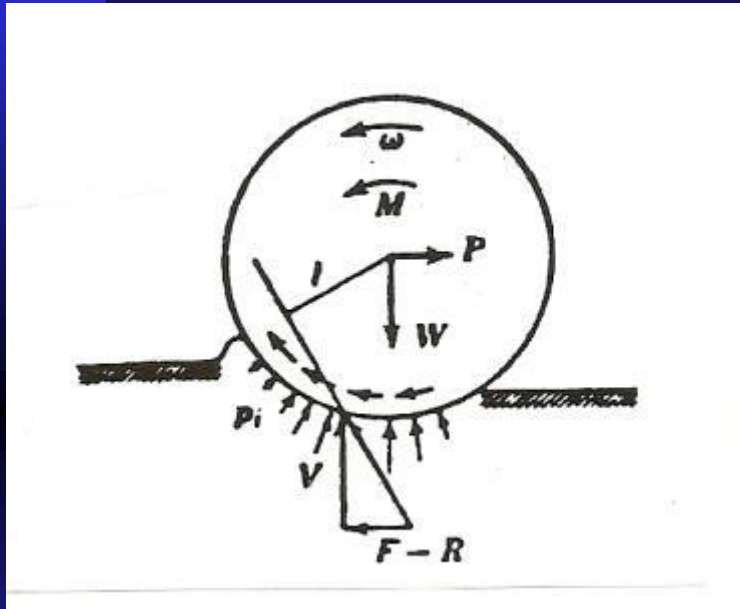
$$F = AC$$

## b) Resistência à penetração



**Penetrógrafo**

## b) Resistência ao rolamento



$$R = \sum_{i=0}^{\infty} P_{ix} b \Delta Z_i$$

$F$  – reação do solo na direção do movimento

$P$  – tração líquida transferida ao corpo do trator

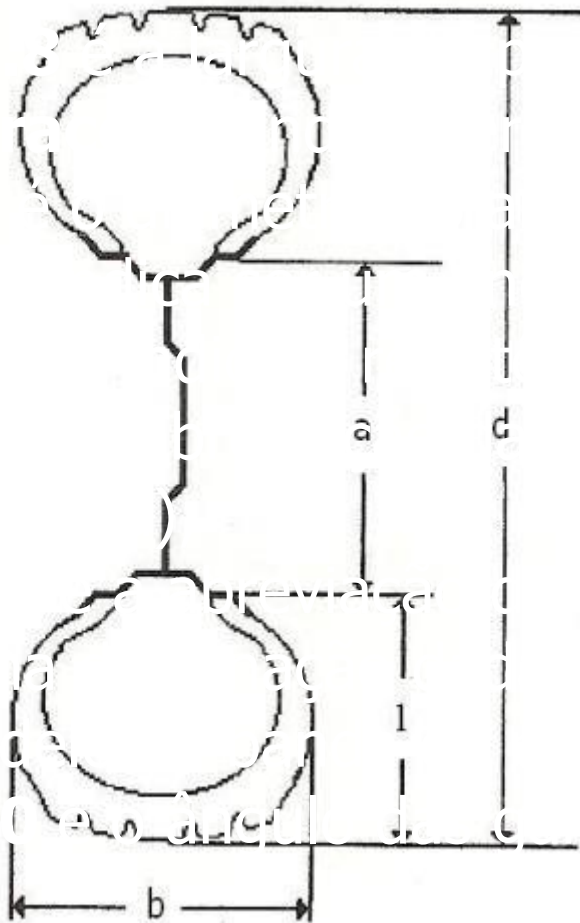
$$P = F - R$$

### c) O Modelo de Wismer e Luth (1973)

✓ Dimensões do rodado

$$b = l$$

$$d = a + 2b$$



em polegadas;

pneu de construção diagonal;

Dimensões dos Pneus Agrícolas  
em polegadas;

de tração regular de uso geral;

20.8-38 R-1 10 PR SAT 230  
a ou capacidade de carga/lonas

pressão *Ply Rating* - capacidade

expressão *Super All Traction*

elo fabricante que caracteriza o

gem);

s, na banda de rodagem.

## Dimensões dos Pneus Agrícolas

- **650** é a largura do pneu em milímetros;
- **75** é a relação percentual entre a altura e a largura da secção do pneu;
- **R** é pneu de construção radial;
- **32** é o diâmetro do aro em polegadas;
- **X** é a marca do fabricante para pneus radiais;
- **M28** caracteriza o modelo da banda de rodagem.



### c) O Modelo de Wismer e Luth (1973)

✓ Dimensões do rodado

$$b = l$$

$$d = a + 2b$$

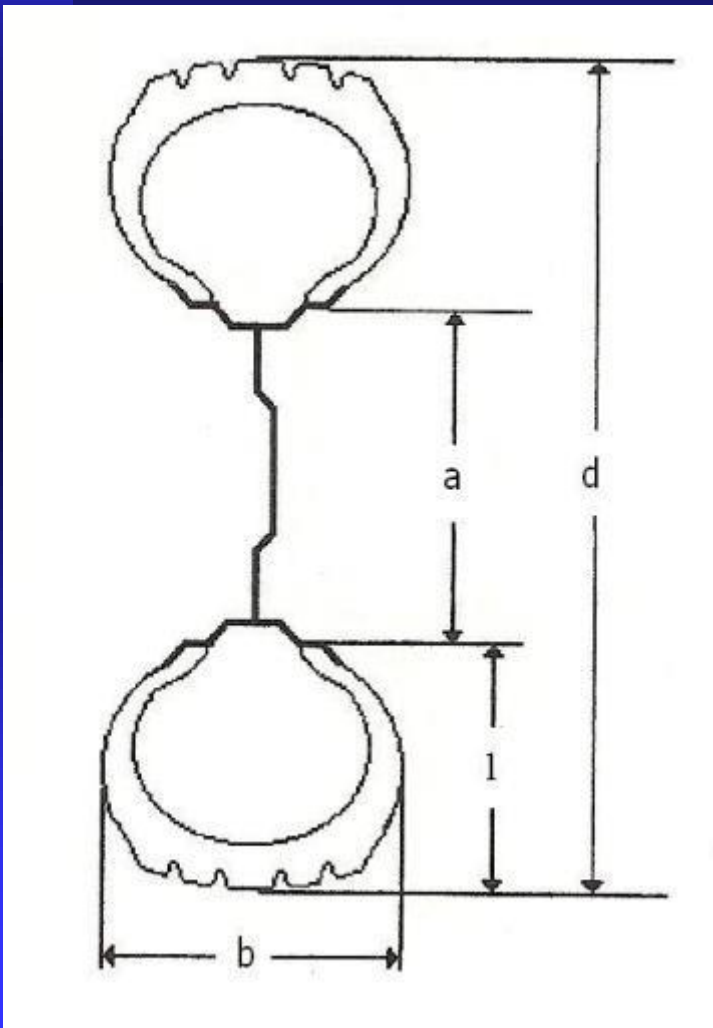
$$C_n = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W}$$

✓ Patinagem

$$s = \frac{V - V_0}{V}$$

$V$  – Velocidade sem carga

$V_0$  – Velocidade com carga



✓ O Modelo

$$F = 0,75 W (1 - e^{-0,3 Cn.s})$$

e – base dos logaritmos naturais ( $\sim 2,718$ )

$$R = W. \left( \frac{1,2}{Cn} + 0,04 \right)$$

$$P = F - R$$

$$ET = (1 - s) \left( 1 - \frac{R}{F} \right)$$

ET – Eficiência Tratória

## 2.7 O Fator 0,86

$Pot_{max}$  Motor

$Pot_{max}$  TDP =  $Pot_{max}$  Motor x 0,86

$Pot_{max}$  Barra =  $Pot_{max}$  TDP x 0,86

$Pot_{max}$  Solo Firme =  $Pot_{max}$  Barra x 0,86

$Pot$  Util Solo Firme =  $Pot_{max}$  Solo Firme x 0,86

$Pot$  Util Solo Cultivado =  $Pot$  Util S Firme x 0,86

$Pot$  Util Solo Solto =  $Pot$  Util S Cultivado x 0,86

## EXERCÍCIO

### Informações Sobre o Trator Valmet 885 4x2

Peso Total	5.240kg	Dimensões Pneus Traseiros	18.4/34
Peso Eixo Traseiro	3.670kg	Dimensões Pneus Dianteiros	9.00x16
Distância entre Eixos	2.350mm	Índice de Cone	13,7kgf/cm <sup>2</sup>
Altura da Barra de Tração	425mm	Tempo para Percorrer 30m	
		Sem carga	5,3s
		Com carga	6,2s

#### Determinar:

- A cota  $x$  do CG, estaticamente;
- A máxima força de tração desenvolvida nas condições propostas;
- A carga dinâmica no rodado de tração;
- O posicionamento do CG, dinamicamente;
- O coeficiente de tração;
- O coeficiente de resistência ao rolamento;
- O rendimento tratório máximo;
- A eficiência tratória.