



**UFRRJ** UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL  
DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia

# FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE CILINDROS MÚLTIPLOS

## IT154- MOTORES E TRATORES

Carlos Alberto Alves Varella

varella@ufrj.br



# Ordem de ignição

Sequência das expansões nos motores de combustão interna

Tem como objetivo o equilíbrio térmico e dinâmico do motor:

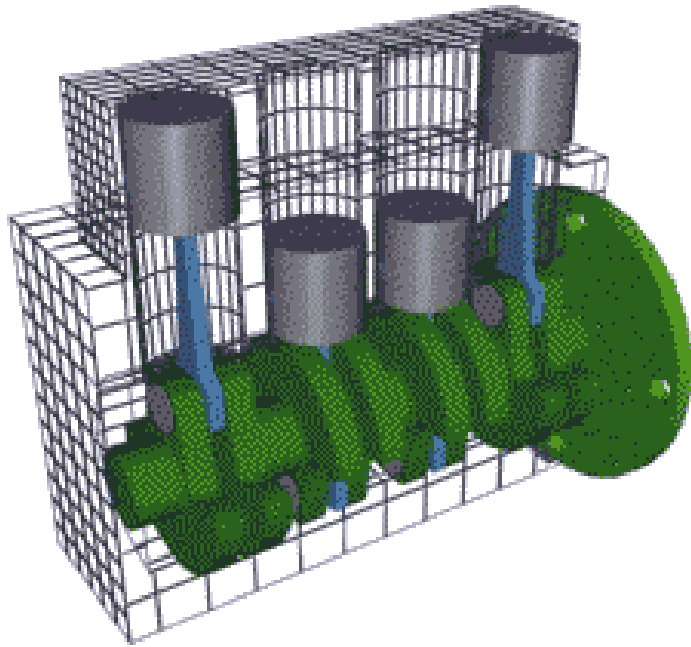
- O equilíbrio térmico evita concentração de calor em determinadas partes do motor;
- O equilíbrio dinâmico diminui as vibrações decorrentes da força das expansões sobre a árvore de manivelas.

# Disposição dos cilindros nos motores

Os motores de combustão interna são classificados em três tipos de acordo com a disposição dos cilindros:

1. Em linha: os cilindros são dispostos no sentido longitudinal na posição vertical;
2. Horizontal: os cilindros são dispostos no sentido transversal na posição horizontal;
3. Em V: os cilindros são dispostos no sentido transversal em forma de V.

# Cilindros dispostos em linha



**Menor número de componentes**

- fácil regulagem
- menor preço

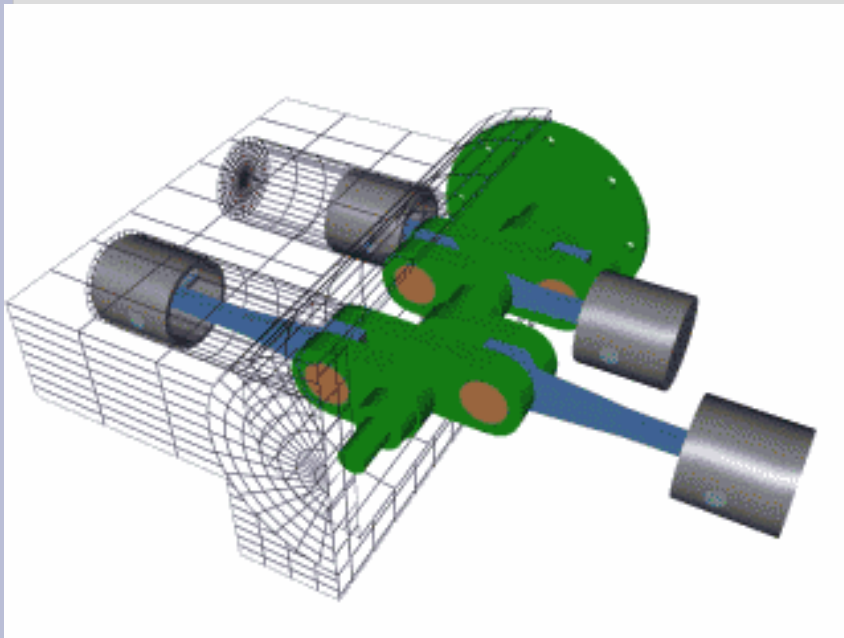
**Inadequado para mais de 6 cilindros**

- motor muito longo

**Tipo utilizado em motores de tratores agrícolas**

Fonte: <http://www.envenenado.com.br/howwork/tipos/tipos.html>

# Cilindros dispostos na horizontal



**Maior número de componentes que em linha**

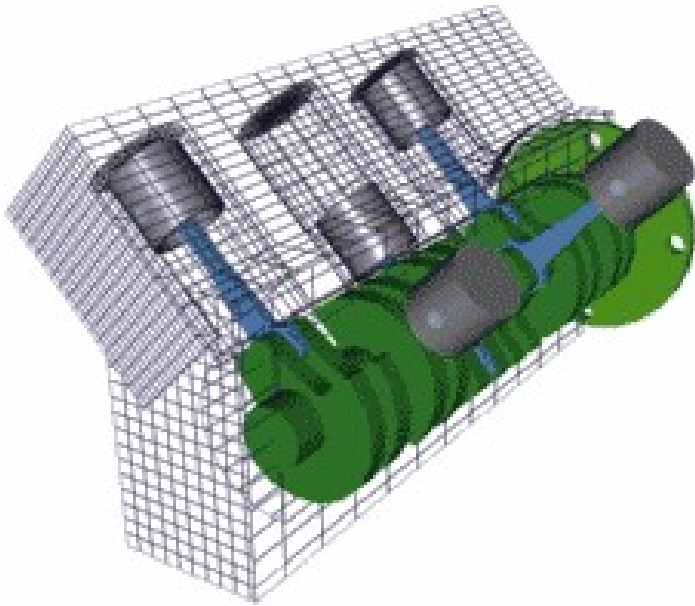
- difícil regulagem
- maior preço

**Menor nível de vibrações que em linha**

- **Motores de cilindros opostos ou horizontal**

Fonte: <http://www.envenenado.com.br/howwork/tipos/tipos.html>

# Cilindros dispostos em “V”



## **Maior número de componentes que em linha**

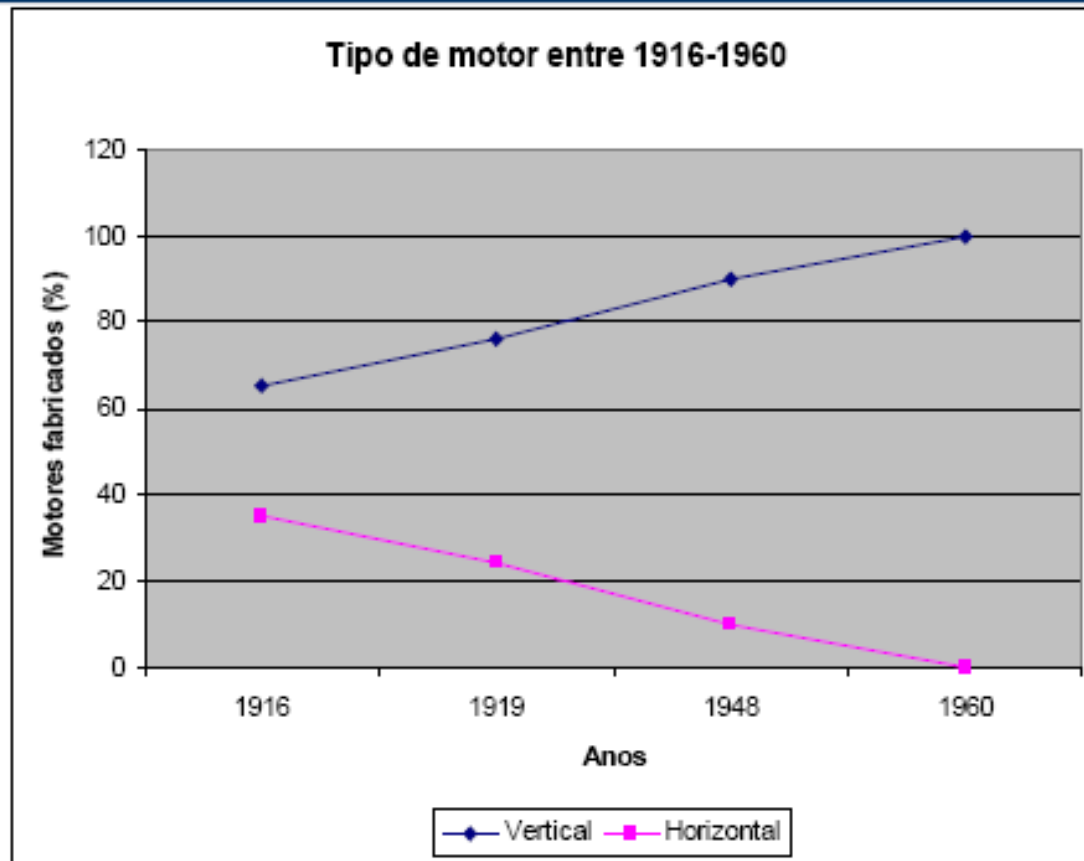
- difícil regulagem
- maior preço

## **Adequado para mais de 6 cilindros**

- motor compacto
- menores vibrações e ruídos que os demais

Fonte: <http://www.envenenado.com.br/howwork/tipos/tipos.html>

# Tendência do tipo de motor para tratores agrícolas entre 1916-1960



Fonte: BARGER, et al., (1966).

Exemplo de motor diesel, quatro tempos, dois cilindros em linha: Perkins série 400 10 - 44.7 kW (13 - 60 hp)

Frente



Trás



Performance Data	2800 rev/min		3000 rev/min		3600 rev/min	
	Gross Intermittent	Speed (rev/min)	Gross Intermittent	Speed (rev/min)	Gross Intermittent	Speed (rev/min)
Power Output (kW)	8.2	2800	8.8	3000	10.2	3600
Power Output (bhp)	11.0	2800	11.8	3000	13.7	3600
Peak Torque (Nm)	29.7	2000	29.7	2000	31.4	2600
Peak Torque (lbf ft)	21.9	2000	21.9	2000	23.2	2600



# Exemplo de motor diesel, quatro tempos, quatro cilindros em linha vertical: Perkins série 800 43-60 kW



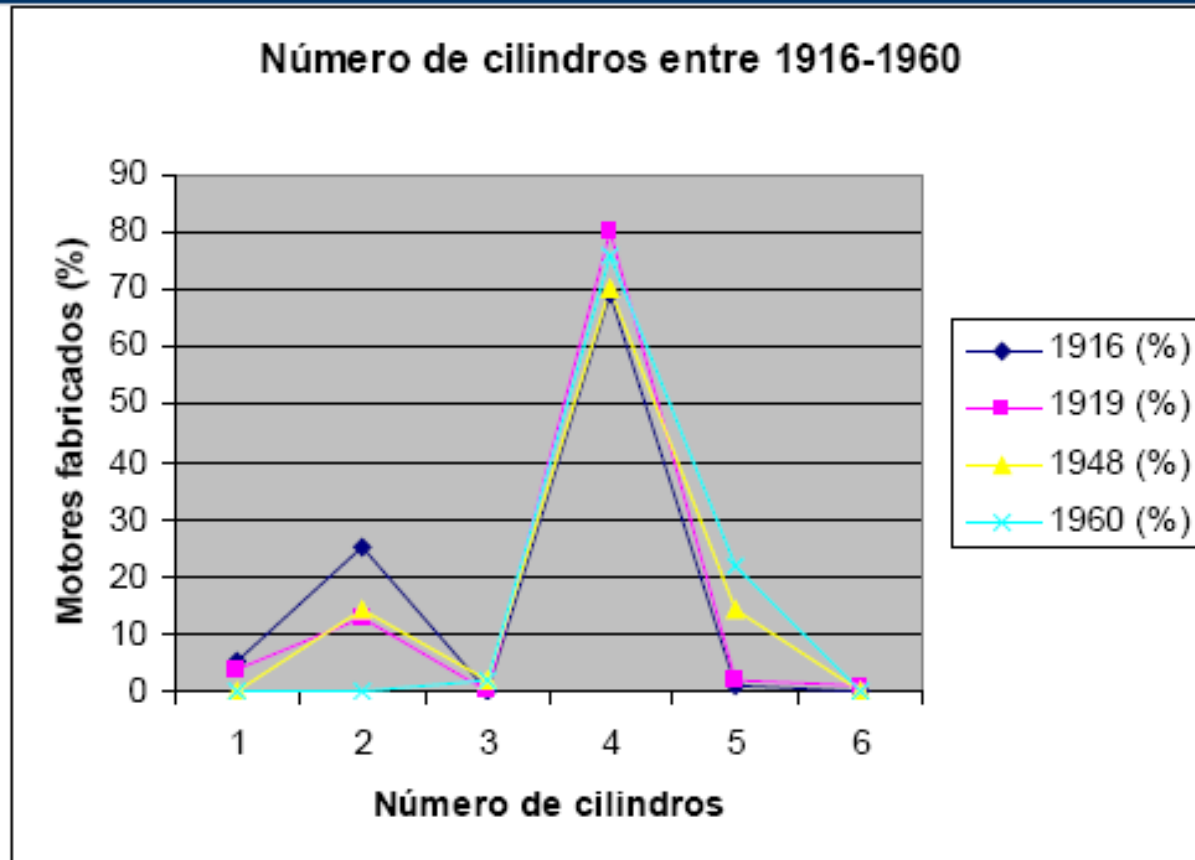
Performance Data	Gross (ISO/TR 14396)		Speed (rev/min)
Power Output (kW)	55.0	62.0	2500
Power Output (bhp)	73.7	83.1	2500
Peak Torque (Nm)	245.0	265.0	1600
Peak Torque (lbf ft)	180.7	195.0	1600

# Exemplo de motor diesel cilindros em linha vertical: 4 e 6 cilindros, Perkins série 1000 95-143 kW modelo 1006-6



Performance Data	Gross Intermittent (ISO/TR 14396)	Speed (rev/min)	Net Intermittent	Speed (rev/min)
Power Output (kW)	96.5	2600	87.0	2600
Power Output (bhp)	129.5	2600	101.5	2600
Peak Torque (Nm)	431.0	1200	390.0	1200
Peak Torque (lbf ft)	318.0	1200	287.0	1200

# Tendência do número de cilindros para motores de tratores agrícolas



Fonte: BARGER, et al., (1966).

# MOTOR DIESEL DE 6 CILINDROS COM INJEÇÃO ELETRÔNICA



Tratores Série 8000

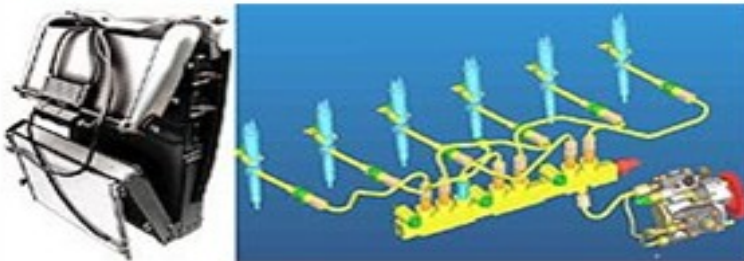
## Motor



Motor John Deere PowerTech Plus 9.0L:

- 6 cilindros, 9,0 litros de cilindrada;
- 4 válvulas por cilindro;
- Turbo compressor com After cooler ar-ar;
- Injeção eletrônica com Common Rail e bicos com sincronismo e abertura variável;

## Injeção Eletrônica



- Injeção eletrônica com Common Rail, resfriamento de combustível e bicos com sincronismo e abertura variável.

## Ordens de ignição usuais para motores de quatro tempos em linha

Número cilindros	Ordem de ignição 1	Ordem de ignição 2	Ordem de ignição 3
2	12	21	-
3	123	132	
4	1342	1432	1243
6	153624		

# Quadro de expansões

- Os parâmetros utilizados para construção do quadro são:

$oi$  = ordem de ignição

$\alpha$  = ângulo para o motor completar o ciclo

$\beta$  = ângulo de frequência das expansões

$\theta$  = ângulo correspondente a cada coluna do quadro

# Ciclo do motor, $\alpha$

- Ângulo para o motor completar o ciclo.
- É de  $360^\circ$  para motores 2T e  $720^\circ$  para motores 4T.

$$\alpha_{2T} = 360^\circ \text{ e } \alpha_{4T} = 720^\circ$$

# Frequência de expansões, $\beta$

- É o ângulo correspondente a cada expansão, isto é, de quantos em quantos graus de giro da árvore de manivelas ocorrem expansões.
- Depende do tipo de ciclo (2T ou 4T) e do número de cilindros do motor ( $n$ ).

$$\beta = \frac{\alpha}{n}$$



# Fase do ciclo, $\gamma$

- Ângulo correspondente a cada fase do ciclo.  
em que,  
 $\gamma$  = ângulo fase do ciclo, graus;  
 $\alpha$  = ângulo correspondente ao ciclo, graus;  
 $f$  = número de fases do ciclo = 4.

$$\gamma = \frac{\alpha}{f}$$

$$\gamma_{2T} = 90^\circ \quad \text{e} \quad \gamma_{4T} = 180^\circ$$

# Considerações sobre $\beta$ e $\gamma$

*Se  $\beta > \gamma$  expansões intercaladas*

*Exemplo : motor 4T ; 2 cilindros  $\beta = 720/2 = 360$  ;  $\gamma_{4T} = 180$*

*Se  $\beta = \gamma$  expansões sequenciais*

*Exemplo : motor 4T ; 4 cilindros  $\beta = 720/4 = 180$  ;  $\gamma_{4T} = 180$*

*Se  $\beta < \gamma$  expansões sobrepostas*

*Exemplo : motor 4T ; 6 cilindros  $\beta = 720/6 = 120$  ;  $\gamma_{4T} = 180$*

# Coluna do quadro, $\theta$

- Representa o ângulo de rotação da árvore de manivelas corresponde a cada coluna do quadro de expansões
- É obtido calculando-se o maior divisor comum de  $\beta$  e  $\gamma$ .

$$\theta = \text{mdc}(\beta, \gamma)$$

# Exemplo

- Calcular ângulo  $\theta$  do quadro de expansões. Motor 4T, 3cil-linha;  $o_i = 132$ .
- Solução:

$\alpha = 720^\circ$  motor 4T

$$\alpha_{4T} = 720^\circ$$

$$\beta = \frac{720}{3} = 240$$

# Cálculo do mdc ( $\beta$ , $\gamma$ )

- Algoritmos da coluna 2 são multiplicados entre si e pelo número de ocorrência dos mesmos simultaneamente nas colunas 2 e 4.

$$\theta = \text{mdc}(240, 180) = (2 \times 2) \times (3 \times 1) \times (5 \times 1) = 60^\circ$$

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
$\beta$ , ângulo	$\beta$ , Decomposição	$\gamma_{4T}$ , ângulo	$\gamma_{4T}$ , Decomposição
240	2	180	2
120	2	90	2
60	2	45	3
30	2	15	3
15	3	5	5
5	5	1	
1			

# Número de colunas, C

- Depende do ângulo ciclo do motor ( $\alpha$ ) e do ângulo coluna ( $\theta$ ):

$$C = \frac{\alpha}{\theta} = \frac{720}{60} = 12$$

# Número de linhas, L

- O número de linhas do quadro de expansões é igual ao número de cilindros do motor.

$$L = n = 3$$

# Quadro de expansões

- Motor 4T-3cil-linha-132

CIL	Ângulo da árvore de manivelas											
	0-60	60-120	120-180	180-240	240-300	300-360	360-420	420-480	480-540	540-600	600-660	600-720
1	<b>EXP</b>	EXP	EXP	DES	DES	DES	ADM	ADM	ADM	COM	COM	COM
2	DES	DES	ADM	ADM	ADM	COM	COM	COM	<b>EXP</b>	EXP	EXP	DES
3	ADM	COM	COM	COM	<b>EXP</b>	EXP	EXP	DES	DES	DES	ADM	ADM



# Desenho da árvore de manivelas

- Utilizar a primeira coluna do quadro de expansões para desenhar a árvore de manivelas.

CIL	
	0-60
1	<b>EXP</b>
2	DES
3	ADM

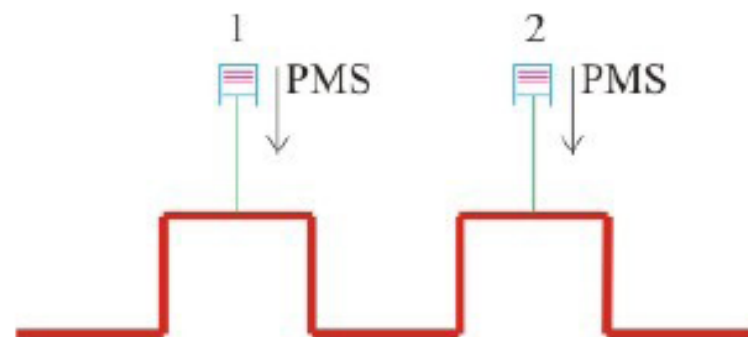
- Cilindro 1 : Expansão PMS 0°
- Cilindro 2 : Descarga PMI 60°
- Cilindro 3 : Admissão PMS 120°

# Árvore de manivelas para motores de quatro tempos, dois cilindros em linha

- Ordens de ignição: 12 ou 21

Quadro de expansões para 2 cilindros 4 tempos em linha com ordem de ignição 12

CIL	0-180	180-360	360-540	540-720
1	EXP	DESC	ADM	COMP
2	ADM	COMP	EXP	DESC

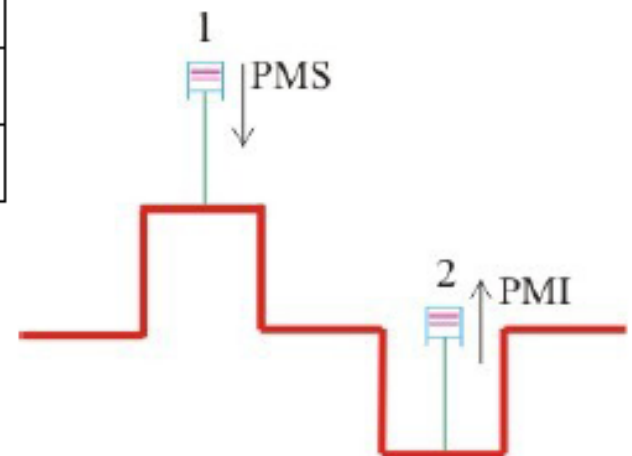


# Árvore de manivelas para motores de dois tempos, dois cilindros em linha

- Ordens de ignição: 12 ou 21

Quadro de expansões para motores de dois tempos, dois cilindros, ordem de ignição 12

CIL	0-180	180-360
1	EXP-DESC	ADM-COMP
2	ADM-COMP	EXP-DESC

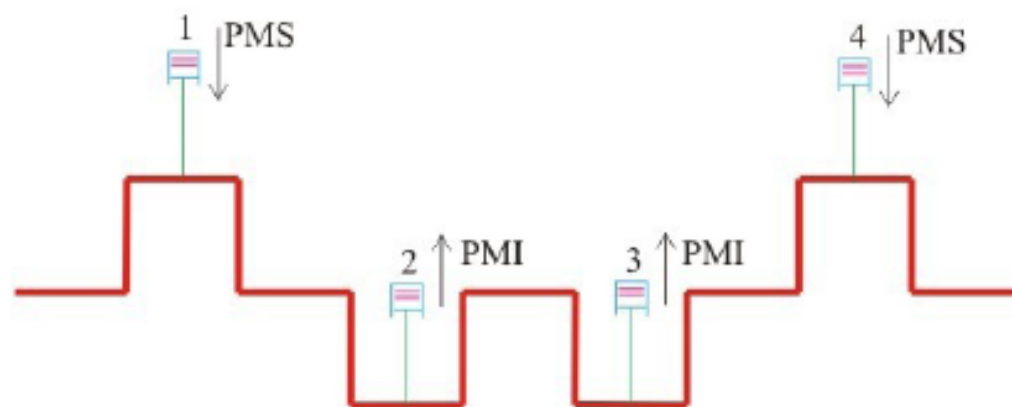


- Ordens de ignição: 1243,1342 ou 1432

## Árvore de manivelas para motores de quatro tempos, quatro cilindros

Quadro de expansões para motores de 4 cilindros 4 tempos com ordem de ignição 1342

CIL	0-180	180-360	360-540	540-720
1	<b>EXP</b>	DESC	ADM	COMP
2	DESC	ADM	COMP	<b>EXP</b>
3	COMP	<b>EXP</b>	DESC	ADM
4	ADM	COMP	<b>EXP</b>	DESC



# Exemplo de especificações técnicas do motor de uma colhedora de forragens

## Especificações Técnicas da Frrageira Autopropelida John Deere 7300

### Motor:

Fabricante - Modelo	John Deere - 6125HZ
Número de Cilindros	6 em linha
Cilindrada - Litros	12,5
Potência a 1.900 rpm - kW (hp)	305 (415)
Potência a 2.100 rpm - kW (hp)	273 (370)
Potência Extra - kW (hp)	32 (45)
Rotação de potência nominal - rpm	2.200
Acionamento do ventilador de arrefecimento	Viscosidade variável
Capacidade do tanque de combustível - L	700

# Colhedora de forragem marca John Deere, modelo 7300



**Barra de corte**  
**Cilindro alimentador**  
**Cilindro de corte**  
**Processador de grãos**

**Impulsor**

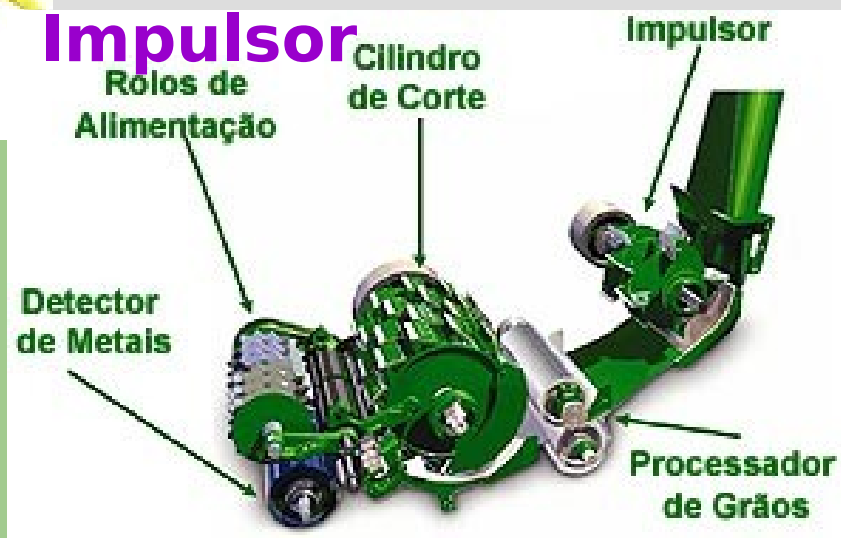
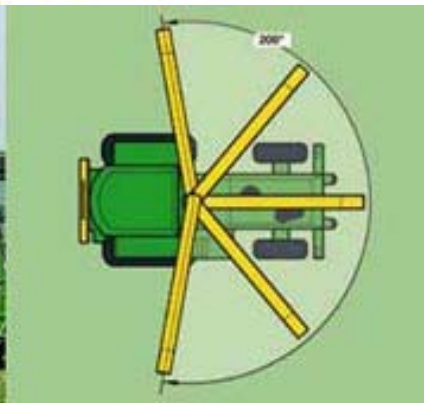
**Rolos de Alimentação**

**Cilindro de Corte**

**Impulsor**

**Detector de Metais**

**Processador de Grãos**



# Cálculo da cilindrada minuto

$$C_{\min} = \frac{C_t \cdot N}{\Delta}$$

$$C_{\min} = \frac{12,5 \cdot 1900}{2} = 11.875 \text{ L}$$

# Cálculo da cilindrada parcial

$$C_p = \frac{C_t}{n} = \frac{12,5}{6} = 2,0833 \text{ L}$$



# Cálculo do número de expansões por minuto

$$EXP = \frac{360}{\beta} \cdot N$$

EXP= número de expansões por minuto;

$\beta$ = ângulo correspondente à cada expansão, graus;

N= rotação do motor, rpm

# Ângulo correspondente à cada expansão, $\beta$

$$\beta = \frac{\alpha}{n}$$

$\beta$  = ângulo correspondente à cada expansão;  
 $\alpha$  = ângulo correspondente ao realização do ciclo;  
 $n$  = número de cilindros do motor.

Exercício: Calcular exp/min e âng.  $\beta$  para motor de 4T-6cil-linha-153624;  $N=2100$  rpm. Fazer quadro de expansões e desenho da árvore de manivelas.