

25/4/2010



DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA

FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE CILINDROS MÚLTIPLOS

FUNIONAMENTO DOS MOTORES DE CILINDROS MÚLTIPLOS

Carlos Alberto Alves Varella¹

Os motores de cilindros múltiplos apresentam sempre ordem de ignição. A ordem de ignição é a sequência das expansões que ocorrem nos cilindros do motor. Tem como objetivo o equilíbrio térmico e dinâmico do motor. O equilíbrio térmico evita que ocorra uma concentração de calor em determinada parte do motor. O equilíbrio dinâmico diminui as vibrações decorrentes das forças das expansões sobre a árvore de manivelas. No Quadro 1 são apresentadas ordens de ignição usuais para motores de quatro tempos em linha.

Quadro 1. Ordem de ignição para motores 4T em linha

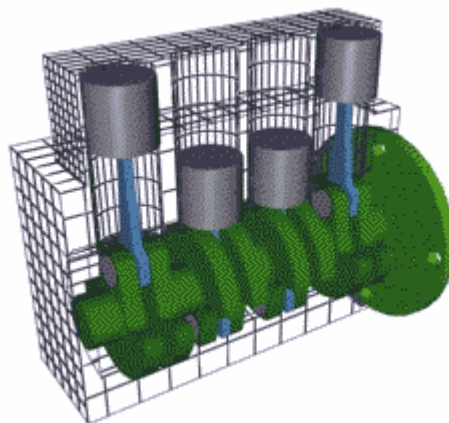
| Número cilindros | Ordem de ignição 1 | Ordem de ignição 2 | Ordem de ignição 3 |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 2 | 12 | 21 | - |
| 3 | 123 | 132 | |
| 4 | 1342 | 1432 | 1243 |
| 6 | 153624 | | |

DISPOSIÇÃO DOS CILINDROS

As disposições de cilindros mais usuais em motores de combustão interna são: em linha, horizontal e V.

Cilindros dispostos em linha

Motores com essa disposição de cilindros apresentam menor número de componentes, são de mais fácil regulagem e menor preço que os horizontais e V. Contudo essa disposição é inadequada para motores com mais de seis cilindros, devido que o motor torna-se muito longo. É o tipo mais utilizado em tratores agrícolas.



[Animação](#) 1. Cilindros dispostos em linha.

Fonte: <http://www.envenenado.com.br/howwork/tipos/tipos.html>. Acessado em abr/2010.

¹ Professor. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, IT-Departamento de Engenharia, BR 465 km 7 - CEP 23890-000 – Seropédica – RJ. E-mail: varella@ufrj.br.

QUADRO DE SEQUÊNCIA DAS EXPANSÕES

Neste quadro podemos visualizar a seqüência das expansões e a posição de cada pistão em relação ao ponto morto superior ou inferior. Os parâmetros utilizados para a construção do quadro são: ângulo para o motor completar o ciclo (α), ângulo de frequência das expansões (β) e o ângulo correspondente a cada coluna deste quadro (θ).

Ciclo do motor (α)

Este ângulo é de 360° para motores 2T e 720° para motores 4T.

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

Frequência das expansões (β)

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 (Equação 1).

$$\beta = \frac{\alpha}{n} \quad (1)$$

Equação 1. Frequência das expansões

em que,

β = ângulo de frequência das expansões, graus;

α = ângulo correspondente ao ciclo, graus;

n = número de cilindros do motor.

Fase do ciclo (γ)

Este ângulo é 180° para motores de quatro tempos e 90° para motores de dois tempos, porque os motores 4T realizam o ciclo em 720° , cada curso correspondente a uma das fases do ciclo. Os motores 2T realizam o ciclo em 360° , e cada curso corresponde a duas fases do ciclo.

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

Coluna do quadro (θ)

É obtido calculando-se o maior divisor comum de β e γ (Equação 2). Representa o ângulo de rotação da árvore de manivelas corresponde a cada coluna do [quadro de seqüência das expansões](#).

$$\theta = mdc(\beta, \gamma)$$

Equação 2. Coluna do quadro.

Exemplo 1- Calcular o ângulo de rotação da árvore de manivelas correspondente a cada coluna do quadro de seqüência das expansões. Motor de quatro tempos, três cilindros em linha e que apresenta ordem de ignição 132.

Solução:

- O ângulo α é 720° porque o motor é de quatro tempos:

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

b) O ângulo β é 240° porque o motor é 4T e o número de cilindros é igual a três.

$$\beta = \frac{\alpha_{4T}}{n} = \frac{720}{3} = 240^\circ$$

1ª Expansão no cilindro 1 = 0°

2ª Expansão no cilindro 3 = 240°

3ª Expansão no cilindro 2 = 480°

c) O ângulo θ é o *mdc* (β, γ_{4T}), conforme cálculo no Quadro 2.

Quadro 2. Cálculo do *mdc* de β e γ pela decomposição em fatores primos

| β | Decomposição | γ_{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 | | | |

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

Número de colunas do quadro (C)

Depende do ciclo do motor (α) e da coluna do quadro (θ), Equação 3.

$$C = \frac{\alpha}{\theta} \quad (3)$$

Equação 3. Número de colunas do quadro

em que,

C= número de colunas do quadro;

α = ciclo do motor, graus;

θ = coluna do quadro, graus.

Número de linhas do quadro (L)

O número de linhas é igual ao número n de cilindros do motor. Então a matriz do quadro de seqüência das expansões possui dimensões $L \times C$.

$$L = n = 3$$

$$C = \alpha/\theta = 720/60 = 12$$

Quadro de seqüência das expansões, motor 4T, ordem de ignição 132, 3 cilindros em linha

| Cil | Ângulo de giro da árvore de manivelas, graus | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 | 600 | 660 | 720 |
| 1 | EXP | | | DESC | | | ADM | | | COMP | | |
| 2 | DESC | | | ADM | | | COMP | | | EXP | | |
| 3 | ADM | | | COMP | | | EXP | | | DESC | | |

CÁLCULO DO NÚMERO DE EXPANSÕES POR MINUTO

O número de expansões por minuto é calculado em função do ângulo β e da rotação da árvore de manivelas (Equação 4).

$$EXP = \frac{360}{\beta} \cdot N \quad (4)$$

Equação 4. Número de expansões por minuto

em que,

EXP= número de expansões por minuto;

β = frequências das expansões, graus;

N= rotação da árvore de manivelas, rpm.

ESQUEMA DA ÁRVORE DE MANIVELAS

O esquema da árvore de manivelas é construído a partir de informações obtidas no quadro de sequências das expansões. Símbolos são usados para esquematizar árvores de manivelas, de modo que é possível representar o ângulo de giro de cada manivela em relação ao PMS do primeiro cilindro do motor.

Árvore de manivelas para motores 4T, dois cilindros em linha

Neste caso o ângulo α é igual a 720° , e sendo o número de cilindros igual a dois, temos que:

$$\beta = \frac{720}{2} = 360^\circ$$

A frequência das expansões é 360° . Observe que enquanto o cilindro um faz expansão, o cilindro dois faz admissão (Figura 1).

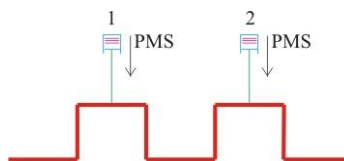


Figura 1. Árvore de manivelas simultâneas para motores 4T, dois cilindros em linha.

Quadro 3. das expansões para 2 cilindros 4T 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 2 cilindros 4 tempos horizontal

O motor horizontal apresenta disposição oposta dos cilindros e as expansões ocorrem a cada 360° de giro da árvore de manivelas (Figura 2).

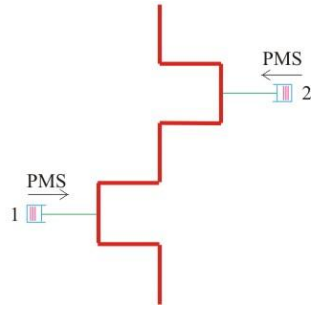


Figura 2. Árvore de manivelas opostas para motores de 2 cilindros 4T horizontal.

Quadro 4. Sequência das expansões motor 4T, ordem de ignição 12, 2 cilindros horizontal

| 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 2 cilindros 2 tempos

Nos motores de 2 tempos quando o primeiro cilindro faz expansão, admissão no cilindro e descarga, o segundo cilindro faz compressão e admissão no cárter; as expansões devem ocorrer a cada 180º de giro da árvore de manivelas. Para atender a essas condições o eixo é composto por duas manivelas opostas entre si de 180º (Figura 3).

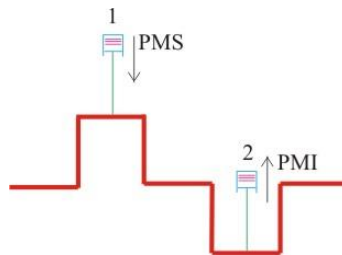


Figura 3. Árvore de manivelas opostas para motores de 2 cilindros 2T em linha.

Quadro 5. Sequência das expansões motores 2T, ordem de ignição 12 2 cilindros em linha

| CIL | 0-180 | 180-360 |
|-----|---------|---------|
| 1 | EXP-DES | ADM-COM |
| 2 | ADM-COM | EXP-DES |

Árvore de manivelas para motores de 4 cilindros 4 tempos

Os motores de 4 cilindros de 4 tempos são os mais utilizados tanto em automóveis como em tratores agrícolas. Nesses motores ocorre uma expansão a cada 180º de giro da árvore de manivelas, e dessa forma o motor não fica sem expansões. Quando termina a expansão em um cilindro já se inicia uma outra expansão em um dos outros três cilindros do motor. Existem duas disposições diferentes das manivelas no eixo conforme a ordem de ignição do motor. As ordens de ignição para motores de quatro cilindros são: 1243,1342 e 1432 e (Figuras 4 e 5).

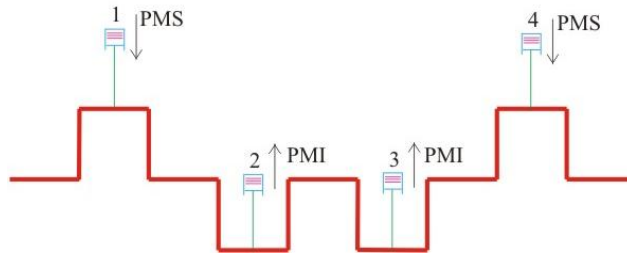


Figura 4. Árvore de manivelas motores 4T, ordens de ignição 1243 e 1342, 4 cilindros em linha.

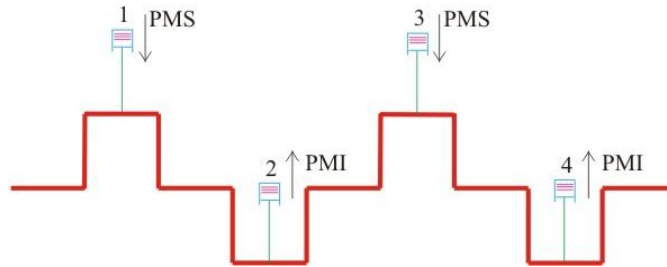


Figura 5. Árvore de manivelas para motores 4T, ordem de ignição 1432, 4 cilindros em linha.

Quadro 6. Sequência das expansões motores 4T, ordem de ignição 1243, 4 cilindros em linha

| CIL | 0-180 | 180-360 | 360-540 | 540-720 |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| 1 | EXP | DES | ADM | COM |
| 2 | COM | EXP | DES | ADM |
| 3 | DES | ADM | COM | EXP |
| 4 | ADM | COM | EXP | DES |

Quadro 7. Sequência das expansões motores 4T, ordem de ignição 1342, 4 cilindros em linha

| CIL | 0-180 | 180-360 | 360-540 | 540-720 |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| 1 | EXP | DES | ADM | COM |
| 2 | DES | ADM | COM | EXP |
| 3 | COM | EXP | DES | ADM |
| 4 | ADM | COM | EXP | DES |

Quadro 8. Sequência das expansões motores 4T, ordem de ignição 1432, cilindros em linha

| CIL | 0-180 | 180-360 | 360-540 | 540-720 |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| 1 | EXP | DESC | ADM | COM |
| 2 | DES | ADM | COM | EXP |
| 3 | ADM | COM | EXP | DES |
| 4 | COM | EXP | DES | ADM |

Os motores diesel de quatro cilindros, 4T em linha têm sido os mais utilizados em tratores agrícolas. É importante observar que os motores de tratores são projetados especificamente para este fim. No Quadro 1 são apresentadas as tendências no projeto dos motores de tratores em relação ao número de cilindros, rotação de trabalho e tipo de motor, deste 1916 a 1960 (BARGER, et al., 1966).

Quadro 9. Tendências no projeto dos motores de tratores, em relação ao número de cilindros, rotação de trabalho e tipo de motor de 1916 a 1960 (BARGER, et al., 1966)

| | | 1916 (%) | 1919 (%) | 1948 (%) | 1960 (%) |
|---------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Número de cilindros | 1 | 5 | 4 | 0 | 0 |
| | 2 | 25 | 13 | 14 | 0 |
| | 3 | - | - | 2 | 2 |
| | 4 | 69 | 80 | 70 | 76 |
| | 6 | 1 | 2 | 14 | 22 |
| | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Rotação do motor (rpm) | 0-500 | 20 | 11 | 0 |
| 501-700 | | 29 | 17 | 0 | 0 |
| 701-900 | | 39 | 45 | 2 | 0 |
| 901-1100 | | 7 | 21 | 8 | 0 |
| 1101-1500 | | 5 | 5 | 56 | 8 |
| 1501-2000 | | - | 1 | 34 | 76 |
| 2001-2500 | | - | - | - | 16 |
| Tipo de motor | Vertical | 65 | 76 | 90 | 100 |
| | Horizontal | 35 | 24 | 10 | 0 |

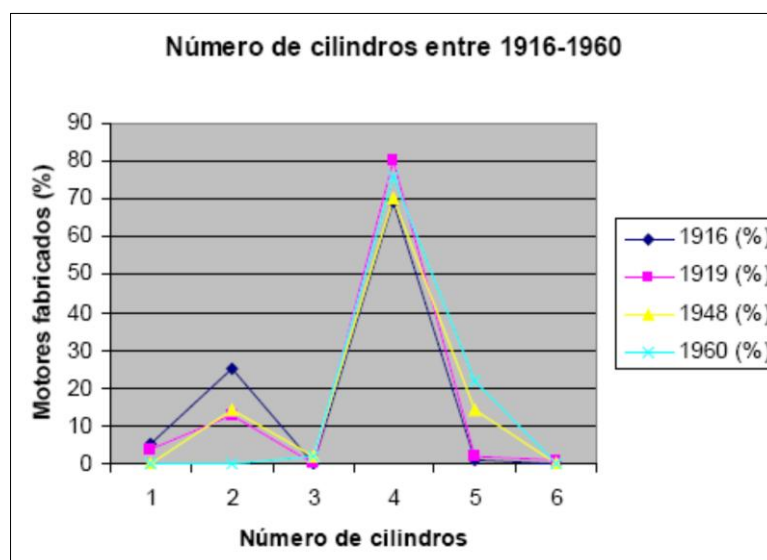


Figura 6. Tendência do número de cilindros para motores de tratores agrícolas. Fonte: Barger, et al., 1966.

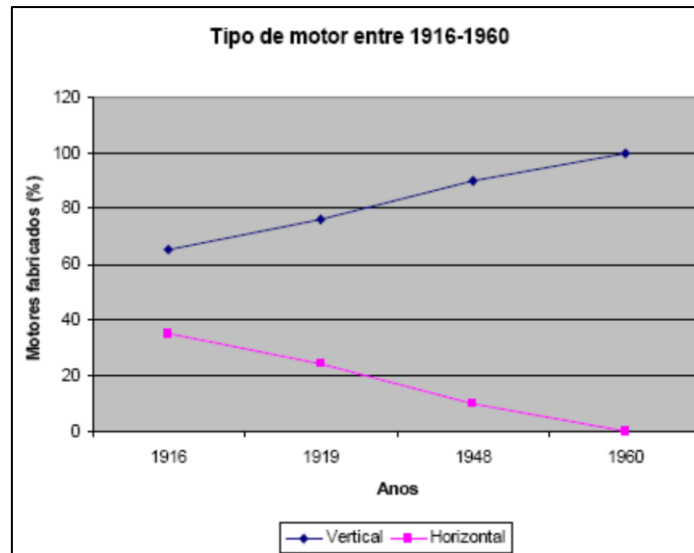


Figura 7. Tendência do tipo de motor para tratores agrícolas entre 1916 e 1960. Fonte: Barger, et al., 1966.

Árvore de manivelas para motores de 6 cilindros 4 tempos em linha

Nesses motores a frequência das expansões 120º de giro da árvore de manivelas. Segundo BARGER, et al. (1966) existem quatro ordens de ignição possíveis para os motores de seis cilindros, quatro tempos, em linha: 123654; 124653; 153624; 154623.

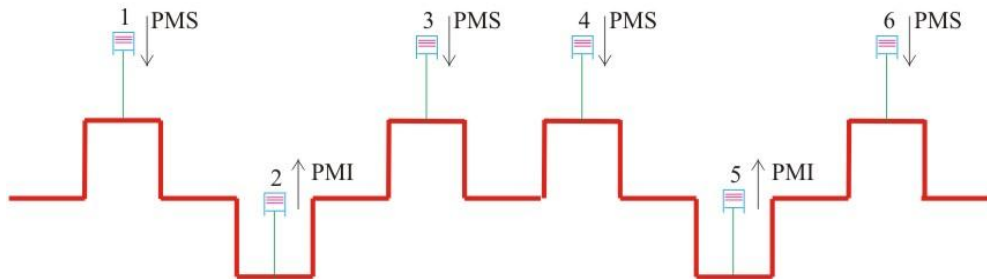


Figura 8. Árvore de manivelas para motores 4T, ordem de ignição 153624, 6 cilindros em linha. Quadro 10. Sequência das expansões motor 4T, ordem de ignição 153624, 6 cilindros em linha

| CIL | 0-60 | 60-120 | 120-180 | 180-240 | 240-300 | 300-360 | 360-420 | 420-480 | 480-540 | 540-600 | 600-660 | 660-720 |
|-----|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | EXP | | DES | | | ADM | | | COM | | | |
| 2 | DES | | ADM | | | COM | | | EXP | | DES | |
| 3 | ADM | COMP | | | EXP | | | DES | | ADM | | |
| 4 | EXP | DES | | | ADM | | | COM | | EXP | | |
| 5 | COM | | EXP | | | DESC | | | ADM | | COM | |
| 6 | ADM | | | COM | | | EXP | | | DES | | |

BIBLIOGRAFIA

BARGER, E.L.; LILGEDAHL, J.B.; CARLETON, W.M.; McKIBBEN, E.G. Tratores e seus Motores. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil, 1966.