

CARACTERÍSTICAS E PRESTAÇÕES DOS MOTORES ALTERNATIVOS

1996

ÍNDICE

1- Introdução.....	1
2- Considerações gerais sobre as características e prestações dos motores agrícolas	1
2.1- Potência motor	1
2.2- Binário motor	3
2.3- Consumo específico e consumo horário	6
2.4- Volume de combustível injectado	9
3- Curvas características dos motores	10
4- Factores que influenciam as prestações do motor	13
4.1- Rendimento volumétrico	13
4.2- Número de cilindros	14
4.3- Regime motor	14
4.4- Atrito	15
4.5- Condições atmosféricas	16
Bibliografia	17

1- Introdução

As características dos motores e caixas de velocidades são os dois principais aspectos a ter em consideração na análise técnica dos tractores, pelo que nestas notas apresentar-se-á o primeiro destes aspectos assim como os factores que o influenciam.

2- Considerações gerais sobre as características e prestações dos motores agrícolas

Os motores utilizados nos equipamentos agrícolas apresentam características de funcionamento distintas das viaturas de transporte rodoviário, pois o seu regime máximo, utilizado para accionamento das rodas e tomada de força, é relativamente baixo.

As principais características destes motores que melhor definem as suas "performances", são a potência, o binário e o consumo específico.

2.1- Potência motor

Para se perceber facilmente o conceito de potência é necessário definir previamente o conceito de força e trabalho. Assim, o primeiro destes termos refere-se a tudo aquilo que é capaz de produzir movimento e/ou modificar a velocidade ou a direcção do movimento; segundo este conceito é necessário, por exemplo, força para o arranque e aumento de velocidade, para a imobilização e para a mudança de direcção de um veículo, etc. Relativamente ao trabalho ele resulta do produto de uma força pelo espaço percorrido na direcção em que é aplicada.

Assim, a noção de potência relaciona-se com o tempo necessário para execução de um trabalho, sendo tanto mais elevada quanto menor for o tempo necessário para realização deste e maior o seu volume.

Traduzindo matematicamente esta noção tem-se:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{Força} * \text{Espaço}}{\text{Tempo}} = \text{Força} * \text{Velocidade} \quad (1)$$

Utilizando as unidades do Sistema Internacional (SI), tem-se a força em Newtons (N), o espaço em metros (m) e o tempo em segundos (s), pelo que a potência é dada em watts (W); o Watt é uma unidade de medida de potência muito pequena pelo que se utiliza geralmente o Kilowatt (kW), que equivale a 1000 W. Se se expressar a força em quilogramas força (Kgf), o espaço em metros (m) e o tempo em segundos (s) tem-se a potência em quilogrametros por segundo (Kgm/s). Esta unidade de potência é demasiado pequena para medir a potência dos motores, pelo que se adopta o cavalo - vapor, ou simplesmente cavalo (cv), que equivale a 75 Kgm/s, ou seja, à potência necessária para elevar 75 Kg a 1 metro de altura em 1 segundo. Como um Kgf equivale a $\pm 9,81$ N., facilmente se conclui que 1 Kgm/s equivale a $\pm 9,81$ W, ou seja 1 cv equivale a $\pm 75*9,81=736$ W.

A potência pode definir-se também como potência específica a qual traduz o valor da potência por litro de cilindrada, e nominal que é o valor máximo de potência obtido ao regime nominal do motor, ou seja, ao regime máximo do motor em carga. A potência nominal, que corresponde ao regime em que o regulador da bomba deixa de poder continuar a aumentar o débito de combustível, é a indicada pelo construtor para utilização contínua e normal do motor, podendo, no entanto, este ser utilizado em outros equipamentos, com uma regulação da potência nominal diferente. O conceito de potência homologada refere-se à potência medida à TDF quando o tractor está imobilizado e esta se encontra a funcionar ao regime normalizado, e a potência fiscal ao valor de potência dada por uma fórmula que inclui o diâmetro, curso, e número de cilindros, e que é utilizada para efeitos fiscais.

Quando se diz que um motor tem uma potência de, por exemplo, 30 cv, isso significa que ele pode desenvolver uma potência máxima de 30 cv, embora na maior parte do tempo de funcionamento ele forneça uma potência bastante menor. Usar a potência máxima de um motor continuamente não é conveniente, pois reduz a sua duração por se submeterem as peças a uma grande tensão.

Relativamente aos factores que influenciam a potência eles são fundamentalmente a cilindrada, a velocidade de rotação da cambota (regime), a taxa de compressão e o tipo de motor (atmosférico ou sobrealimentado). A montagem de um turbocompressor, que é geralmente acompanhada de um sistema de arrefecimento dos gases de admissão, permite aumentar a potência e o binário máximos de um motor sem modificar a cilindrada ou o regime, e, ao mesmo tempo, melhorar o seu rendimento e consumo específico; os turbocompressores tem a vantagem de aumentar a potência e o binário e diminuir o consumo específico, sem diminuição da vida útil do motor e sem significativo aumento de peso.

Relativamente ao regime motor, que é o principal factor em que se pode actuar directamente para aumentar a potência, à medida que o seu valor aumenta também cresce a potência até se atingir a potência máxima (ou potência nominal) que corresponde ao regime nominal do motor. Este regime determina-se pondo o motor a funcionar ao regime máximo e aumentando-se-lhe a carga, o que provoca a diminuição daquele até que se atinja o regime nominal (potência nominal); esta diferença de regimes corresponde à zona de acção do regulador, ou zona de carga parcial, sendo o quociente desta diferença com o regime nominal do motor, em percentagem, o grau de irregularidade do regulador. Continuando a aumentar a carga a potência vai diminuindo até se atingir o binário máximo a partir do qual o motor "vai abaixo". Alguns motores, designados por motores de "potência constante", apresentam curvas de potência mais ou menos planas durante intervalos de regime importantes; estas "curvas" resultam de uma gestão apropriada do débito da bomba (regulador e corrector de débito) e da utilização de turbocompressores.

Para além da potência nominal é usual falar-se em potência ao regime normalizado da TDF (potência a que corresponde um regime na TDF de 540 ou 1000 r.min⁻¹) e que é variável nos diferentes tractores; o seu valor está, no entanto, compreendido entre os 80 e 100% da potência ao regime nominal.

Considerando a potência específica de um motor (potência / cilindrada) é possível, em função do seu grau de desgaste e regime, ter uma ideia das suas prestações; o desgaste do motor depende da velocidade média do êmbolo ao regime nominal e do seu curso, pelo que a tendência é para diminuir o regime máximo, diminuindo-se assim a potência necessária para vencer a inércia das peças em movimento, o consumo de combustível e o barulho, e tornar os motores mais "quadrados" (curso \approx diâmetro)

A potência do tractor, além de depender da potência do motor, depende ainda do rendimento da transmissão, dos órgãos de locomoção (pneus ou rastos), e do local onde é medida, se na TDF ou obtida a partir da sua força de tracção à barra (potência à barra).

2.2- Binário motor

Considerando a expressão que traduz a potência, é possível obter um valor suficientemente elevado desta através da pressão média exercida na cabeça dos êmbolos, designada por pressão média efectiva (**p.m.e.**), ou pela velocidade de rotação do motor. A p.m.e. origina um movimento rectilíneo que é transformado em movimento de rotação, por meio de uma biela e da cambota, pelo que o seu valor é definido pelo seu momento, que é obtido pelo produto da força pelo braço da manivela da cambota.

Este braço, medido pela distância do centro do moente, onde se apoia a cabeça da biela, ao eixo da cambota, é relativamente pequeno pelo que o aproveitamento da pressão resultante da expansão do fluído é bastante deficiente; a p.m.e. é elevada no início da expansão mas diminui rapidamente à medida que o êmbolo se aproxima do seu ponto inferior.

Assim, ao aplicar a força sobre o moente da cambota o eixo desta faz pressão sobre o seu apoio, o qual reage com uma força igual mas de sentido contrário, dando lugar a um par de forças, que é o binário motor; binário motor é o conjunto de duas forças iguais, paralelas e de sentido contrário, que originam ou tendem a originar, um movimento de rotação, medindo-se o seu valor pelo momento.

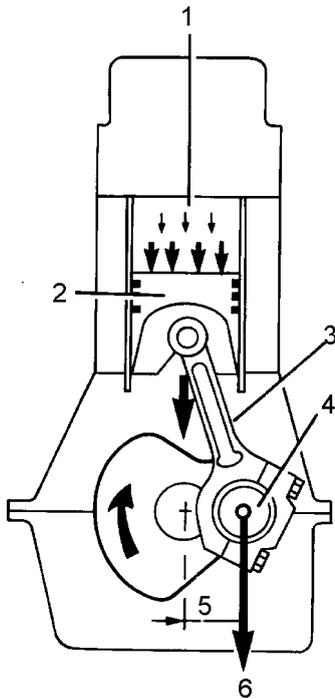


Figura 1- Representação da pressão exercida no topo do êmbolo e transmissão da força à cambota
 1- Pressão dos gases de combustão 2- Êmbolo 3- Biela 4- Cambota 5- Braço da cambota 6- Força
 Fonte: CEMAGREF (1991)

Sendo os regimes motor dos equipamentos agrícolas bastante baixos e estando aqueles sujeitos a grandes variações de carga, é fundamental que se verifique uma grande suavidade de funcionamento nesses regimes.

A utilização de turbocompressores permite, mesmo em regimes baixos, taxas de enchimento dos cilindros superiores à unidade, o que torna possível introduzir um volume mais elevado de combustível, fazendo com que o valor do binário máximo seja obtido a regimes mais baixos.

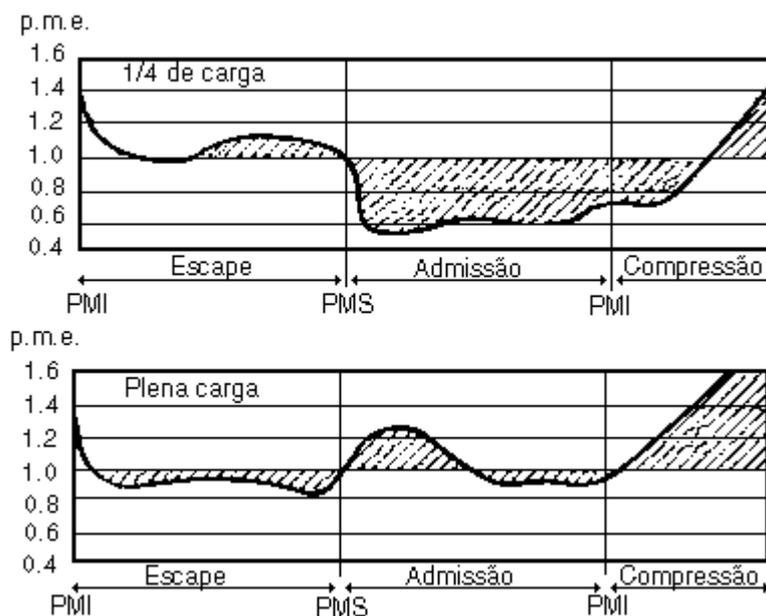


Figura 2 Representação da variação da pressão, em kg/cm², no interior do cilindro num motor a funcionar a 1/4 e plena carga.
 Fonte: Giacosa (1976)

Considerando a potência e o binário existe uma relação entre elas que se traduz pela seguinte expressão:

$$P = M * \omega = M * \frac{2 * \pi * n}{60} = 0.105 * M * n \quad (2)$$

em que:

- P é a potência motor, em W;
- M é o binário, em Nm;
- ω é a velocidade angular, em radianos por segundo;
- n é a rotação do motor, em rpm.

Em geral, o valor do binário motor aumenta quando o regime, a partir do regime nominal (binário nominal), diminui, até ao regime a que se obtém o binário máximo, desde que não se diminua a alimentação do motor, ou quando, mantendo o regime constante, se aumenta a quantidade de combustível injectado, carregando no pedal do acelerador ou automaticamente, por acção do regulador da bomba injectora. Nos dois casos a força das "explosões" dentro de cada cilindro aumenta, aumentando também o binário.

Pelo contrário, o binário diminui quando o regime aumenta, sem que se aumente a alimentação, como sucede, por exemplo, numa descida em que a carga do motor diminui, ou quando se diminui a injeção de combustível, sem que se diminua o regime.

O regime a que se obtém o binário máximo deve ser aproximadamente 70% do regime correspondente à potência máxima, para que o motor tenha uma reserva de binário suficiente (> 15%) para contrariar as diferenças de carga a que o motor está sujeito.

Ao quociente da diferença entre o binário máximo e o binário nominal sobre este chama-se **reserva de binário (R)**, sendo o seu valor expresso em percentagem; esta reserva representa a percentagem de binário disponível para vencer pequenos acréscimos de carga, resultantes do aumento da força de tracção ou do binário de accionamento de uma alfaia à TDF, quando se utiliza o tractor em plena carga. Quando se fala somente em "reserva de binário", sem especificar o regime, o seu valor diz respeito à reserva de binário para o regime a que corresponde a potência máxima; este valor é o apresentado normalmente nos catálogos de tractores e nos boletins de ensaio.

$$R (\%) = \frac{\text{binário máximo (N.m)} - \text{binário à potência máxima (N.m)}}{\text{binário à potência máxima (N.m)}} * 100 \quad (3)$$

A reserva de binário não pode ser considerada isoladamente para comparar as "performances" de um motor pois o seu valor depende da potência e do regime a que foi determinado. Um valor elevado de R pode resultar de um binário baixo à potência nominal ou de um binário máximo elevado pelo que, para se compararem diferentes valores é necessário saber se o seu valor é elevado devido a um valor alto do binário máximo ou de um regime elevado correspondente à potência máxima, ou se é baixo porque o binário máximo é fraco ou a potência nominal é obtida a um regime baixo, ou ainda, por conservar o binário durante uma variação significativa do regime. Valores de R compreendidos entre 15 - 35% são considerados como bons e superiores como muito bons (CEMAGREF, 1992)

Assim, e considerando os aspectos anteriores, a forma mais correcta de julgar o binário máximo é reportá-lo à cilindrada do motor, ou seja, considerar o **binário específico** (binário máximo / cilindrada); as "performances" do motor serão tanto melhores quanto mais elevado for o binário específico e a reserva de binário, resultante do binário máximo, significativa, ou a reserva baixa, mas em que a conservação do binário varia pouco com o regime.

Para além do binário máximo e da reserva de binário as prestações de um motor dependem também do regime a que é obtido o primeiro, pois se o regime é alto as perdas serão relativamente pequenas, mantendo-se a velocidade do tractor \pm constante, especialmente importante nos trabalhos de transporte, mas o consumo e desgaste são mais elevados; quando o regime é baixo as variações de velocidade são mais acentuadas, podendo mesmo implicar a alteração da relação de transmissão, mas o tractor tem mais possibilidades de "arrancar" em força em situações difíceis.

O binário transmitido às rodas motrizes é proporcional ao produzido no motor, normalmente bastante superior, uma vez que a caixa de velocidades, diferencial e redutores finais permitem a desmultiplicação do regime motor. Desprezando as perdas na transmissão, o binário nas rodas será tanto maior quanto mais elevada for a desmultiplicação do regime motor; na realidade devido aquelas perdas, este aumento de binário nas rodas é de \pm 90% do valor que se obteria com aquela desmultiplicação.

2.3- Consumo específico e consumo horário

O consumo específico (g/kW.h) dos motores, que indica, por cada kW fornecido pelo motor, o consumo de combustível em gramas por hora, é dado por:

$$C_s = \frac{1\,000 \cdot L/h \cdot M_v}{P} \quad (4)$$

em que:

- L/h é o consumo horário, em L/H;
- M_v é a massa volúmica, em kg/L;
- P é a potência, em kW.

O seu valor varia em função do regime e da carga a que o motor está sujeito, sendo máximo em regimes baixos, diminuindo à medida que este aumenta, crescendo depois novamente para os regimes mais altos; o seu valor não deve, no entanto, ser superior a 220 g/kW.h. Estes valores podem ser dados em tempo real por indicadores de consumo, constituídos por um captor de débito e uma consola; a carga a que um motor está sujeito é dada pela pressão média efectiva no topo dos êmbolos (p.m.e).

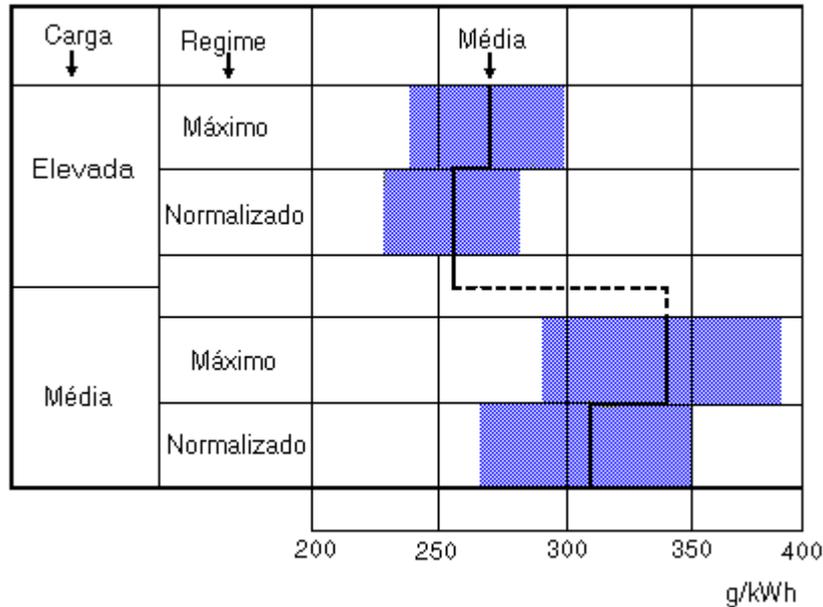


Figura 3- Variação do consumo específico segundo a carga e o regime
 Fonte: BP (1987).

Entre os vários factores que influenciam a variação do consumo específico, destacam-se, nos baixos regimes, a maior perda de calor através das paredes dos cilindros, a condensação do fluido, devido à sua maior riqueza em combustível, e os fenómenos de oscilação da pressão nas condutas de admissão. Em regimes elevados o aumento do consumo, deve-se principalmente à diminuição do rendimento mecânico da transmissão do movimento.

Quando o motor, a um determinado regime, desenvolve a potência máxima possível de se atingir a esse regime o consumo específico aumenta pois é maior o peso relativo das perdas mecânicas relativamente aquela potência.

A taxa de compressão dos motores tem igualmente uma importância decisiva no consumo específico, pois quanto maior for o seu valor, maior é o rendimento térmico, e, portanto, menor o consumo. Num motor de aspiração atmosférica, é na zona de regime correspondente ao máximo binário que o rendimento energético é mais elevado. Num motor sobrealimentado, a possibilidade de aumentar a taxa de enchimento dos cilindros, para uma mesma cilindrada, permite aumentar em cerca de 15 % a potência e o binário, bem como aumentar o rendimento energético em todos os regimes (sobretudo em carga elevada), o que se traduz numa diminuição do consumo específico em 15 a 25%. A introdução do "intercooler" (sistema de arrefecimento dos gases de admissão até à temperatura de $\pm 70\text{ }^{\circ}\text{C}$) permite aumentar ainda até cerca de 40 % a potência máxima, e melhorar ainda mais o rendimento energético e o consumo específico do motor sobrealimentado.

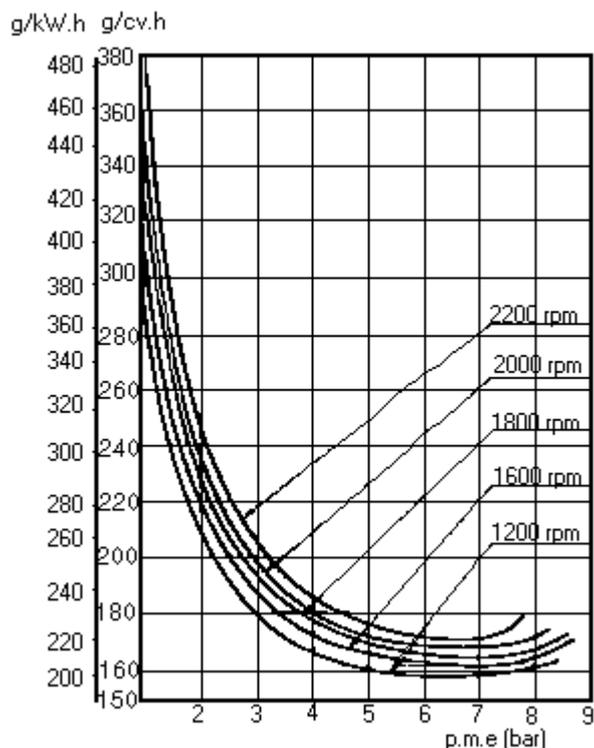


Figura 3 - Curvas de consumo específico obtidas em banco de ensaios em função da pressão média efetiva, em motores de ciclo Diesel.
 Fonte: Giacosa (1986)

Comparando os motores de ciclo Otto com os Diesel, estes últimos, em condições de carga máxima, apresentam consumos específicos mais baixos pois no sistema de injeção as perdas de calor são menores, o doseamento de combustível é mais rigoroso e as taxas de compressão são bastante superiores.

Nos motores de ciclo Diesel é fundamental que o volume de ar seja suficientemente elevado para que o combustível injectado seja totalmente queimado; este aspecto é muito importante quando os motores funcionam a plena carga, pois, caso contrário, originam-se fumos de escape como resultado da combustão incompleta do combustível introduzido.

Assim, comparando as curvas de consumo destes dois tipos de motor, verifica-se uma menor variação, em função do regime, nos motores de ciclo Diesel.

O consumo de combustível de um motor pode ser dado em termos de consumo horário, expresso em litros ou quilogramas gastos por hora, ou como consumo específico, que é expresso em gramas de combustível gastas por Kilowatt hora (g/kWh); 1 g/kWh representa a massa de combustível necessária para desenvolver uma potência de 1 kW, pelo que o consumo específico traduz a eficiência da sua transformação pelo motor, ou seja realça o rendimento energético do motor. O consumo específico é uma medida da economia do motor, pois permite comparar a eficiência térmica de diversos motores, com diferente número de cilindros, diferentes cilindradas e/ou potências. Relativamente ao seu valor este tem vindo a diminuir, situando-se o valor mínimo perto de 205 g/kWh nos motores tecnicamente mais evoluídos

Em termos médios, este consumo é máximo (cerca de 400 g/kWh) para a potência máxima, e mínimo (cerca de 220 g/kWh) para valores próximos do regime a que se obtém o binário máximo. O ponto de menor consumo específico corresponde exactamente ao ponto de maior rendimento térmico do motor, que é normalmente próximo do ponto de máximo binário.

O consumo específico de um motor é mínimo para uma faixa de valores compreendida entre os 75 e os 85 % da potência máxima, pelo que esta é, em termos de consumo, a faixa ideal de funcionamento do motor. Abaixo dos 50 % da potência máxima o consumo específico é demasiado elevado, pelo que o tractor não deve ser utilizado nestas condições; como média anual, pode dizer-se que um tractor funciona entre 40 e 50 % da sua potência máxima, pelo que os consumos específicos são geralmente bastante elevados, apesar de o utilizador não se aperceber disso, uma vez que o consumo horário é reduzido, mas numa proporção desfavorável, que não corresponde ao decréscimo de potência.

Para além dos aspectos anteriores o consumo específico de um motor depende também do estado dos órgãos do próprio motor. Assim, segundo estudos do CEMAGREF (cit. BP, 1980) o consumo específico de um tractor usado poderá ser entre 9 a 19% superior relativamente ao mesmo tractor novo, devido por exemplo, à colmatagem do filtro de ar, desregulação da injeção e da admissão e/ou deficiências no circuito de refrigeração. Segundo CEMAGREF (1992) o consumo específico médio de um tractor de 80 kW é de ± 246 g/kWh, mas pode, em caso de mau funcionamento, chegar aos 275 g/kWh, ou seja ter um acréscimo de 11,8%, o que, considerando uma massa volúmica de 854 g/dm³ e uma intensidade de utilização anual de 600 h, representa um acréscimo de 1632 l/ano.

Para a manutenção de um baixo consumo específico é também importante a utilização de um bom óleo e a sua substituição de acordo com as indicações do fabricante, o que reduz o desgaste das peças do motor, reduz a energia perdida por atrito e diminui as perdas de energia devidas à falta de estanqueidade no cilindro.

2.4- Volume de combustível injectado

O volume de combustível injectado, em mm³ por ciclo operativo, apresenta, geralmente, uma ligeira diminuição à medida que o regime aumenta; variações importantes verificam-se normalmente quando o regulador da bomba de injeção não se encontra nas melhores condições de funcionamento.

Relativamente à determinação deste volume ele é efectuado a partir do consumo horário e da velocidade de rotação do motor e define a regulação da bomba de injeção.

3- Curvas características dos motores.

A partir do conhecimento da variação da potência, binário e consumo específico com o regime, é possível traçar as curvas características do motor (Figura 4), que traduzem o trabalho fornecido pelo motor bem como o seu rendimento térmico.

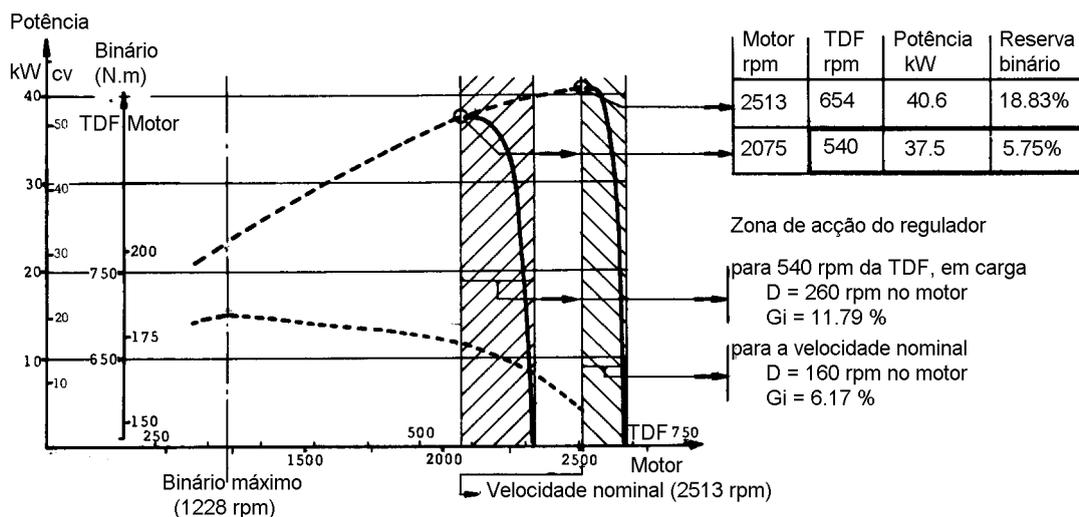


Figura 4- Representação das curvas de potência e binário de um motor, medidas à tomada de força (TDF); relação TDF / motor = 13 / 50.

Fonte: CNEEMA (1973)

Como se pode observar na figura 4, e em geral para todos os motores de tractores, quando o motor gira muito lentamente, os valores de potência e binário são baixos. À medida que o regime sobe, os dois valores aumentam, resultando o aumento da potência fundamentalmente do maior número de cursos motrizes por unidade de tempo e o binário da força desenvolvida em cada "explosão"; esta força é tanto maior quanto maior for a quantidade de combustível admitida nos cilindros.

Quando o motor atinge um determinado regime (1228 rpm), o binário alcança o seu valor máximo, pois continuando a aumentar o regime, a taxa de enchimento dos cilindros diminui; esta diminuição deve-se à rapidez com que se sucedem os diferentes tempos do ciclo o que encurta muito a duração destes, reduzindo-se também a admissão, o que faz com que a força das "explosões" diminua, e, portanto, o binário, mesmo que a quantidade de combustível admitido continue a aumentar.

A potência continua a aumentar, pois apesar de ser cada vez menor o trabalho realizado em cada "explosão", o maior número destas por unidade de tempo compensa, com vantagem, aquela diminuição. O aumento da potência mantém-se até se atingir a potência nominal, obtida ao regime nominal do motor (2513 rpm), passando depois a diminuir, devido ao trabalho motriz em cada explosão diminuir tanto, que não pode ser compensado pelo maior número de tempos motores por unidade de tempo. A potência teoricamente anula-se para o regime máximo do motor (2660 rpm) recomendado pelo fabricante; a potência do motor ao regime de 2075 rpm, correspondente ao regime normalizado da TDF (540 rpm), é de 37.5 kW.

A determinação das curvas de potência e binário, para o que se utilizam geralmente freios eléctricos ou hidráulicos, é efectuada pondo o motor ao seu regime máximo, sem carga, aumentando-se depois gradualmente o poder travão do freio e registando-se os valores da potência, binário e o respectivo regime motor. No princípio a curva da potência apresenta uma subida bastante acentuada, correspondente à zona de acção do regulador, até atingir a **potência nominal** (2513 rpm), correspondente ao limite daquela zona, a partir do qual começa a diminuir; o aumento de débito proporcionado pelo regulador da bomba injectora é máximo no regime correspondente à potência

nominal. A curva do binário tem também acréscimos significativos até se atingir o **binário nominal**, binário correspondente à potência nominal, sendo depois os incrementos mais pequenos até se atingir o **binário máximo** (1228 rpm), a partir do qual um aumento de sobrecarga pode conduzir à paragem do motor; entre o binário nominal e o máximo a variação do seu valor resulta apenas da variação da carga motor não tendo o regulador da bomba qualquer interferência.

Relativamente ao grau de irregularidade do regulador ou zona de carga parcial, zona em que o regulador corrige o débito da bomba injectora, ele é para o regime da velocidade normalizada da TDF de 260 rpm ($R = 11.79\%$, ou seja, $11.79 = (2335 - 2075) / (2075 + (2335 - 2075))$) e para o regime nominal de 160 rpm ($R = 6.17\%$, ou seja, $6.17 = (2673 - 2513) / (2513 + (2673 - 2513))$); a relação regime motor regime da TDF é de 3.85.

Uma curva de binário favorável, é aquela que aumenta com rapidez, até se atingir o valor máximo, que se mantém durante uma variação importante de regime; a curva forma um patamar, decrescendo depois 15% ou mais, até ao regime onde se obtém a potência máxima; esta variação do binário corresponde à reserva de binário do motor, sendo desejável portanto que o binário máximo seja atingido ao regime mais baixo possível. Considerando o gráfico da figura 4, constata-se que a reserva de binário ao regime nominal é de 18.83 % ($18.83 = ((700 - 570) / 700) * 100$) e o relativo à velocidade normalizada da TDF de 5.75% ($5.75 = ((700 - 660) / 660) * 100$).

É vulgar e aconselhável que os tractores sejam utilizados a cerca de 80 % da potência máxima a um dado regime, ou seja na zona de carga parcial, a fim de não reduzir demasiado a duração do motor, tirando dele o melhor rendimento energético (menor consumo específico) e de forma a dispor-se de reserva de binário, que é utilizada em solicitações de sobrecarga a que momentaneamente o motor é sujeito; estas conduzem a uma ligeira quebra de regime e conseqüente aumento de binário o que permite um funcionamento mais regular do motor e ultrapassar grande número de sobrecargas a que o motor é sujeito durante o trabalho.

A manutenção do regime dentro de determinados limites, função do grau de irregularidade do regulador, é obtida por este, aumentando ou diminuindo a quantidade de combustível injectado consoante o regime decresce ou aumenta em função da carga aplicada ao motor; esta compensação só é completamente eficaz nos motores que utilizam um sistema de gestão electrónico da bomba injectora, pois só nestes casos a resposta da bomba é imediata.

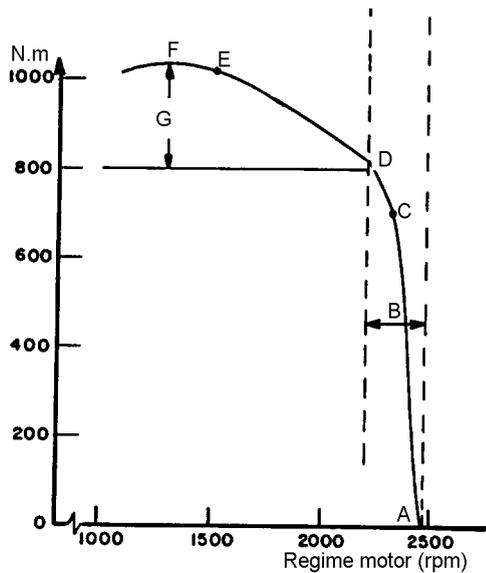


Figura 5- Curva de binário de um motor

A- Regime máximo B- Zona de ação do regulador
 C- Binário resultante da acção do regulador
 D- Binário nominal E- Binário resultante da carga do motor F- Binário máximo G- Reserva de binário
 Fonte: Goering (1989)

Relativamente às curvas de consumo específico de um motor apresentam geralmente a forma de hipérbole, com máximos para potências baixas e altas e um mínimo para valores compreendidos entre os 75 e 85% da potência máxima; o mínimo absoluto corresponde normalmente a um valor próximo do binário máximo .

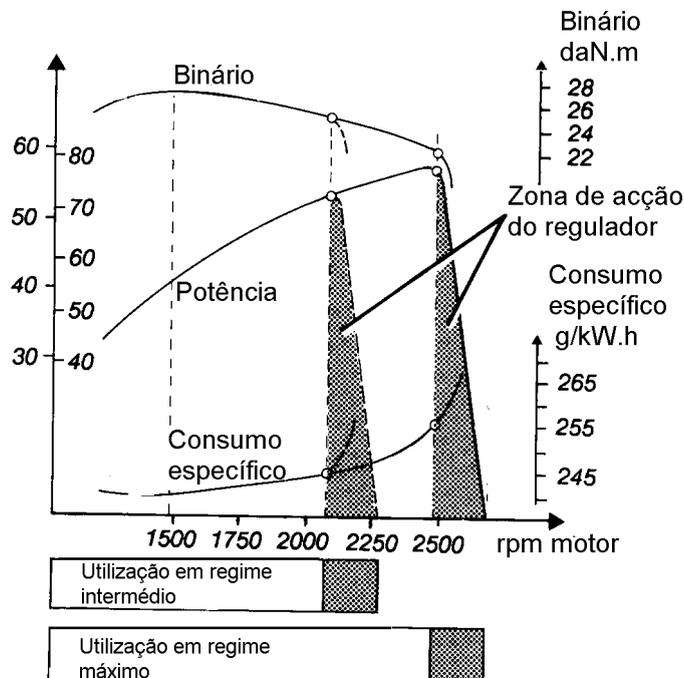


Figura 6 Representação das curvas características num regime motor correspondente ao regime normalizado da TDF (carga parcial) e no regime máximo (plena carga).
 Fonte: CEMAGREF (1991)

Para obter dos motores o máximo rendimento, e portanto o menor consumo específico, o motor deve funcionar sempre num regime compreendido entre aquele que proporciona o máximo binário e a potência máxima. O regime do motor deverá aproximar-se mais do primeiro, quando os trabalhos forem exigentes em tracção ou binário e mais do segundo, quando aqueles factores não forem limitantes por forma a obterem-se maiores rendimentos em trabalho.

Fora destes valores não é conveniente que o motor funcione, pois para regimes mais altos produzem-se trepidações prejudiciais, aumenta-se o consumo e reduz-se a vida útil do motor, não se obtendo melhoria de potência. Se o motor funcionar abaixo do regime que corresponde ao máximo

binário, trabalha forçado, tem um elevado consumo específico e não tem reserva de binário, pelo que, quando devido a uma sobrecarga o motor "vai abaixo".

Funcionando dentro da gama de regimes aconselhada, caso o aumento de binário não seja suficiente para ultrapassar o aumento de carga, deve-se mudar-se para a relação de transmissão imediatamente inferior, mantendo constante o regime motor; esta mudança aumentará o binário disponível para execução do trabalho, pois o seu valor nas rodas é aumentado à medida que a desmultiplicação do regime é maior. É a este nível que se torna importante que o tractor possua uma caixa de velocidades com um elevado número de relações de transmissão; esta escolha "ideal" é obtida com as transmissões mecânicas semi-contínuas ou quando é possível a retrogradação das relações e o rápido engrenamento das mesmas em carga.

Um elevado número de relações de transmissão torna possível a escolha da combinação binário - velocidade de deslocamento que mais se ajusta às exigências das diferentes situações; esta combinação permite um maior rendimento em trabalho, devido à utilização da velocidade mais alta possível e com um binário suficiente para ultrapassar a maioria das sobrecargas. Nesta situação o motor mantém-se sempre na sua faixa ideal de regime, o que permite aumentar o binário aplicado nas rodas durante o tempo necessário à transposição de um obstáculo, mantendo sempre um baixo consumo específico. A existência de relações de transmissão muito desmultiplicadas permite igualmente manter o regime motor correspondente ao regime normalizado da TDF, deslocando-se o tractor a uma velocidade baixa, o que pode ser importante para alguns trabalhos, como, por exemplo, a colheita de forragens.

4- Factores que influenciam as prestações do motor

As prestações ("performances") de um motor, função das características anteriores, dependem de vários factores que se passam a apresentar.

4.1- Rendimento volumétrico

O rendimento volumétrico de um motor traduz a quantidade de fluído admitido nos cilindros, ou seja, a relação entre a massa efectiva de fluído introduzida num cilindro, por unidade de tempo, e a massa que teoricamente deveria ser introduzida, durante o mesmo tempo, calculada com base na cilindrada e nas condições de temperatura e pressão. Esta relação designa-se por taxa de enchimento.

Para além da importância do regime os principais factores que condicionam este rendimento são os seguintes:

- a densidade do fluído admitido e sua diluição devido aos gases residuais;
- desenho e dimensão das condutas de admissão e escape;
- os avanços e atrasos ao fecho das válvulas.

Relativamente ao primeiro destes factores a temperatura do colector de admissão e do cilindro ao cederem calor ao fluído que penetra no motor diminuem a sua densidade e conseqüentemente o rendimento volumétrico. Os gases de escape não expulsos contribuem também para diminuir o volume de fluído admitido no interior dos cilindros.

O desenho e dimensão das condutas de admissão e escape devem permitir a entrada e saída dos fluídos reduzindo ao mínimo a turbulência e, portanto, o atrito.

4.2- Número de cilindros

Considerando que apenas um dos tempos de ciclo operativo desenvolve trabalho, facilmente se compreende a importância que o número de cilindros tem para obtenção de um maior volume de trabalho no motor. Num motor a quatro tempos, com quatro cilindros, dão-se quatro tempos motor em cada duas voltas, duas expansões por volta, e, no de dois tempos, o número de expansões é igual ao de cilindros, pelo que teoricamente este último desenvolve duas vezes mais trabalho que o primeiro.

Assim, pode-se afirmar que quanto maior for o número de cilindros, maior é o número de tempos motor por cada volta da cambota, e portanto maior é a potência desenvolvida e mais regular é o funcionamento do motor; o aumento do número de cilindros torna, no entanto, mais complicada a concepção e funcionamento dos motores.

Para além do número de cilindros a relação entre o curso do êmbolo e o diâmetro daqueles, é importante pois em situação de igual cilindrada, a potência é mais elevada quando os cilindros tem maior diâmetros; isto deve-se ao maior espaço para colocação da válvulas e maior dimensão destas, à velocidade do êmbolo que é mais baixa, etc. A tendência é para que aquela relação seja próxima ou mesmo inferior à unidade (motores quadrados ou super-quadrados).

4.3- Regime motor

Como foi referido a potência é influenciada por vários factores entre os quais se destacam a cilindrada, taxa de compressão e o regime motor.

Considerando este último, quanto maior for o seu valor, maior será a quantidade de trabalho que se desenvolve por unidade de tempo. O aumento do regime de um motor é obtido pelo aumento do fluído combustível no interior dos cilindros, o que provoca a sua maior compressão e portanto maior pressão no topo do êmbolo, o que faz com que este se desloque mais rapidamente.

O aumento da compressão implica um acréscimo do rendimento térmico e portanto da potência, mas conduz a maiores perdas por atrito, especialmente importantes entre os segmentos e as paredes dos cilindros, e a maiores cargas nos moentes da cambota. No caso dos motores de ciclo Otto o aumento da taxa de compressão é limitada pela detonação do combustível e nos de ciclo Diesel, pela resistência que será necessário conferir ao motor o que aumentaria muito o seu custo e massa.

No entanto, o aumento de potência resultante do aumento da velocidade de rotação vai sendo cada vez menor, uma vez que o escape dos gases queimados e a entrada dos de admissão torna-se

mais difícil, pelo que as expansões perdem força. Ao atingir-se um determinado regime o aumento de potência já não é proporcional ao aumento de velocidade e, se continuarmos a aumentar esta última, chega-se a um determinado valor em que a potência começa a diminuir, pois a imperfeição com que os tempos motor se realizam provoca uma diminuição de trabalho superior à obtida pelo aumento do regime.

Nos tractores agrícolas os regimes motor são geralmente inferiores a 2200 rpm, obtendo-se, no entanto, boas prestações pois têm sido introduzidos grandes aperfeiçoamentos ao nível da eficiência da combustão, circulação e refrigeração dos fluxos gasosos, diminuição do atrito, perdas de calor, etc.

Para além do regime motor a velocidade do próprio êmbolo conduz a perdas por atrito, tanto maiores quanto maior for a sua velocidade.

4.4- Atrito

O atrito entre os vários componentes do motor que têm movimento relativo, assim como dos gases nas paredes das condutas e entre as moléculas do próprio fluido implicam perdas mais ou menos acentuadas o que reduz a quantidade de trabalho; as perdas de potência resultantes do atrito dependem assim da velocidade relativa dos elementos, que traduz o rendimento mecânico da transmissão, da dimensão da secção e forma das condutas, e da velocidade dos fluidos.

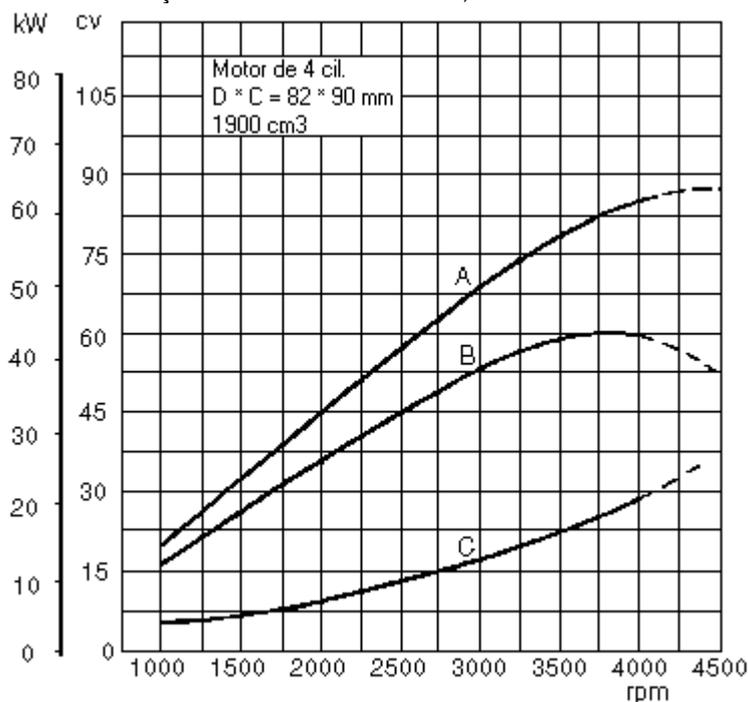


Figura 7- Representação da perda de potência resultante do atrito
A- Potência indicada B- Potência efectiva C- Perda de potência por atrito.
Fonte: Giacosa (1986)

Como se pode observar na figura 7 a potência indicada (A) ao atingir determinado regime, começa a diminuir, em virtude da redução do rendimento volumétrico, acabando por chegar a um regime em que a potência perdida por atrito (C) iguala a potência indicada, anulando-se a potência efectiva (B).

4.5- Condições atmosféricas

As condições atmosféricas interferindo na pressão, temperatura e humidade do ar fazem com que as prestações do motor apresentem pequenas variações.

Estudos efectuados com os meios aéreos permitiram concluir que a potência é directamente proporcional à pressão e à raiz quadrada da temperatura; para resolução deste problema utilizam-se nestes meios motores sobrealimentados por forma a introduzir nos cilindros uma massa de ar semelhante à que se obteria junto do nível do mar.

Bibliografia

Achart, J.; Murat, H.; Paillou, G.; Moulinard, R. (1970). Tracteurs et machines agricoles. Perigueux. Pierre Fanlac.

B.P.(1980). Utilisation economique du tracteur. B.P.**131**: 1-23

B.P. (1987). L'entretien et l'utilisation economique du tracteur. B.P. **147**: 12-23

B.P. (1991). Perfectionnements récents des tracteurs. **156**: 1- 24. Gergy Pontoise. B.P.

CEMAGREF (1991). Les tracteurs agricoles. Technologies de l'agriculture. Antony. CEMAGREF.

CNEEMA- Livre du maitre. (1978). Tracteurs et machines agricoles. Tome I. Antony. CNEEMA.

Giacosa, D. (1986). Motores endotérmicos. Barcelona. Ediciones Omega.

Goering, C. (1989). Engine and tractor power. Illinois. ASAE.

Lopez, A. (1967). Potência, binário motor e rendimento de motores. Lisboa. Edições CETOP.