

AVALIAÇÃO DE FATORES DE CORREÇÃO DE POTÊNCIA PARA DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

S. M. C. Soares

FIAT Automóveis S.A., Experimentação de Veículos, Rodovia Fernão Dias, BR 381, km 429, 32530-000, Betim, MG
sandro.soares@fiat.com.br

J. R. Sodré

PUC Minas, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Dom José Gaspar, 500, 30535-610, Belo Horizonte, MG
ricardo@pucminas.br

Resumo. Este trabalho avalia a utilização de métodos usuais de correção de potência do motor em função da condição ambiental. A análise foi possibilitada através da realização de testes em estrada, sob diferentes condições de temperatura, pressão e umidade do ar ambiente. O veículo testado era caracterizado por um motor a gasolina, de quatro cilindros em linha, sistema de injeção multiponto, comprimento do tubo de admissão variável e posição do eixo de comando das válvulas de admissão variável. O veículo foi testado ao nível do mar e na altitude de 827 m acima do nível do mar, proporcionando pressões atmosféricas entre 1027 e 926 mbar, respectivamente. A temperatura do ar ambiente variou de 22,8 a 33,8 °C nos locais de testes. A potência desenvolvida pelo veículo testado sob as diferentes condições atmosféricas foi calculada a partir do tempo de aceleração medido nos testes. Foram registrados os tempos de aceleração de 0 a 400 m, 0 a 1000 m, 40 a 100 km/h e 80 a 120 km/h, estando o veículo sempre à velocidade de 40 km/h para início do registro do tempo. A potência calculada foi então corrigida por um dos métodos avaliados para as condições padrões da curva de potência do motor obtida em laboratório. Os métodos de correção de potência avaliados foram os seguintes: DIN 70020, SAE J 1349, JIS D 1001, ISO 1585 e Sher. O método SAE J 1349 foi o que mais aproximou as curvas de potência obtidas em testes de estrada e de laboratório.

Palavras chave: motores de combustão interna, potência, tempo de aceleração, pressão, temperatura.

1. Introdução

É de conhecimento geral que as condições atmosféricas afetam a performance de motores de combustão interna. O motor apresenta uma performance diferente daquela especificada pelo fabricante se estiver operando em condições diferentes daquelas dos testes de especificação. A influência da condição atmosférica na performance de um motor pode ser observada especialmente através de variações no tempo de aceleração e no consumo de combustível. Fatores de correção são disponíveis para prever a potência desenvolvida por um motor sob condições ambientais distintas das condições padrão de levantamento de sua curva de potência em laboratório. Contudo, os vários fatores de correção propostos sempre levam a diferentes resultados para uma mesma condição atmosférica considerada. Esta discordância nos resultados dos fatores de correção motivam uma investigação sobre qual fator de correção oferece uma melhor descrição da performance de um motor em testes de estrada.

Muitos dos trabalhos que são dedicados a verificar a influência dos parâmetros ambientais na performance de um motor se referem a aplicações aeronáuticas. Naquelas situações, grandes variações na altitude influenciam a potência desenvolvida pelo motor devido a variações na temperatura, pressão e umidade do ar. Os trabalhos dedicados à indústria automotiva normalmente descrevem experimentos em um dinamômetro de bancada, onde cada parâmetro ambiental é variado separadamente. Esta técnica conduz a uma melhor compreensão da influência de cada parâmetro individual, mas não oferece informações sobre variações simultâneas dos parâmetros ambientais, como ocorre em situações reais na estrada. Assim, o objetivo deste trabalho é comparar os resultados de diferentes métodos propostos para corrigir a potência desenvolvida por um motor sob condições atmosféricas variáveis. Experimentos foram conduzidos com um veículo na estrada sob diferentes condições de pressão, temperatura e umidade, sendo a performance do veículo monitorada através da medição do tempo de aceleração. Os fatores de correção utilizados para corrigir a curva de potência do motor levantada em testes de laboratório sob uma condição ambiental padrão para as condições dos testes na estrada. O tempo de aceleração calculado a partir da potência corrigida foi comparado ao tempo de aceleração medido na estrada. Os fatores de correção avaliados ao aqueles propostos pelas normas DIN 70020 (DIN, 1986), SAE J 1349 (SAE, 1995), JIS D 1001 (JIS, 1983), ISO 1585 (ISO, 1992 e ABNT, 1996) e Sher (1984).

1.1. Revisão Bibliográfica

Elevadas pressões atmosféricas aumentam a densidade do ar e, assim, aumentam a massa de ar admitida no motor

para um mesmo volume aspirado. Uma massa de ar maior implica em um aumento da eficiência volumétrica do motor, e maior potência é desenvolvida (Pulkrabek, 1997; Heywood, 1989 e Giacosa, 1986).

A temperatura ambiente afeta a velocidade da chama, a taxa de reação da combustão, a uniformidade da mistura combustível-ar, a eficiência volumétrica e a taxa de transferência de calor através das paredes da câmara de combustão (Giacosa, 1986). Temperaturas do ar admitido elevadas aumentam a ocorrência de detonação e diminuem a eficiência volumétrica (Heywood, 1989). Temperaturas do ar elevadas podem também contribuir para evaporação estratificada de componentes do combustível na câmara. Cada componente do combustível se evapora a uma temperatura específica, causando variações cíclicas na combustão (Pulkrabek, 1997). Por outro lado, para baixas temperaturas, somente uma pequena parcela do combustível injetado é vaporizado, causando heterogeneidades e, como resultado, baixas velocidades da chama, elevadas quantidades de mistura não queimada, aumento dos níveis de emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono e perda de potência (Pulkrabek, 1997).

Mistura pré-aquecida com baixa velocidade rotacional é benéfica para a combustão. Sob elevadas velocidades rotacionais, a mistura admitida a alta temperatura diminuem a eficiência volumétrica do motor (Chiu e Horng, 1992).

A umidade do ar influencia a performance de um motor, embora a intensidade de sua influência não seja comparável às da pressão e temperatura (Redsell et al., 1993). Partículas de água no ar admitido pelo motor se vaporizam sob temperaturas elevadas na câmara e se expandem, aumentando assim a pressão na câmara. Por outro lado, umidades do ar mais elevadas podem diminuir a velocidade da chama, sendo prejudicial à combustão (Giacosa, 1986). Elevada umidade do ar é benéfica para o motor sob altas temperaturas da câmara, uma vez que previnem a ocorrência de detonação pela absorção de calor durante o processo de dissociação das moléculas de água (Heywood, 1989). A presença de água no ar de admissão pode também reduzir os níveis de emissões de óxidos de nitrogênio e de monóxido de carbono (Tsao e Miller, 1984).

Para correlacionar a performance do motor medida em testes no dinamômetro àquela medida sob diferentes condições ambientais, fatores de correção da potência são propostos por instituições e pesquisadores, como DIN (Deutsches Institut für Normung), SAE (Society of Automotive Engineers), ISO (International Organization for Standardization), JIS (Japanese Industrial Standard), ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) e Sher (1984). Estes fatores de correção podem ser usados para estimar os principais parâmetros de performance, como potência, torque, pressão média efetiva e tempo de aceleração, dos dados disponíveis de testes em laboratório para diferentes condições atmosféricas.

2. Experimentos

2.1. Equipamento e Instrumentação

O veículo usado nos testes era equipado com um motor de quatro cilindros movido a gasolina, com sistema de injeção de combustível multiponto, comprimento do tubo de admissão variável e tempo de abertura da válvula de admissão variável. A temperatura ambiente era medida por um termopar tipo J, localizado no teto do veículo. A temperatura do ar de admissão era monitorada através de três termopares tipo K instalados antes do filtro de ar, após o filtro de ar e próximo ao corpo da borboleta. Outros termopares tipo K foram instalados no sistema de arrefecimento, próximo ao cabeçote, no fluido de arrefecimento, na entrada e na saída do radiador, no sistema de combustível, em uma posição próxima aos injetores, e no reservatório de óleo lubrificante. Um transdutor de pressão foi instalado no sistema de admissão de ar.

Os seguintes parâmetros de controle do motor foram monitorados durante os testes: taxa de escoamento de massa ar de admissão, tempo de injeção de combustível, ângulo de ignição, atraso da ignição, posição da válvula borboleta, razão de equivalência da mistura ar-combustível, pressão do ar de admissão e velocidade do veículo. Um sensor ótico montado na traseira do veículo foi utilizado para medir o tempo para percorrer uma certa distância, permitindo o cálculo da velocidade do veículo e o tempo de aceleração. Os dados do sensor ótico eram gravados a partir do momento em que o veículo atingia a velocidade de 40 km/h, até que o veículo percorresse a distância de 1000 m. As distâncias medidas na pista plana foram certificadas pelo INMETRO. Os parâmetros ambientais medidos durante os testes foram temperatura, pressão, umidade, altitude relativa ao nível do mar e velocidade e direção do vento.

Três sistemas de aquisição de dados foram empregados para coletar e registrar as leituras dos instrumentos: um para medições de temperatura e pressão no sistema de admissão e para a posição do eixo de comando das válvulas de admissão, outro para o sensor ótico e o terceiro para os dados do sistema de injeção de combustível. Os parâmetros ambientais foram medidos manualmente. As incertezas estimadas das medições, calculadas pelo método proposto por Kline e McClintock (1953), são sumarizados na Tab. (1).

2.2. Procedimento Experimental

Os testes foram conduzidos com o veículo ao nível do mar e na altitude de 827 m acima do nível do mar. Ao nível do mar, vinte testes foram realizados, dez na temperatura nominal de 20 °C, dez na temperatura de 25 °C e dez na temperatura de 30 °C, todos ao longo de um mesmo dia. Em cada teste os parâmetros eram medidos a partir do momento em que o veículo atingia a velocidade de 40 km/h em quarta marcha, para diminuir a influência da ação do vento. Cada série de dez testes levava cerca de 30 minutos, com cinco testes ocorrendo com o veículo sendo dirigido em

um sentido e os outros cinco testes com o veículo dirigido na mesma direção e sentido contrário, também para minimizar a influência da ação do vento nos resultados.

Antes de atingir a velocidade de 40 km/h em quarta marcha, a velocidade do veículo era estabilizada em $39 \pm 0,5$ km/h ao longo de 500 m na pista plana e reta. Então, o veículo era completamente acelerado, e os sistemas de aquisição de dados eram automaticamente acionados quando o veículo atingia a velocidade de 40 km/h. O pedal do acelerador permanecia completamente pressionado até que a distância percorrida de 1000 m fosse atingida. Os dados eram gravados a cada 100 m viajados pelo veículo, e a cada incremento de velocidade de 10 km/h. Assim, os tempos de aceleração de 40 a 100 km/h, de 80 a 120 km/h, de 0 a 400 m e de 0 a 1000 m eram disponibilizados.

Tabela 1- Incertezas das medições.

| | |
|-------------|------------------|
| Potência | ± 0.96 kW |
| Torque | ± 0.13 N.m |
| Temperatura | ± 0.15 °C |
| Pressão | ± 12.72 mbar |
| Umidade | ± 0.75 % |
| Velocidade | ± 0.22 % |

3. Fatores de Correção de Potência

3.1. Método DIN 70020

Este método para correção da potência, recomendado pela norma DIN70020 (DIN, 1986), não considera mudanças na umidade do ar. Se variações nas condições atmosféricas são pequenas em comparação à condição de referência, então a eficiência global do motor, poder calorífico do combustível e razão ar-combustível podem todos ser considerados constantes. Considerando que a eficiência volumétrica do motor varia proporcionalmente à raiz quadrada da temperatura, a seguinte correlação é proposta:

$$CF_1 \equiv P/P_0 = (p/p_0) \cdot (T_0/T)^{0.5} \quad (1)$$

O método DIN70020 indica a condição atmosférica de referência de $p_0 = 1013,25$ mbar e $T_0 = 293$ K.

3.2. Método SAE J 1349

A norma SAE J 1349 (SAE, 1995) recomenda o seguinte fator de correção de potência para motores com ignição por centelha:

$$CF_2 \equiv P/P_0 = [(p - p_v)/(p_0 - p_{v0})] \cdot (T_0/T)^{0.5} \quad (2)$$

O método SAE J 1349 indica como condição ambiental de referência para medir a potência do motor em testes no dinamômetro $p_0 = 990$ mbar, $T_0 = 302,4$ K, e $p_{v0} = 13$ mbar. A aplicação deste fator de correção é recomendada no intervalo de 950 a 1010 mbar, e de 288,5 a 316,3 K.

3.3. Método JIS D 1001

A norma JIS D 1001 (JIS, 1993) recomenda o seguinte fator de correção de potência:

$$CF_3 \equiv P/P_0 = [(p - p_v)/(p_0 - p_{v0})] \cdot (T_0/T)^{0.75} \quad (3)$$

A condição atmosférica de referência para a Eq. (3) é $p_0 = 1013,25$ mbar e $T_0 = 293$ K (JIS, 1993).

3.4. Método ISO 1585

Este método é proposto pela norma ISO 1585 (ISO, 1992), e também é adotada pela ABNT (1996). O fator de correção de potência é:

$$CF_4 \equiv P/P_0 = [(p - p_v)/(p_0 - p_{v0})]^{1.2} \cdot (T_0/T)^{0.6} \quad (4)$$

A condição ambiental de referência é $p_0 = 1000$ mbar, $T_0 = 298K$ e $p_{0v} = 10$ mbar. O fator de correção da Eq. (4) é recomendado para utilização na faixa de 800 a 1000 mbar, e de 288 a 308K.

3.5. Método SHER

O método proposto por Sher (1984) indica a seguinte correlação semi-empírica para o fator de correção de potência:

$$CF_5 \equiv P/P_0 = \left\{ \frac{(1-\omega)/(1-\omega_0)}{(p/p_0)} \right\}^{9/8} \cdot (T_0/T)^{0,8} \quad (5)$$

A condição de referência para aplicação da Eq. (5) é $p_0 = 1000$ mbar, $T_0 = 298K$ e $\omega_0 = 10$.

4. Cálculo da Performance

Para avaliar a potência desenvolvida pelo motor do veículo a partir das medições do tempo de aceleração, os seguintes dados disponíveis do fabricante do veículo foram considerados no cálculo: massa distribuída por eixo, coeficiente de arrasto, área frontal do veículo, relação de marchas, curvas de potência e torque do motor na condição atmosférica de referência, pressão dos pneus para as condições dos testes, circunferência do pneu, coeficiente de resistência ao rolamento, eficiência mecânica e fator de atrito para a superfície da estrada.

A potência disponível para acelerar o veículo é dada pela diferença entre a potência no eixo do motor e a potência necessária para vencer a resistência ao rolamento que surge do atrito dos pneus e o arrasto aerodinâmico do veículo:

$$P_a = P_e - P_{rt} \quad (6)$$

A potência de saída do motor foi informada pela curva de potência disponível, corrigida para as condições dos testes na estrada pelos fatores de correção apresentados nas Eqs. (1) a (5). A partir da velocidade do veículo, a velocidade rotacional do motor foi calculada através da Eq. (7):

$$N = (v \cdot r_g \cdot r_d \cdot 10^6) / (2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot 60) \quad (7)$$

Para avaliar a potência de resistência ao rolamento e arrasto aerodinâmico, a parcela necessária para vencer o arrasto aerodinâmico é inicialmente calculada:

$$P_d = R_a \cdot (v/3,6) \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

e

$$R_a = 0,5 \cdot \rho_{ar} \cdot g \cdot (v/3,6)^2 \cdot C_x \cdot A_{fv} \quad (9)$$

Assim,

$$P_d = 0,5 \cdot C_x \cdot A_{fv} \cdot \rho_{ar} \cdot g \cdot (v/3,6)^3 \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

Então, a potência necessária para vencer a resistência ao rolamento é calculada:

$$P_r = K_r \cdot W_v \cdot (v/3,6) \quad (11)$$

e

$$K_r = \left[(b_1 \cdot W_{fs} + b_2 \cdot W_{bs}) / W_v \right] \cdot C_r \quad (12)$$

$$b_1 = 5,1 + (5,5 + 9W_{fs}) / p_{ft} + [(8,5 + 3W_{bs}) \cdot (0,01v)^2] / p_{ft} \quad (13)$$

$$b_2 = 5,1 + (5,5 + 9W_{bs}) / p_{bt} + [(8,5 + 3W_{bs}) \cdot (0,01v)^2] / p_{bt} \quad (14)$$

A potência para vencer a resistência ao rolamento e o arrasto aerodinâmico é então dada por:

$$P_{rt} = P_d + P_r \quad (15)$$

A aceleração do veículo a uma velocidade específica v é dada por:

$$a = P_a / [m_v \cdot (v/3,6)] \cdot 10^3 \quad (16)$$

e

$$m_v = W_v / g + [\sum I_w + I_e (r_g \cdot r_d)^2] / R_t^2 \quad (17)$$

O intervalo de tempo Δt para atingir uma velocidade final v_f a partir de uma velocidade inicial v_i é aproximado por:

$$\Delta t = (v_f - v_i) / [1,8(a_f + a_i)] \quad (18)$$

Para calcular o intervalo de tempo Δt necessário para o veículo atingir uma distância fixa (ex. 400 m, 1000 m), a seguinte aproximação foi adotada da equação de movimento:

$$(d_f - d_i) = (v_i/3,6) \cdot \Delta t + 0,25 \cdot (a_i + a_f) \cdot \Delta t^2 \quad (19)$$

$$0,25(a_i + a_f) \cdot \Delta t^2 + (v_i/3,6) \cdot \Delta t - (d_f - d_i) = 0 \quad (20)$$

$$\Delta t = \left\{ -v_i/3,6 + \left[v_i^2/12,96 + (a_i + a_f) \cdot (d_f - d_i) \right]^{0,5} \right\} / 2(a_i + a_f) \quad (21)$$

Assim, o tempo t_f para o veículo atingir a distância d_f , partindo de d_i a t_i , v_i e a_i , é:

$$t_f = t_i + \Delta t \quad (22)$$

e a velocidade do veículo v_f no tempo t_f é assim escrita:

$$v_f = [v_i/3,6 + 0,5 \cdot (a_i + a_f) \cdot \Delta t] \cdot 3,6 \quad (23)$$

5. Resultados

Os resultados mostrados representam a média de dez testes conduzidos em cada condição atmosférica. A Fig. (1) mostra as curvas de potência e torque do motor obtidas em testes de laboratório, com a representação dos intervalos de velocidade e distância adotados para determinar o tempo de aceleração. De um modo geral, Figs. (2) a (5) mostram que o tempo de aceleração para uma distância fixa ou intervalo de velocidade aumenta com o aumento da temperatura ambiente e diminui com o aumento da pressão atmosférica. Estes resultados eram esperados, uma vez que temperaturas do ar mais elevadas diminuem sua densidade absoluta e, assim diminuem a eficiência volumétrica do motor. Por outro lado, pressões atmosféricas mais elevadas auxiliam no aumento da massa de ar admitida pelo motor, aumentando assim sua eficiência volumétrica. Nos limites investigados, variações na pressão atmosférica influenciam mais no tempo de aceleração que variações na temperatura atmosférica, como pode ser visto nas Figs. (2) a (5).

A Fig. (2) mostra uma comparação entre os fatores de correção para tempos de aceleração de 40 a 100 km/h. Os fatores CF_1 , CF_2 e CF_3 fornecem os tempos de aceleração calculados da curva de potência do motor que mais se aproximam dos tempos de aceleração medidos nos testes de estrada. Os tempos de aceleração obtidos do fator de correção CF_2 apresentam a menor discrepância entre os valores experimentais de laboratório e de estrada, de apenas 0,87%. Os resultados do fator de correção CF_1 estão entre os melhores, embora este fator não considere a umidade do ar nos cálculos. Os tempos de aceleração calculados dos fatores CF_4 e CF_5 apresentaram a maior discrepância dos valores experimentais de estrada, de 2,0 e 3,7 %, respectivamente. De um modo geral, os tempos de aceleração obtidos a partir dos fatores de correção de potência superestimam os valores experimentais obtidos nos testes de estrada na altitude de 827 m acima do nível do mar, e subestima os valores de estrada obtidos ao nível do mar no limite de temperatura investigado, com poucas exceções. Na maioria dos casos os fatores de correção forneceram tempos de aceleração mais próximos aos medidos nos testes de estrada na condição de 928 mbar e 22,8 °C.

A Fig. (3) mostra que, para os tempos de aceleração de 80 to 120 km/h, o fator de correção CF_1 fornece os resultados que melhor se aproximam dos valores obtidos dos testes de estrada, com uma discrepância média de 1,31 %. O tempo de aceleração do fator de correção CF_2 apresenta o segundo melhor resultado, com uma discrepância média de 1,49 % dos testes de estrada. Os fatores de correção CF_4 , CF_5 e CF_3 originaram resultados cujas discrepâncias médias dos testes de estrada foram 1,59, 1,79 e 2,34 %, respectivamente. Neste intervalo de velocidade, todos os fatores de

correção forneceram tempos de aceleração que superestimam os valores dos testes de estrada na altitude de 827 m acima do nível do mar, para todas as temperaturas testadas. Ao nível do mar, os fatores de correção forneceram, em geral, tempos de aceleração que melhor se aproximaram dos testes de estrada na temperatura de 28,2 °C.

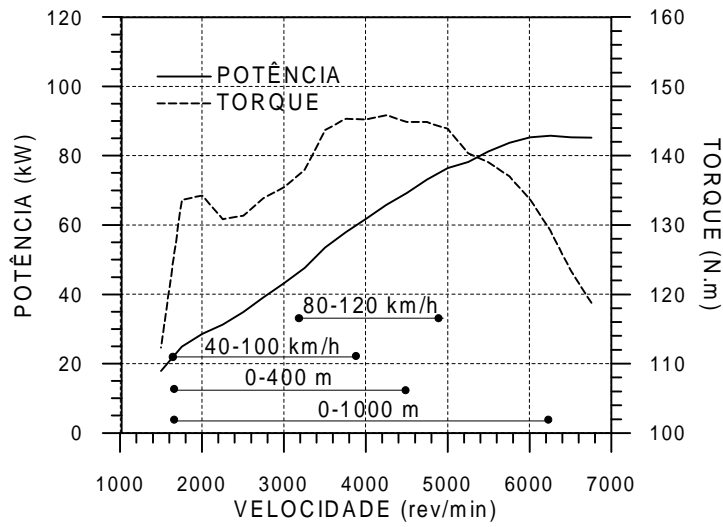


Figura 1- Curvas de potência e torque e intervalos de velocidade e distância percorrida.

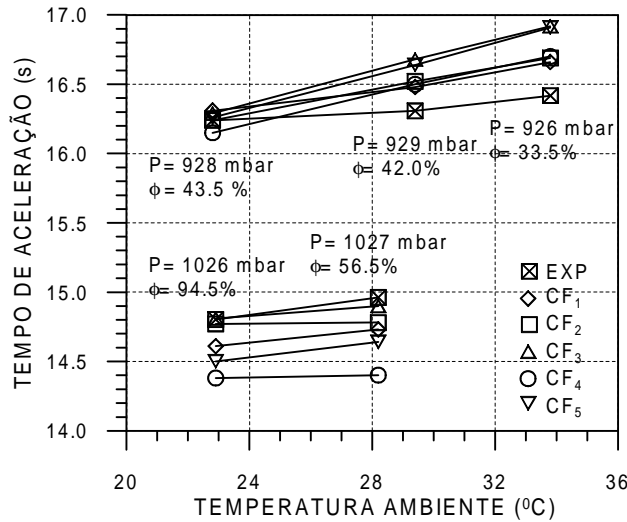


Figura 2- Tempo de aceleração de 40 a 100 km/h.

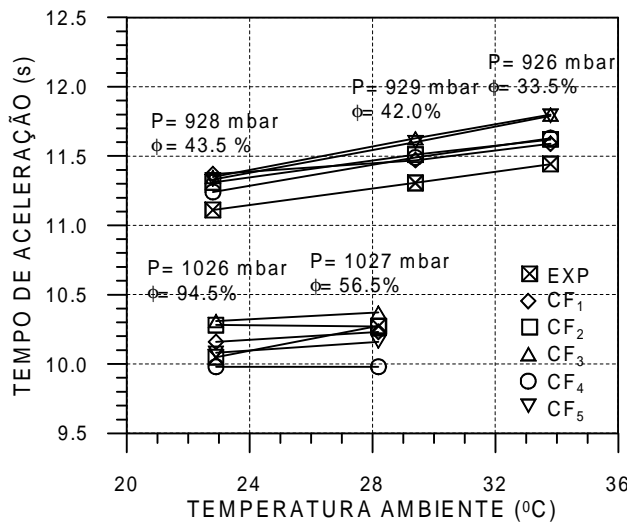


Figura 3- Tempo de aceleração de 80 a 120 km/h.

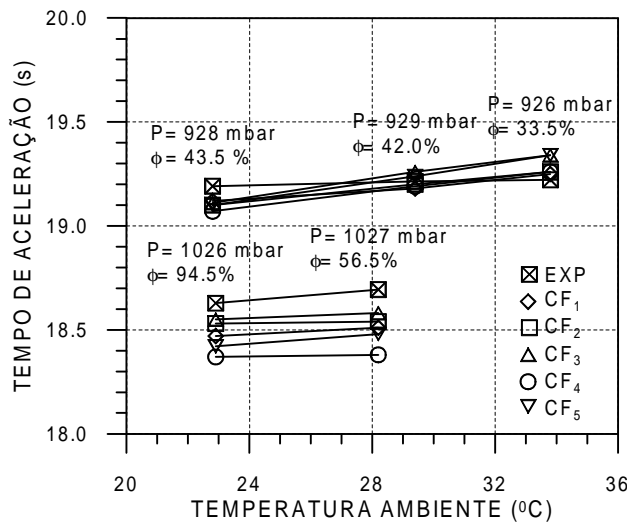


Figura 4- Tempo de aceleração de 0 a 400 m.

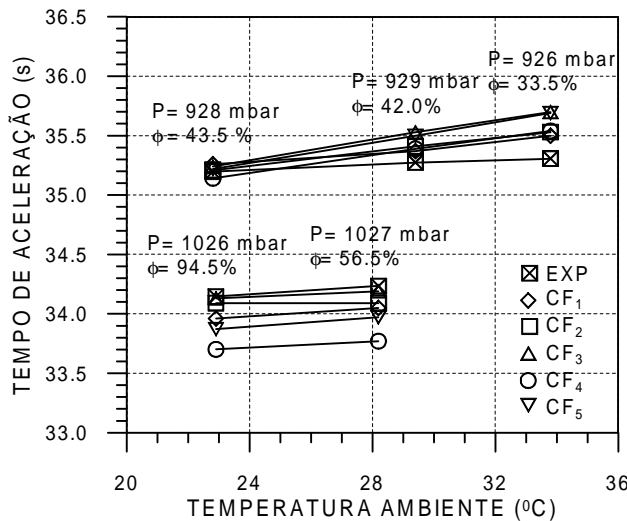


Figura 5- Tempo de aceleração de 0 a 1000 m.

Para o tempo de aceleração de 0 a 400 m, os melhores resultados foram novamente apresentados pelos fatores de correção CF₁, CF₂ e CF₃, como mostra a Fig. 4. O tempo de aceleração calculado do fator de correção CF₂ mostrou a menor discrepância dos resultados dos testes de estrada, com um valor médio de 0,41 %. Os fatores de correção CF₃ e CF₄ mostraram as maiores discrepâncias dos testes de estrada, de 0,7 e 0,81 %, respectivamente. Os tempos de aceleração calculados dos fatores de correção neste limite de distância mostraram resultados mais próximos aos valores determinados nos testes de estrada dentro dos limites de pressão e temperatura testados.

O tempo de aceleração para o mais amplo limite testado, de 0 a 1000 m, mostram os resultados dos fatores de correção CF₁, CF₂ e CF₃ com uma melhor aproximação aos valores de estrada, como visto na Fig. (5). O tempo de aceleração calculado do fator de correção CF₂ mostrou a menor discrepância média dos valores de estrada, de 0,33 %. As melhores aproximações entre os valores calculados através dos fatores de correção e os valores medidos na estrada foram encontradas nas condições atmosféricas a 827 m acima do nível do mar.

6. Conclusões

Observou-se que a pressão é um parâmetro ambiental mais influente na performance do motor que a temperatura do ar. Testes de estrada mostraram que o tempo de aceleração aumenta com o aumento da temperatura do ar e diminuição da pressão atmosférica.

Os fatores de correção de potência avaliados neste trabalho que apresentaram os resultados mais próximos dos testes de estrada foram aqueles recomendados pelas normas DIN 70020, SAE J 1349 e JIS D 1001. Entre estes, o fator de correção indicado pela norma SAE J 1349 é o que produziu os melhores resultados.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem a FIAT Automóveis S.A., pelo suporte financeiro a este projeto.

8. Referências

- ABNT, 1996, "Road Vehicles – Engine Test Code – Net Effective Power", NBR/ISO 1585, Brazilian Association of Technical Standards, 1996.
- Chiu, C.P., and Horng, R.F., 1992, "Effects of Intake Air Temperature and Residual Gas Concentration on Cycle-to-Cycle Combustion Variation in a Two-Stroke Cycle S.I. Engine Equipped with an Air – Assisted Fuel Injection System.", JSME International Journal, Vol. 37, N.4, pp. 957-965.
- DIN, 1986, "Automotive Engineering; Maximum Speed; Acceleration and Other Terms; Definitions and Tests", DIN 70020, Deutsches Institut für Normung.
- Giacosa, D., 1986, "Motori Endotermici", 2 ed., Ulrico Hoepli Editore S.p.A., Milan, 1986.
- Heywood, J.B., 1989, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Co..
- ISO, 1992, "Road Vehicles – Engine Test Code – Net Power", ISO 1585, International Organization for Standardization.
- JIS, 1993, "Road Vehicles – Engine Power Test Code", JIS D 1001, Japanese Industrial Standard.
- Kline, S.J., and McClintock, F.A., 1953, "Describing Uncertainties in Single Sample Experiments", Mechanical Engineering, Vol. 75, pp. 3-8.
- Pulkrabek, W.W., 1997, "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", Prentice Hall, Inc..
- Redsell, M., Lucas, G.G., and Ashford, N.J., 1993, "Factors Affecting Car Fuel Consumption", Proc. Instn. Mechanical Engineers, Vol. 207, N. D8, pp. 895-904.
- SAE, 1995, "Engine Power Test Code – Spark Ignition and Compression Ignition – Net Power Rating", SAE J 1349, Society of Automotive Engineers.
- Sher, E., 1984, "The Effect of Atmospheric Conditions on the Performance of an Air-Borne Two-stroke Spark-Ignition Engine", Proc. Instn. Mechanical Engineers, Vol. 198, N. D15, pp. 239-251.
- Tsao, K.C., and Miller, E.M., 1984, "Performance of Gasoline-Water Fuel in a Modified SI Engine", SAE Paper 841399, SAE.

9. Nomenclatura

- a - aceleração do veículo (m/s^2)
- A_{fv} - área frontal do veículo (m^2)
- b_1, b_2 - coeficientes definidos nas Eqs. (13) e (14) (adimensional)
- C_r - coeficiente de resistência ao rolamento (adimensional)
- C_x - coeficiente de arrasto aerodinâmico (adimensional)
- $CF_1...CF_5$ - fatores de correção de potência definidos nas Eqs. (1) a (5) (adimensional)
- d - posição do veículo (m)
- g - aceleração da gravidade (m/s^2)
- I_e - momento de inércia do motor ($N.m^2$)
- I_w - momento de inércia da roda ($N.m^2$)
- K_r - coeficiente de rolamento (adimensional)
- m_v - massa do veículo (kg)
- N - velocidade rotacional do motor (rpm)
- p - pressão atmosférica (mbar)
- p_{br} - pressão dos pneus traseiros (bar)
- p_{ft} - pressão dos pneus dianteiros (bar)
- p_v - pressão parcial do vapor d'água (mbar)
- P - potência no eixo (kW)
- P_a - potência disponível para acelerar o veículo (kW)
- P_d - potência para vencer o arrasto aerodinâmico (kW)
- P_e - potência desenvolvida pelo motor (kW)
- P_r - potência para vencer a resistência ao rolamento (kW)
- P_{rt} - potência para vencer a resistência ao rolamento e o arrasto aerodinâmico (kW)

r_d - relação da engrenagem diferencial (adimensional)
 r_g - relação de marcha (adimensional)
 R_a - força de arrasto ou resistência aerodinâmica (N)
 R_r - raio do pneu (mm)
 t - tempo (s)
 v - velocidade do veículo (km/h)
 W_{bs} - carga no eixo traseiro (N)
 W_{fs} - carga no eixo dianteiro (N)
 W_v - peso total do veículo (N)

Símbolos Gregos

Δt - intervalo de tempo (s)
 ω - umidade absoluta do ar (adimensional)

Subscritos

0 - condição de referência
 i - inicial
 f - final

EVALUATION OF POWER CORRECTION FACTORS AT VARIABLE ATMOSPHERIC CONDITIONS

S.M.C. Soares

FIAT Automobile S.A., Vehicle Experimentation Div., Rodovia Fernão Dias, BR 381, km 429, 32530-000, Betim, MG
sandro.soares@fiat.com.br

J.R. Sodré

Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Department of Mechanical Engineering, Av. Dom José Gaspar, 500, 30535-610, Belo Horizonte, MG, Brazil
ricardo@pucminas.br

Abstract. *This work evaluates proposed methods to correct engine power output as a function of atmospheric conditions. The analysis was made through experiments carried out in a vehicle on the road, under different temperature, pressure and air humidity conditions. The vehicle had a four-cylinder gasoline-fuelled engine, with multi-point fuel injection system, variable intake pipe length and variable intake valve camshaft position. The vehicle was tested at sea level and at 827 m above sea level, corresponding to atmospheric pressures between 1027 and 926 mbar. Air temperature varied from 22,8 to 33,8 °C at the test locations. The measured performance parameter in the tests was the vehicle acceleration time. The acceleration times from 0 to 400 m, 0 to 1000 m, 40 to 100 km/h and 80 to 120 km/h were all recorded, leaving from an initial vehicle speed of 40 km/h. The vehicle power curve obtained in laboratory under a standard ambient condition was corrected to the conditions of the road tests by the correction factors proposed by the methods under evaluation, and the corresponding acceleration times were calculated and compared with the measurements from the road tests. The evaluated methods for power correction were the following: DIN 70020, SAE J 1349, JIS D 1001, ISO 1585 and Sher. The SAE J 1349 method was the one which most approached the power curves obtained from road and laboratory tests.*

Keywords. *Internal combustion engines, power, acceleration time, pressure, temperature.*