

INFLUÊNCIA DOS PONTOS T10%, T50% E T90% DA DESTILAÇÃO ASTM D86 DA GASOLINA NAS PERFORMANCES DINÂMICAS DE MOTORES CICLO OTTO EQUIPADOS COM INJEÇÃO ELETRÔNICA MULTIPONTO DE COMBUSTÍVEL

Everton Peter Carriconde - dcmc@agrale.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
R. sarmento Leite, 475 - 90035-972 - Porto Alegre, RS, Brasil

Pedro Barbosa Mello - mello@mecanica.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica
Cx. P. 17819 - 90035-972 - Porto Alegre, RS, Brasil

***Resumo.** Este trabalho mostra a influência que a volatilidade da gasolina, nos pontos T10%, T50% e T90%, da destilação ASTM D86 exerce sobre as performances dinâmicas de motores ciclo Otto equipados com injeção eletrônica multiponto de combustível, através da utilização de procedimentos padrões de teste em um dinamômetro de rolos. Para cada um dos pontos de destilação foram estabelecidos três faixas de valores de temperatura, ocasionando a formação de 27 diferentes misturas de gasolina. Foram verificados os efeitos da variação individual de cada um desses pontos em consumo, potência e aceleração.*

***Palavras-chave:** Volatilidade, T10%, T50% e T90%*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos verificou-se um grande avanço na tecnologia de motores do ciclo Otto e dos sistemas de injeção de combustível. No que se refere ao combustível, verificou-se um amplo estudo de combustíveis alternativos em busca de menores índices de poluição deixando o estudo das propriedades da gasolina praticamente em segundo plano, seja por motivos ecológicos ou por questões políticas. Salvo alguns trabalhos como, Morgan, C. R. & Smith, C. N. (1978) e Yoshida, E., Nomura, H., Nagasawa, T. & Omata, T. (13th World Petroleum Congress).

O presente artigo apresenta um estudo da influência da volatilidade da gasolina nas performances dinâmicas (aceleração (regime transiente), consumo (regime permanente) e potência (regime permanente)) de motores ciclo Otto, variando-se a temperatura de evaporação dos pontos T10%, T50% e T90% da destilação ASTM D86 (American Society for Testing and Materials, 1996), através da mistura de diferentes hidrocarbonetos. A Destilação ASTM D86 é um método padrão na qual evapora-se um volume de 100ml de uma amostra à uma taxa constante de aquecimento. A medida que a amostra começa a evaporar, obtêm-se o valor da temperatura para cada percentual de evaporação da amostra. Veja um exemplo da destilação ASTM D86 na Fig. 1.

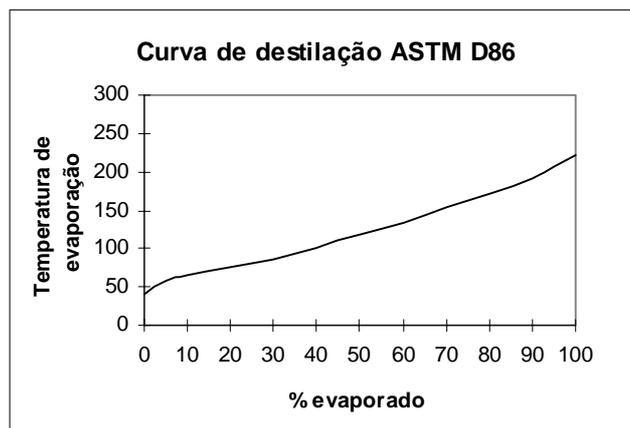


Figura 1 - Curva de destilação ASTM D86.

As misturas foram realizadas sempre com o cuidado de manter as outras propriedades (que interferem nas performances dinâmicas do motor) dentro de uma faixa padrão de valores. Por exemplo, o teor de aromáticos, olefinas e saturados de cada uma das misturas foi enquadrado dentro das seguintes faixas:

- Aromáticos: (27 a 33)% ;
- Olefinas: (0 a 2)% ;
- Saturados: (65 a 67)% ;

As misturas não foram realizadas mantendo a octanagem dentro de uma faixa determinada de valores. Para anular o efeito da octanagem realizou-se o mapeamento da curva de ignição da injeção eletrônica baseando-se na mistura que possuía pior octanagem, no caso, a mistura número 12 presente na tabela 2.

Como tinha-se o objetivo de testar a influência isolada dos três pontos da destilação ASTM D86, escolheu-se três faixas de temperatura para cada ponto da destilação, ou seja, baixa, média e alta temperatura, conforme Tabela 1:

Tabela 1. Faixas de temperaturas do pontos de evaporação de destilação ASTM D86

NÍVEL	T10% (°C)	T50% (°C)	T90% (°C)
Baixo	50,3 a 56,0	83,7 a 90,2	145,2 a 151,4
Médio	62,0 a 68,5	102,5 a 107,8	164,7 a 171,7
Alto	76,5 a 79,8	114,2 a 123,0	180,8 a 187,6

Desta maneira, chegou-se ao número de 27 misturas diferentes, utilizando 7 produtos bases para sua elaboração. Para atuar no ponto T10% utilizou-se Pentano e Hexano, para atuar no ponto T50% utilizou-se Alcoolado, Tolueno e Xileno, para atuar no ponto T90% utilizou-se C9 aromático e Q.A.V. (Querosene de Aviação).

2. EXPERIMENTOS

Todos os experimentos foram realizados no laboratório de motores de Refinaria Alberto Pasqualini - PETROBRÁS em Canoas-RS. Para a execução dos experimentos foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Dinamômetro de rolos BOSCH, modelo FLA 202;
- Automóvel FIAT Pálio 1.0 mpi;
- Automóvel MONZA SL/E 2.0 mpfi;

- Injeção eletrônica seqüencial TEC II -ELECTROMOTIVE;
- Microcomputador NoteStar, modelo NP-903,
- Tanque auxiliar de combustível;
- Termômetro analógico SUNDO;
- Higrômetro analógico SUNDO;
- Barômetro analógico SUNDO;
- Ventilador COMETA 1.1/2 c.v.;
- Balança digital MARTE, modelo 40Kg;

Cada um dos 7 compostos básicos de hidrocarbonetos foi enviado para o laboratório de análises químicas e físicas onde se obteve as suas respectivas curvas de destilação, densidade e cromatografia. Com o auxílio de um programa de computador (desenvolvido para este fim, em linguagem Pascal) elaborou-se as misturas, conforme Tabela 2, procurando manter próximos os percentuais de aromáticos, olefinas e saturados.

Tabela 2. Relação das misturas analisadas e suas respectivas temperaturas dos pontos T10%, T50% e T90% da destilação ASTM D86

Mist. N.º	T10% (°C)	T50% (°C)	T90% (°C)	Mist. N.º	T10% (°C)	T50% (°C)	T90% (°C)
1	55,4	83,7	145,2	15	62,0	102,7	184,9
2	55,2	88,7	167,7	16	68,5	120	149,9
3	53,7	86,6	180,8	17	66,4	122,6	171,7
4	52,4	102,8	149,2	18	64,3	123,0	184,6
5	56,0	102,7	171,2	19	77,5	89,1	150,8
6	50,6	102,5	184,4	20	76,6	89,1	165,5
7	54,1	114,2	150,9	21	76,9	90,2	181,4
8	53,9	116,3	166,7	22	79,8	106,5	148,1
9	50,3	120,2	185,0	23	78,9	106,2	167,3
10	67,2	86,2	151,4	24	78,7	105,9	183,6
11	67,6	87,5	171,2	25	76,5	119,0	150,1
12	67,8	86,1	184,1	26	77,7	122,9	167,5
13	68,0	107,8	148,5	27	77,5	117,2	187,6
14	67,6	106,0	164,7				

Antes da realização de cada teste foi necessário realizar o procedimento padrão de aquecimento do motor até a temperatura estável.

Antes de realizar o teste com as misturas, foi necessário realizar o ajuste do ponto de ignição, através do programa computacional de acesso ao módulo de comando da injeção eletrônica, utilizando a mistura número 12. Neste ajuste, para cada rotação, adiantava-se o ponto de ignição até ocorrer detonação no motor. Como a mistura em questão possuía octanagem muito baixa (MON: 67,9 e RON: 73,4) e o motor utilizado tem taxa de compressão 9,3:1, foi necessário a colocação de uma restrição na admissão de ar do motor para diminuir a compressão dinâmica (Guibet, Jean C., 1987 e Heywood, J.B., 1989) e para que não fosse necessário atrasar muito o ponto de ignição em razão da detonação.

Para cada bateria de testes anotou-se os valores da temperatura ambiente, temperatura de admissão no coletor, umidade relativa do ar e pressão atmosférica possibilitando a realização das devidas correções dentro da norma NBR ISO 1585.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Após a realização dos testes e o devido tratamento estatístico, obteve-se os seguintes resultados:

3.1 Potência e Consumo específico

A medição da potência do motor e o consumo de combustível foram realizadas em 7 rotações diferentes com a borboleta totalmente aberta e em 4º marcha, com o objetivo de comparar efeito de cada um dos pontos da destilação (T10%, T50% e T90%) em toda a faixa de utilização do motor. Para cada rotação do motor, realizaram-se 3 repetições. Os valores de potência (veja Tabela 3) e de consumo (veja Tabela 4) são os valores médios corrigidos pela norma NBR ISO 1585. Antes da realização do teste de potência e consumo de cada mistura, realizou-se um aquecimento prévio com a própria mistura à ser testada por um período de 4 minutos com a borboleta totalmente aberta e o motor operando em 4000rpm. Este procedimento tinha a finalidade de descontaminar a linha de alimentação da injeção da mistura que foi testada anteriormente.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de potência (kW) do motor de 1000cm³.

Mist. N.º	ROTAÇÃO (rpm)						
	1500	2500	3000	3500	4000	4500	5000
1	6,07	12,36	15,80	18,68	21,90	24,10	25,79
2	6,13	12,75	16,30	19,23	22,31	24,50	26,02
3	6,64	12,94	16,58	19,32	22,60	24,80	26,48
4	6,01	12,44	16,10	18,98	22,04	24,32	25,89
5	5,99	12,55	16,10	19,09	22,14	24,46	25,80
6	6,26	12,93	16,58	19,49	22,41	24,72	26,21
7	5,79	12,27	16,65	18,61	21,72	23,65	25,22
8	6,07	12,53	16,06	18,96	21,80	24,24	25,83
9	6,26	12,42	16,06	18,75	22,08	24,27	25,90
10	6,27	12,49	16,00	18,90	22,16	24,33	25,93
11	6,48	13,09	16,63	19,66	22,80	25,03	26,73
12	6,51	13,24	16,87	19,9	22,97	25,14	26,7
13	5,87	11,97	15,37	18,30	21,02	23,57	25,20
14	5,88	12,26	15,69	18,61	21,66	23,75	25,20
15	6,22	12,57	16,04	18,99	21,97	24,03	25,53
16	5,74	12,05	15,47	18,39	21,45	23,61	24,96
17	6,32	12,88	16,38	19,35	22,49	24,64	26,28
18	6,69	13,18	16,73	19,73	22,82	24,79	26,49
19	6,07	12,59	16,04	19,02	22,24	24,38	26,05
20	6,29	12,80	16,25	19,27	22,35	24,65	26,37
21	6,45	13,05	16,66	19,62	22,65	24,86	26,54
22	5,67	11,70	15,08	17,70	20,63	22,66	24,47
23	5,98	12,16	15,67	18,70	21,66	23,80	25,35
24	6,02	12,40	15,88	18,89	21,82	23,95	25,61
25	5,74	12,02	15,44	18,37	21,42	23,46	25,08
26	5,99	12,31	15,98	18,78	22,04	24,18	25,72
27	6,44	13,00	16,59	19,45	22,47	24,42	26,10

O teste de consumo foi realizado com o auxílio de uma balança digital com precisão de $\pm 1g$, onde colocou-se o tanque auxiliar para assim medir o tempo que era gasto para consumir 100g de combustível em cada rotação do motor. Tendo-se o tempo gasto para o consumo de 100g de combustível e a potência para cada rotação, calculou-se o consumo específico para cada uma das rotações analisadas.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de consumo específico (g/kW.h) do motor de 1000cm³

Mist. N.º	ROTAÇÃO (rpm)						
	1500	2500	3000	3500	4000	4500	5000
1	460,1	429,8	391,9	378,8	358,2	365,9	382,3
2	465,5	402,9	376,1	359,8	352,3	362,2	381,8
3	435,9	403,5	370,8	363,8	351,6	355,5	379,2
4	500,5	415,6	378,0	367,6	354,2	362,5	380,6
5	486,9	406,6	381,2	363,7	356,3	356,1	379,8
6	468,1	397,7	371,7	358,3	351,9	355,9	377,7
7	480,9	408,6	382,2	369,4	356,4	366,6	385,9
8	469,7	414,5	382,8	367,4	356,9	363,5	381,9
9	466,8	421,0	383,1	373,6	357,5	363,2	379,6
10	441,6	405,2	377,3	364,1	346,3	360,9	377,8
11	435,9	394,7	369,3	359,2	345,1	357,9	369,8
12	428,9	389,6	363,2	351,3	339,3	350,4	371,3
13	478,5	422,6	389,1	376,6	367,9	365,7	382,7
14	475,1	406,8	381,4	364,5	352,9	362,4	383,1
15	450,9	404,4	377,2	360,1	350,3	356,8	378,3
16	482,8	413,4	387,3	373,9	360,5	367,6	385,9
17	444,2	402,5	375,9	363,1	350,9	359,3	376,1
18	424,5	400,3	368,0	358,1	346,2	358,2	374,3
19	460,7	400,5	376,1	366,4	350,7	358,9	378,2
20	464,1	409,1	377,2	364,5	353,7	362,3	375,2
21	457,4	398,8	372,5	360,4	348,4	358,6	376,2
22	499,2	428,4	397,4	389,8	374,9	384,7	401,3
23	472,6	415,9	384,0	371,7	358,4	366,6	385,2
24	472,9	416,8	376,2	364,8	356,9	361,1	385,4
25	480,6	420,0	391,2	372,9	357,2	373,9	388,2
26	485,0	421,4	386,9	376,9	358,3	366,4	385,4
27	454,4	398,5	373,8	358,6	349,4	361,3	374,2

3.2 Tempo de aceleração

O tempo de aceleração, veja Tabela 5, foi medido durante a variação de velocidade de 2500 a 5500 rpm em 4º marcha e com a borboleta totalmente aberta. Em todas as medições a borboleta foi totalmente aberta na velocidade de 30 Km/h, com a finalidade do motor chegar na velocidade de 51Km/h (2500 rpm) em uma condição mais estabilizada. Para cada mistura foram realizadas 6 repetições em cada teste.

Antes da realização do teste de aceleração de cada mistura, realizou-se um aquecimento prévio com a própria mistura a ser testada por um período de 4 minutos com a borboleta totalmente aberta e o motor operando em 4000rpm. Este procedimento tinha a finalidade de descontaminar a linha de alimentação da injeção da mistura que foi testada anteriormente.

No teste de aceleração, entre cada 3 misturas testadas, testou-se uma gasolina padrão com a finalidade de corrigir todos o tempos obtidos nas diferentes condições ambientais ao decorrer dos 2 dias de testes.

Tabela 5. Tempo médio dos 6 ensaios de aceleração de 2500 a 5500 rpm com motor de 1000cm³

MIST N.º	TEMPO (seg.)	MIST N.º	TEMPO (seg.)
1	13,72	15	13,60
2	13,78	16	14,52
3	13,48	17	14,05
4	13,85	18	13,59
5	14,04	19	13,57
6	13,65	20	13,59
7	14,03	21	13,52
8	14,06	22	13,97
9	14,01	23	13,86
10	13,59	24	13,73
11	13,57	25	14,46
12	13,31	26	14,31
13	14,12	27	13,71
14	13,82		

Para verificar se os pontos T10%, T50%, e T90% também influem nas performances dinâmicas de motores de maior cilindrada, efetuou-se os testes de aceleração (em 4º marcha) com as misturas 1, 3, 7, 9, 19, 21, 25 e 27, em um motor também equipado com injeção eletrônica multiponto do combustível, mas com o dobro da capacidade volumétrica, apresentando os resultados, conforme Tabela 6:

Tabela 6. Tempo de aceleração de 2500 a 5500 rpm com motor de 2000cm³

MIST N.º	TEMPO (seg.)
1	14,01
3	13,91
7	14,51
9	14,46
19	14,10
21	13,86
25	14,55
27	13,17

Ainda para comprovar um possível efeito de lubrificação das paredes dos cilindros através de um alto T90%, realizou-se testes de aceleração com a mistura n.º 25, dois com a mistura pura e outro adicionando-se 0,5% de molibdênio, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 7, utilizando-se o automóvel FIAT PÁLIO 1.0 mpi.

Tabela 7. Tempo de aceleração de 2500 a 5500 rpm, com motor de 1000cm³ utilizando molibdênio com aditivo na mistura n.º 25

TEMPO (seg.)		
Mistura 25	Mist.25 + 0,5% Molibdênio	Mistura 25
13,9	13,4	13,8
14,0	13,4	13,9
14,0	13,3	13,9
13,9	13,3	13,8
13,9	13,3	13,9
13,9	13,3	13,9

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir tanto o ponto T50% como o ponto T90% influem em todos as performances dinâmicas de motores com baixa cilindrada, ocorrendo uma significativa queda conforme o aumento da cilindrada. Veja, na Fig. 2, a influência destes pontos no tempo de aceleração nos dois motores testados. Para analisar os resultados dos ensaios utilizou-se a regressão linear múltipla e análise de variância, com um nível de confiança de 95% e obtendo-se, dessa maneira, o valor de F calculado que, por sua vez, indica a influência de cada um dos pontos e também a influência do cruzamento entre esses pontos de destilação.

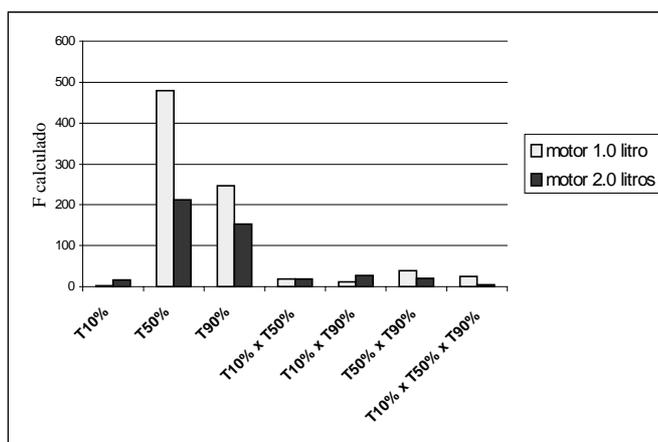


Figura 2 - Resultado da análise estatística dos ensaios de aceleração nos motores de 1000cm³ e 2000cm³.

Quanto mais alta for a temperatura do ponto T90%, menor será o tempo de aceleração, maior será a potência e menor será o consumo específico em todas as rotações.

Essa forte influência do ponto T90% no sentido de aumentar a potência e diminuir o tempo de aceleração deve-se ao fato dos hidrocarbonetos de alto ponto de ebulição apresentarem ação lubrificante nas paredes dos cilindros, diminuindo a potência perdida por atrito. Esse fato foi comprovado com o teste do Molibdênio, onde uma pequena adição (0,5% em volume) apresentou uma melhora próxima de 5% nos resultados finais dos testes de aceleração.

O ponto T50% apresentou influencia significativa. Quanto mais baixo for o T50%, maior é a potência, menor é o consumo específico e menor é o tempo de aceleração, devido a uma

melhor distribuição da mistura ar/combustível dentro da câmara de combustão. Veja comparação entre as misturas 11, 14 e 17 na Fig. 3.

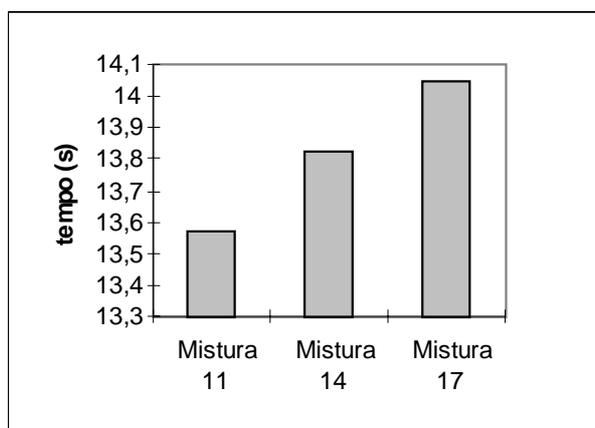


Figura 3 - Comparação de tempo de aceleração de 2500 a 5500 rpm entre as misturas 11,14 e 17.

Já o ponto T10% não apresentou influência isoladamente em nenhuma das performances dinâmicas, mas apresentou influência quando correlacionado com o ponto T90%. Sendo o ponto T90% baixo, quanto menor for o ponto T10%, menor será o tempo de aceleração.

Sugere-se assim, que sejam reavaliadas as especificações da gasolina brasileira no que se refere a destilação (ASTM D86), baixando-se o limite de temperatura máxima do ponto T50% que é de 140°C. Sugere-se, também, que sejam realizados estudos mais aprofundados sobre o ponto T90%, levando-se em conta as alterações nas emissões de escape.

5. RECONHECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças aos apoios do CNPq e da Refinaria Alberto Pasqualini - REFAP, através do pessoal do Laboratório de Motores, em especial, os Eng^{os} Djalmar Melchior e Dícles Dalávia, bem como os demais funcionários.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM, American Society for Testing and Materials, 1996, "Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products", ASTM Committee of Standards, West Conshohocken.
- CONCAWE Automotive Emissions Management Group, 1997, "Gasoline Volatility Specifications - Post Year 2000", ConcaWE, Brussels.
- Guibet, Jean C., 1987, "Carburants et Moteurs", Éditions Technip, l'institut français du pétrole, Paris, França.
- Heywood, J.B., 1989. "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Morgan, C. R. e Smith, C. N., Mobil Research and Development Corporation, 1978, "Fuel Volatility Effects on Driveability of Vehicles Equipped with Current and Advanced Fuel Management Systems", SAE paper n.º 780611, Automotive Engineering.
- Yoshida, E., Nomura, H., Nagasawa, T. and Omata, T., Central Technical Research Laboratory, Nippon Oil Co., "Effects of gasoline Volatility on the Driveability of Passenger Cars", 13th World Petroleum Congress, Nippon Oil Co., Japan.

INFLUENCE OF T10%, T50% AND T90% ASTM D86 DISTILLATION POINTS OF GASOLINE ON THE DYNAMIC PERFORMANCES OF CICLO OTTO ENGINES EQUIPPED WITH MULTIPOINT ELECTRONIC FUEL INJECTION

***Abstract.** This work shows the influence of gasoline volatility in T10%, T50% and T90% ASTM D86 distillation points exerts on the dynamic performance of Otto cycle engines equipped with multipoint electronic fuel injection system, using standard test procedures in a chassis dynamometer. For each one of the distillation points three ranges of temperature were established, forming 27 different kinds of gasoline. The effects of variation of those points in consumption, power and acceleration were verified individually.*

***Keys-word:** Volatility, T10%, T50% and T90%*