



## SMM0166 - Eletrônica Aplicada aos Motores CI

### Lista de Exercícios

#### I. Fundamentos

1. Descreva os 4 tempos de funcionamento do motor a 4 tempos (4T).
2. Quais são os principais subsistemas do motor a 4 tempos? Descreva-os sucintamente.
3. Descreva o funcionamento do carburador mecânico convencional.
4. Descreva o funcionamento do distribuidor mecânico. Qual era a função do distribuidor?
5. Descreva o funcionamento do sistema de ignição de 1a. geração.
6. O que é ignição eletrônica estática? Quais são suas características?
7. O que é centelha perdida?

#### II. Análise Teórica do Motores de 4 Tempos

1. Desenhe e identifique as partes do Diagrama P-V do ciclo de 4 tempos ideal. O que faz com que o motor de 4 tempos (4T) não opere realmente pelo ciclo ideal?
2. Qual é a diferença entre um dinamômetro de bancada e um dinamômetro de rolos?
3. O que é um “ciclo de emissões”? Qual é a sua utilidade?
4. O que é pressão média efetiva  $mep$ ?
5. O que é potência indicada? Como ela é encontrada?
6. Qual é a diferença entre detonação e autoignição?
7. Um motor 2,4 litros 4T opera a 3500 rpm. A taxa de compressão é de 9,2:1. A relação entre o curso  $l$  e o diâmetro do cilindro  $\varnothing$  é de  $l = 1,06 \cdot \varnothing$ . A biela tem comprimento  $l_b = 18$  cm. Calcule:
  - a. o volume da câmara de combustão, em  $cm^3$ .
  - b. o curso  $l$  e o diâmetro do cilindro  $\varnothing$ .
  - c. a velocidade média do pistão  $v$  em m/s.
8. Um motor 4T de 10,455 litros está trabalhando numa bancada dinamométrica. Numa dada condição de operação ele produz 670 m·N de torque a 2100 rpm e a  $mep$  indicada foi de 1000 kPa.
  - a. calcule a potência indicada e a potência no eixo do motor (potência de freio ou *brake power*);
  - b. a  $mep$  de freio;
  - c. a  $mep$  de atrito;
9. Um motor V12 26.1 litros de alto desempenho fornece CS (ou bsfc) de 0,063 kg/MJ na potência máxima (900kW a 2300 rpm) e o mínimo CS (ou bsfc) é de 0,057 kg/MJ (397.5 kW) a 1800 rpm. Calcule o rendimento da conversão do combustível em ambas as condições e o consumo horário de combustível no regime de potência máxima. O poder calorífico inferior PCI do combustível é 42 MJ/kg.
10. Um motor 4T 6.0 litros aspirado consome 19 kg/h de combustível e 413 hg/h de ar a 2300 rpm em regime de plena carga (WOT). As condições ambientes são 20°C e 1 bar. Calcule:
  - a. o consumo de ar teórico e a eficiência volumétrica nestas condições;
  - b. a relação ar-combustível neste regime.

#### IV. Estequiometria, Relação A/C e Emissões

1. Quais os combustíveis mais utilizados para movimentar os motores 4 tempos? Quais os requisitos para um combustível poder operar nestes motores?

2. Esboce as curvas de desempenho e emissões em função do fator lambda, avanço da centelha e EGR.
3. Além da RPM do motor, que outros fatores afetam o ângulo de avanço da centelha?
4. O que é o PROCONVE?
5. Por que existem programas para testes de emissões veiculares?
6. Quais são as estratégias utilizadas pelas autoridades governamentais para controlar as emissões veiculares?
7. Por que é importante reduzir as emissões veiculares?
8. Qual é a origem das emissões veiculares?
9. Quais são os gases das emissões veiculares considerados poluentes ambientais?
10. O que é inspeção veicular?
11. Como é classificado o CO, poluente ou tóxico? Por que? Descreva os agentes influentes e como eles interferem nas emissões de CO.
12. Como são classificados os HC, poluentes ou tóxicos? Por que? Descreva os agentes influentes e como eles interferem nas emissões de HC.
13. Como são classificados os NOx, poluentes ou tóxicos? Por que? Descreva os agentes influentes e como eles interferem nas emissões de NOx.
14. Por que a qualidade da atomização do combustível é importante?
15. O que é cruzamento de válvulas e quais seus benefícios e malefícios?
16. Acesse o Youtube®. Assista ao vídeo "O Chumbo Vital". Depois responda, o que é e o que faz o chumbo-tetraetila –  $Pb(C_2H_5)_4$ ? Por que o  $Pb(C_2H_5)_4$  deixou de ser utilizado? Existe alguma(s) consequência(s) residual(is)?
17. Qual a influência da má distribuição da mistura A/C nas emissões de gases poluentes? O que contribui para diminuir os efeitos da má distribuição? Um veículo flex está operando com fator de excesso de ar de 0,90 tendo no seu tanque 2/3 de gasool (E75) e 1/3 de álcool (92 INPI) em massa. Determine:
  - a. a equação química para reação estequiométrica de 1 mol deste combustível.
  - b. calcule a relação ar-combustível para a condição descrita no enunciado acima.
18. Um veículo utilitário foi convertido para trabalhar com propano ( $C_3H_8$ ). Uma análise seca<sup>1</sup> dos gases de exaustão do veículo revelou os seguintes dados:

CO<sub>2</sub> – 4,90% em volume, salvo indicação em contrário.  
CO – 9,79%  
O<sub>2</sub> – 2,45%  
N<sub>2</sub> – 82,86%

Diga qual é tipo de mistura operante no veículo? Justifique calculando a relação ar-combustível e o fator de excesso de ar.

#### IV. Estratégias de Injeção

1. Um motor V12 26.1 litros de alto desempenho fornece CS (ou *bsfc*) de 0,063 kg/MJ na potência máxima (900kW a 2300 rpm) e o mínimo consumo específico CS (ou *bsfc*) é de 0,057 kg/MJ (397.5 kW) a 1800 rpm.
  - a. Com os dados de válvulas injetoras apresentados no livro *Projeto e Análise de Válvulas Injetoras* do Prof. Passarini, dimensione uma válvula injetora para este motor. Considere que a ordem de explosão deste motor seja 1, 7, 5, 11, 3, 9, 6, 12, 2, 8, 4, 10. A ordem dos cilindros é a seguinte:  
1<sup>a</sup> linha: 1, 2, 3, 4, 5, 6; 2<sup>a</sup> linha: 12, 11, 10, 9, 8, 7.
  - b. Desenhe o diagrama de distribuição dos injetores e da centelha para este motor. Considere duas estratégias de injeção: injeção semi e injeção seqüencial;
  - c. Calcule a duração dos tempos de injeção para as condições de máxima potência e mínimo consumo para estratégias de injeção descritas em (b);
  - d. Calcule os ciclos de trabalho para as estratégias de injeção descritas em (b);

---

<sup>1</sup> Significa que o vapor de H<sub>2</sub>O é removido antes da análise.

e. Calcule o número de graus do virabrequim o espaço angular necessário para efetuar as injeções segundo as estratégias descritas em (b);

Em relação aos resultados obtidos em (e) determine a data mais tarde para o início (posição angular) da injeção de combustível nas estratégias descritas em (b).

## V. Instrumentação e Controle Automotivos

1. Esquematize um sistema de medidas básico.
2. O que faz a análise de desempenho?
3. Quais os parâmetros de desempenho da dinâmica dos sistemas?
4. Que parâmetros são usados para avaliar um sistema de medidas?
5. O que faz o processamento digital de sinais?
6. Defina um sistema de controle em malha aberta.
7. Defina um sistema de controle em malha fechada.
8. Quais são as ações básicas de controle?
9. Por que a presença de erro é inerente à ação de controle Proporcional?

## VI. Fundamentos de Eletrônica Analógica

1. O que é um filtro? Para que serve?
2. Cite três aplicações para os reles automotivos.
3. Cite duas aplicações do transistor bipolar.
4. O que é um amplificador operacional? Que tipo de circuitos podemos implementar com estes componentes?

## VII. Fundamentos de Eletrônica Digital

8. O que é um circuito seqüencial?
9. O que é um circuito combinacional?
10. Expresse o número  $103_{10}$  na base hexadecimal.
11. Passe o número  $DDFF_h$  para a base decimal.
12. O que é o *tri-state*? Qual é sua utilidade?
13. Quais são as diferenças entre as tecnologias C-MOS e TTL? Como é feito o casamento destes circuitos?
14. O que é um DSP? Liste suas vantagens e desvantagens.
15. O que é um FPGA? Liste suas vantagens e desvantagens.

## VII. Conversão A/D e D/A

1. O que é o SNR? Qual é a sua importância?
2. Um EECS possui um conversor A/D com 6 entradas. Porém, esse sistema de controle precisa da informação proveniente de 7 sinais analógicos (MAP, MAT, ECT,  $U_{bat}$ , MAF, EGR e TPS). Como resolver esse problema de coletar todos esse sinais utilizando apenas as 6 entradas do conversor A/D?
3. Utilizando operadores lógicos, monte um circuito digital para selecionar os diferentes modos de operação do motor a partir das informações dos sensores MAP, RPM e ECT. Considere o uso de comparadores feitos a partir de amplificadores operacionais.

## IX. Sistema Eletrônico de Controle de Motores (EECS)

1. Quais são os objetivos do EECS?
2. Quais são os meios empregados no EECS para atingir seus objetivos?
3. Desenhe e explique a arquitetura básica de um EECS.
4. O que é *calibração do motor* e como ela é feita?
5. Quais as influências da relação A/C e do ponto no desempenho e nas emissões do motor?

6. O que é uma curva de gancho?
7. Quais são as variáveis controladas pelo EESC?
8. Quais os modos de controle exercidos pelo EESC?
9. Quais os modos de operação do motor? Associe os modos de controle aos modos de operação do motor.
10. O que é “fator lambda operacional”? Relacione o fator lambda operacional e os modos de operação do motor.
11. O que é razão equivalente  $\varphi$ ? Como se relaciona com as misturas Ar-Combustível?
12. Por que durante a partida a frio é necessário enriquecer a mistura A/C que é fornecida ao motor?
13. Na partida a frio, como é escolhido o ponto da centelha? Por que?
14. Por que, durante o modo de aceleração, não se preocupa muito com as emissões de gases poluentes?
15. Durante o modo de desaceleração, é adotado um modo de controle especial. Qual é ele?
16. Responda: num carro com injeção eletrônica mapeada, descer na “banguela” economiza mais combustível do que descer “engrenado”? Por que?
17. O que são as características da marcha lenta? Que fatores externos afetam a rotação de marcha lenta?
18. Utilizando operadores lógicos, monte um circuito digital para selecionar os diferentes modos de operação do motor a partir das informações dos sensores MAP, RPM e ECT. Considere o uso de comparadores feitos a partir de amplificadores operacionais.
19. O que é o Diagrama de Desenvolvimento em “V”?
20. O que é prototipagem rápida?
21. Desenhe um diagrama de blocos descrevendo sinteticamente o modelo matemático quasi-estático usado para representar o funcionamento do motor de 4 tempos.
22. Do que trata a estratégia X-Tau?
23. Explique como é a dinâmica da admissão do vapor de combustível para dentro dos cilindros usando o modelo X-Tau de Aquino (1981)?
24. Se é objetivo do EECs manter  $\lambda = 1,00 \pm 0,01$ , então porque é necessário enriquecer e/ou empobrecer a mistura A/C fornecida ao motor? Em que condições isto ocorre? Como a dinâmica X-Tau afeta isso?
25. O que é “tempo de injeção básico”? Como ele é calculado? Como se calcula o tempo de injeção efetivo?

## X. Sistema Eletrônico de Controle de Motores (EECS)

1. O que são “mass-sensivity” e “speedy-density”? Quais as diferenças entre eles?
2. O que é uma “look-up table”?
3. Considere abaixo o pedaço da *look-up table* para a eficiência volumétrica de um motor hipotético. Calcule qual será a eficiência volumétrica  $\eta_v$  quando esse motor estiver operando a 3300rpm e 250mmHg.

<i>look up table</i>		MAP (mmHg)	
		250	400
RPM (rpm)	3000	0,65	0,85
	3500	0,55	0,75

4. Como funciona o sistema EGR? Para que é usado?
5. Como o EGR interfere na performance e nas emissões do motor 4 tempos?
6. Como funciona o sensor MAF? Suas informações interferem no que?
7. Explique o por que do ponto (ignição) avançar quando a RPM aumenta.
8. Qual é a dependência do ponto com o MAP? Por que?
9. O sinal do sensor ECT não é usado no cálculo do tempo de injeção básico, mas ele interfere no cálculo do tempo de injeção. Como é isto?
10. O que faz e como trabalha o sistema de ignição?

11. Descreva o comportamento da frente de chama descrito pelo modelo laminar?
12. Um motor aeronáutico Rolls Royce *Crecy*<sup>2</sup> 2T V12 26.1 litros (165,1 x 129,1mm,  $r = 7:1$ ) de alto desempenho a gasolina fornece CS (ou *bsfc*) de 0,063 kg/MJ na potência máxima (900kW a 2300 rpm) e o mínimo consumo específico CS (ou *bsfc*) é de 0,057 kg/MJ (397.5 kW) a 1800 rpm. A distância do eletrodo central até o pistão (PMS) é de 3,2 mm. Adote comprimento da biela igual a 190,5mm.

Considere o gráfico da figura 1

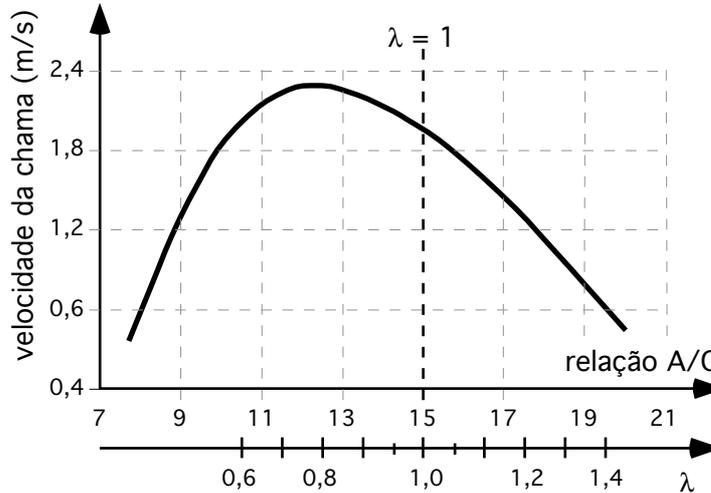


Figura 1

Qual deveria ser aproximadamente, em média, o ângulo do ponto de ignição medido a partir do PMS que produziria o pico de pressão na câmara de combustão a 12°dPMS quando a RPM for?

- 1.000 rpm ( $\lambda = 1,00$ );
  - 1.500 rpm ( $\lambda = 1,05$ );
  - 2.000 rpm ( $\lambda = 1,00$ );
  - 2.500 rpm ( $\lambda = 0,95$ );
  - 3.000 rpm ( $\lambda = 0,90$ );
13. Esboce graficamente o que acontece com a pressão dentro do cilindro do motor 4T a 3.000 rpm ( $\lambda = 1,00$ ) do exercício anterior quando:
- o ponto de ignição se dá exatamente no PMS (use esta curva como referência)
  - o ponto de ignição se dá a 15° aPMS;
  - o ponto de ignição se dá a 25° aPMS;
  - o ponto de ignição se dá a 30° aPMS;
  - o ponto de ignição se dá a 15° dPMS;
14. Considere o motor Honda CBR600. Cilindrada: 599 cm<sup>3</sup>, 4 cilindros, curso X diâmetro: 42,5 x 67 mm. Taxa de compressão: 12,2:1. distância entre eletrodo central e cabeça do pistão: 2,4mm.

Potência máxima: 71HP (52,9kW) @ 11.500 rpm. A/C: 12,5:1 (potência máxima). Torque máximo: 59 Nm @ 7.500 rpm. BSFC: 248,5 g/kW-h @ 9.000 rpm. Combustível: gasolina premium E10

Faça um gráfico do ponto de ignição (°aPMS) em função da rotação [2.000 a 12.000 rpm] e carga do motor. Considere o gráfico da Figura 2 para ajudar nos cálculos.

<sup>2</sup> Desenvolvido durante os anos 1941 e 1945, o Crecy deveria equipar os Spitfires e foi o motor 2T aeronáutico mais avançado já produzido pelo homem.

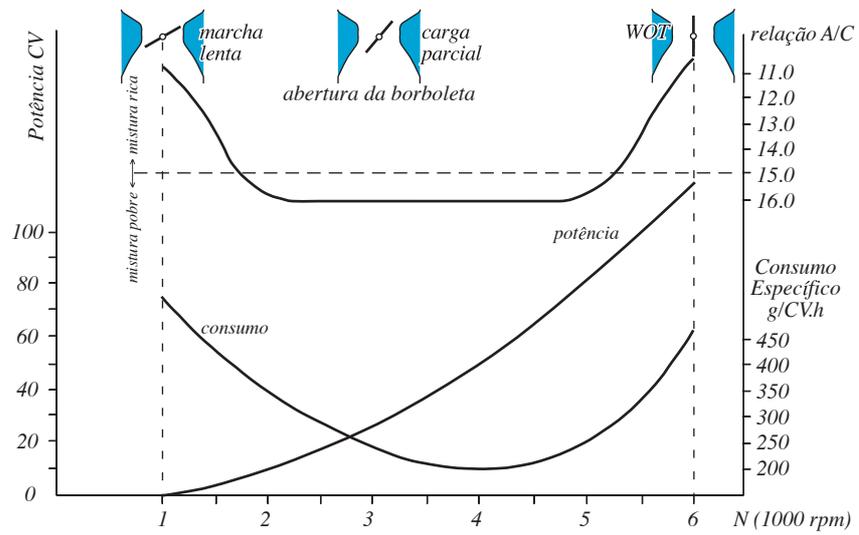


Figura 2 - Curvas de Desempenho de um motor hipotético funcionando a gasolina.

Use a Figura 1 para calcular a velocidade da frente de chama.