



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO PARA ENSAIO E BANCADA EM MOTOR DIESEL NO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS SISTEMAS TÉRMICOS E COMBUSTÃO

Carolina S. Michels Pasqualli¹; Daniela O. Marques²; Ramón E. Pereira Silva³
UFGD-FAEN, C. Postal 533, 79804-970, Dourados MS, ¹csmpasqualli@gmail.com,
²danielaom@hotmail.com. ³Professor orientador, Laboratório de Máquinas Térmicas, Sistemas Térmicos e Combustão, Engenharia de Energia - FAEN

RESUMO

O trabalho mostra o desenvolvimento de um procedimento para ensaio em um grupo gerador monocilíndrico a diesel do Laboratório de Máquinas Térmicas, Sistemas Térmicos e Combustão tanto para a finalidade de pesquisa quanto a de ensino, proporcionando aulas práticas e divulgação de pesquisa em combustíveis alternativos. Com as adaptações realizadas na bancada tornou-se possível recolher dados de desempenho e emissões de poluentes.

Palavras- chave: motor diesel, experimento, desempenho, poluentes

INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia deve passar por práticas de laboratório de maneira que as aulas ministradas em sala possam ser demonstradas na prática. No curso de Engenharia de Energia as disciplinas Combustíveis e Combustão, Máquinas Térmicas e Sistemas Térmicos de Potência preveem uma carga horária de 18 aulas práticas durante o semestre letivo conforme descrito no Plano Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia (PPC- EE, 2013). Para o ensino teórico de motores de combustão as referências Brunetti (2012), Bosch (2006), Pulkrabeck (2004) e Heywood (1988) constituem a base de informação utilizada. Para o ensino de combustíveis, combustão e emissões de poluentes são utilizadas as seguintes publicações: Carvalho Jr. (2003), Carvalho Jr.(2007) e Garcia (2013). Desta forma encontra-se a fundamentação teórica com embasamento completo e atualizado. Porém quando devido à necessidade de experimentos foi necessário fazer uma adaptação dos equipamentos existentes no

laboratório. O método mais antigo para medir torque e potência de motores a combustão interna é o freio de Prony. Esse tipo de dinamômetro é constituído por uma cinta conectada a uma balança que faz a medida da força necessária para frear o volante que está conectado ao motor. O freio de Prony tem o inconveniente de manter a carga constante independente da carga aplicada o que pode induzir à parada total do motor.

Nos dinamômetros hidráulicos a frenagem ocorre pela ação do rotor que pressiona a água contra as aletas fixas na carcaça. Nesse tipo de dinamômetro o operador tem tempo de corrigir a carga em caso de queda de rotação.

O terceiro tipo de dinamômetro mais utilizado é o dinamômetro elétrico. Nesse caso a instalação de um gerador elétrico acionado pelo motor a ser testado produz energia que será consumida por uma carga variável. Normalmente resistores elétricos. Deve levar em consideração portanto o rendimento do alternador e o seu fator de potência.

Um grupo gerador é um equipamento montado por um alternador elétrico e que utiliza como fonte primária de acionamento um motor de combustão interna. Esse equipamento pode ser utilizado para simular ensaios de motores como um dinamômetro elétrico.

As adaptações para a utilização de um grupo gerador monocilíndrico para se obter medidas de desempenho e de emissões de poluentes assim como os dados passíveis de análise são descritos nesse artigo.

DESENVOLVIMENTO

1. BANCADA ORIGINAL

O grupo gerador original é constituído de um motor de ignição por compressão monocilíndrico acoplado a um gerador elétrico de corrente alternada. O modelo é GeraPower Brasil GB3500 cujas características nominais são mostradas nos quadros 1 e 2.

Quadro 1: especificações motor quatro tempos ciclo diesel.

Modelo	ATIMA178f
Tipo	01 cilindro – vertical - quatro tempos resfriado a ar – injeção direta

Potência de saída	Continua (HP)	6,5
	Máxima (HP)	7,0
Rotação (r.p.m)		3600
Cilindrada (cm ³)		418
Diâmetro x curso		86 x 72
Sistema de resfriamento		Forçada a ar através de ventilador

Quadro 2: especificações gerador.

Tipo	Brushless, corrente alternada
Frequência (Hz)	60
Potência Máxima (kVA)	3,5
Potência Nominal (kVA)	3,8
Tensão (AC) (V)	220/127
Tensão (DC) (V)	12,0
Corrente (DC) (A)	8,3
Fator de Potência	1
Fase	Bifásico/monofásico
Número de Polos	2
Isolação	B

2. VAZÃO DE COMBUSTÍVEL

O grupo gerador original possui um tanque de combustível acoplado em que a vazão desse combustível não pode ser medida de forma direta. A solução encontrada foi a instalação de um tanque de diesel auxiliar conectado diretamente à bomba de alimentação. O tanque auxiliar foi posicionado fora do chassi de maneira que possa ser posicionado em uma balança eletrônica. A medida da vazão mássica do combustível

passou a ser realizada pelo consumo de combustível em um determinado tempo medido por um cronômetro digital.

3. POTÊNCIA

Quatro cargas puramente resistivas de 0,50 kW foram usadas para simular a demanda de energia. A cada carga conectada, o gerador acoplado ao virabrequim do funciona como um freio cuja potência deve ser vencida pelo motor. A potência entregue pelo grupo gerado é medida em um alicate multímetro e dessa forma é possível determinar a curva de potência entregue por potência demandada.

Uma vez que a vazão mássica foi determinada anteriormente é possível então determinar o consumo específico para cada potência.

O consumo específico é definido como a quantidade de combustível necessária para produzir uma unidade de potência. É uma medida da eficiência do motor. Quanto menor for o consumo específico maior será a eficiência da máquina.

4. ROTAÇÃO E QUALIDADE DE ENERGIA

A rotação do motor é controlada por um governador de forma a mantê-la constante em 2600 rpm em qualquer condição de carga. Para verificar a rotação foi instalado um tacômetro ótico digital de maneira que pode ser determinada a rotação em cada potência.

Uma vez que a frequência da energia entregue é função da rotação do gerador, torna-se possível determinar a curva de frequência por rotação

A tensão e a corrente entregues também são medidas pelo multímetro.

5. EMISSÕES DE POLUENTES

As emissões de poluentes foram medidas inicialmente por um analisador de gases Madur GA-12, porém atualmente é utilizado o analisador Greenline GL8000[®], cuja sonda é posicionada no escapamento do grupo gerador. Os dados são coletados através do software DBGas2000[®] em uma razão de 40 coletas/s. A média dos valores é usada para determinar as curvas de emissões por potência.

6. MONTAGEM FINAL

O quadro 4 resume a instrumentação utilizada para a coleta dos dados de desempenho e emissões de poluentes.

Quadro 4: Instrumentação

Equipamento	Medida	Capacidade	Precisão
Balança Balmax ELP-10	Massa de combustível	Máx. 5kg a 10 kg	0,001kg
Tacometro Digital portátil modelo TDR-100 2 em 1	Rotação	De 0,5 a 100,000 rpm	$\pm 0,1$ RPM para valor médio de 1000 rpm
Multímetro	Potência		0,01 kW
Analisador de Gases modelo Madur, GA-12	Emissão de poluentes e temperatura do escapamento.	CO - 4000 ppm NO - 2000ppm	± 5 ppm abs. ou 5% rel.
Cronometro CRONOBIO SW2018	Medida do tempo de funcionamento do motor		$\pm 0,001$ s

A montagem final da bancada é mostrada na figura 1.

Figura 1: Montagem da Bancada.



RESULTADOS

Os resultados são as curvas de desempenho e emissões de poluentes mostrados abaixo.

1. DESEMPENHO DO MOTOR

Na figura 2 mostra-se que a vazão mássica de combustível aumenta com o aumento da potência entregue. A potência entregue pelo grupo gerador é a potência contida no combustível subtraída das perdas por atrito, vibração e troca de calor no motor e no alternador. A potência contida no combustível é definida pela equação 1.

$$\dot{W}_{comb} = \dot{m}_{comb} \cdot PCI_{comb} \quad \text{Equação 1}$$

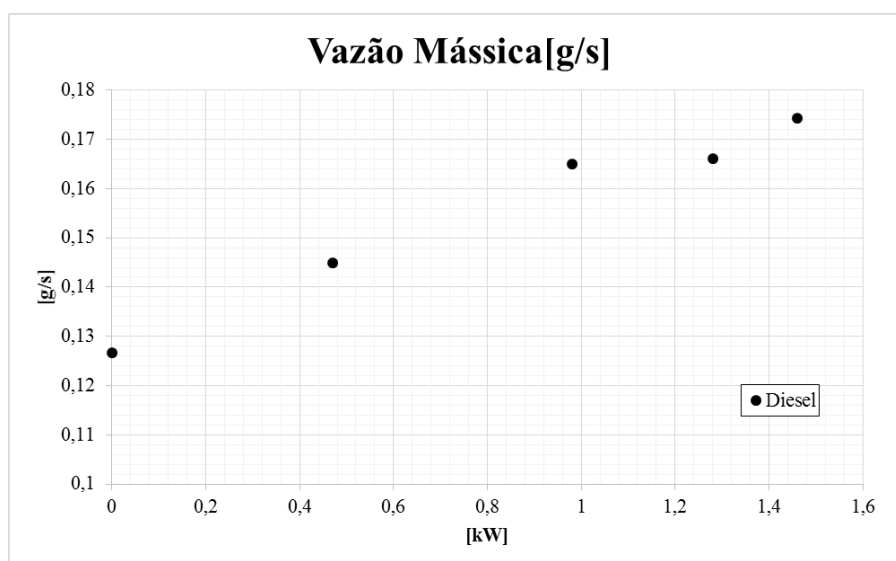
Sendo \dot{W}_{comb} a potência disponível no combustível, \dot{m}_{comb} é a vazão mássica do combustível e PCI_{comb} é o poder calorífico inferior do combustível

E a potência do motor é então definida pela equação 2. .

$$\dot{W}_{motor} = \eta_{motor} \cdot \dot{m}_{comb} \cdot PCI_{comb} \quad \text{Equação 2}$$

Onde \dot{W}_{motor} é a potência entregue do motor e η_{motor} é a eficiência térmica do motor. Então a figura 2 mostra que essa relação é diretamente proporcional como demonstra a teoria.

Figura 2: Vazão Mássica de combustível.



Na figura 3 o aluno pode perceber que a potência entregue não corresponde exatamente à potência demandada. Embora o grupo gerador prometa uma potência nominal de 3,5 kW a um fator de potência $\cos\phi = 1$, a potência entregue é bastante inferior quando uma carga maior é demandada. Para uma demanda de 2,0 kW a entrega foi de 1,5 kW. A figura 4 mostra a relação entre o consumo específico de combustível (SFC) e a eficiência térmica do grupo gerador (considerando a eficiência do alternador igual a 100%) em relação à potência entregue. O consumo específico de combustível é definido pela equação 3 e a eficiência térmica é dada pela equação 4.

$$SFC = \frac{\dot{m}_{comb}}{\dot{W}_{motor}} \quad \text{Equação 3}$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{motor}}{\dot{m}_{comb} \cdot PCI_{comb}} \quad \text{Equação 4}$$

Demonstra-se que a eficiência aumenta com o aumento da potência ao passo que o consumo específico diminui. Esse comportamento é esperado, pois as máquinas térmicas tendem a operar melhor nas condições próximas às de projeto.

Figura 3: Potência demandada x Potencia entregue.

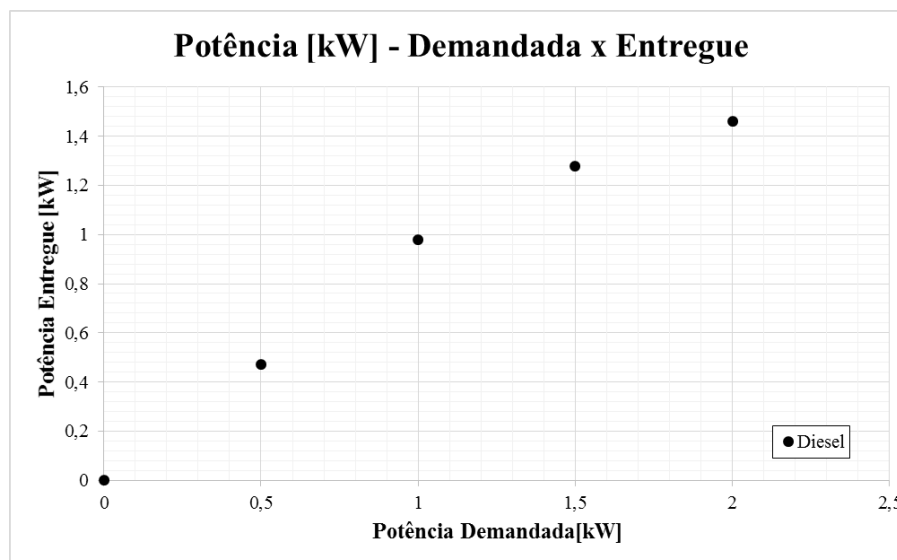
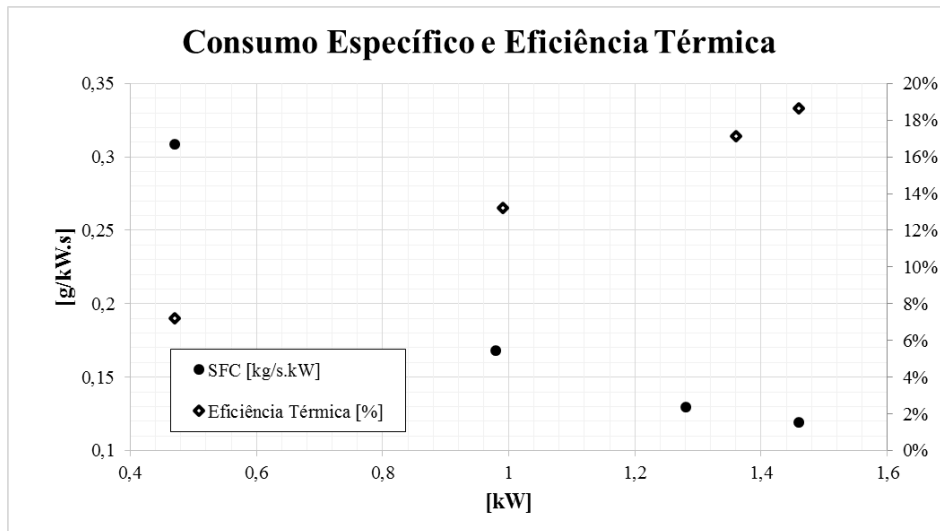


Figura 4: Consumo Específico e Eficiência Térmica.



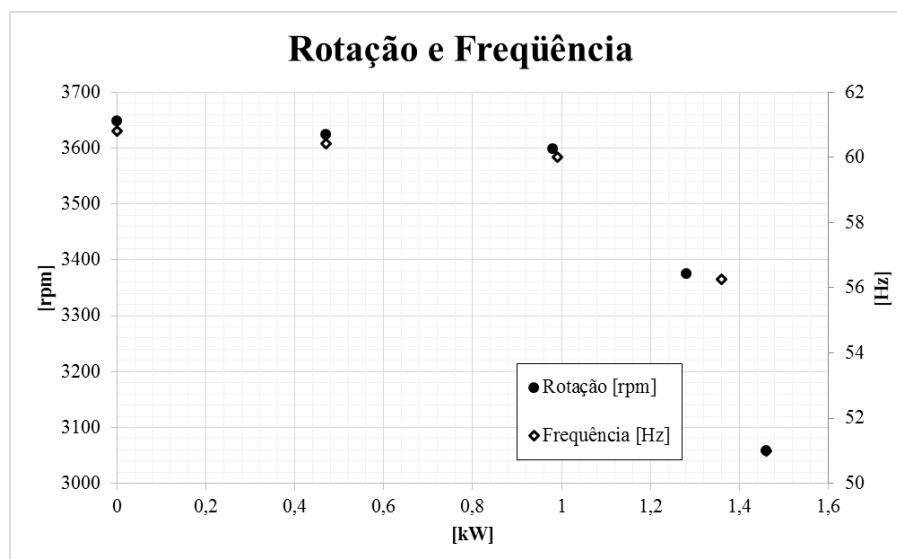
2. QUALIDADE DE ENERGIA

A frequência é relacionada à rotação síncrona do alternador conforme demonstra a equação 5.

$$f = \frac{N_{polos} \cdot RPM}{120} \quad \text{Equação 5}$$

Conforme o motor é demandado e não consegue atender a rotação tende a cair e consequentemente a frequência diminui conforme mostra a figura 5.

Figura 5: Rotação e Frequência do motor.



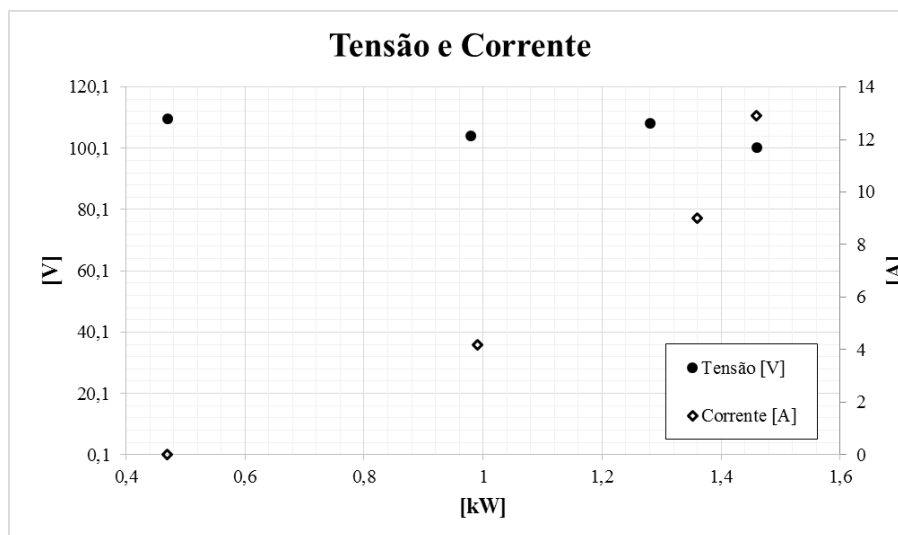
A relação entre tensão corrente e potência segue a lei de Ohm definida pela equação 6.

$$P = U.I$$

Equação 6

Sendo U a tensão em Volts, I a corrente em Amperes e P a Potência em Watts. A figura 6 mostra que nas maiores demandas há queda de tensão. Portanto a corrente sobe a valores próximos a 15A.

Figura 6: Tensão e corrente para o gerador.



3. EMISSÕES DE POLUENTES

A combustão completa de qualquer combustível deve ter como produtos dióxido de carbono e água (Carvalho Jr,2007), o nitrogênio presente em 80% do ar é um gás inerte e deve aparecer no escapamento na mesma quantidade que entrou no coletor de admissão, assim como o oxigênio que entra em excesso em caso de combustão pobre. A combustão é uma reação de oxidação exotérmica portanto os gases de exaustão devem apresentar temperaturas mais altas que os reagentes que entram na câmara de combustão.

Uma reação de combustão mais eficiente libera maior quantidade de calor e a figura 7 mostra que quanto maior é a demanda de carga maior é a temperatura nos gases de escapamento. A temperatura maior favorece a oxidação do monóxido de carbono em dióxido de carbono, portanto as emissões de CO devem diminuir conforme o motor é solicitado. Por outro lado temperaturas mais altas na câmara de combustão provocam a dissociação do O_2 e do N_2 constituintes do ar atmosférico. Ao reagirem novamente os átomos dissociados de O e N combinam-se em óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) conhecidos como NO_x . A figura 8 mostra esse comportamento.

Figura 7: Temperatura dos gases de exaustão.

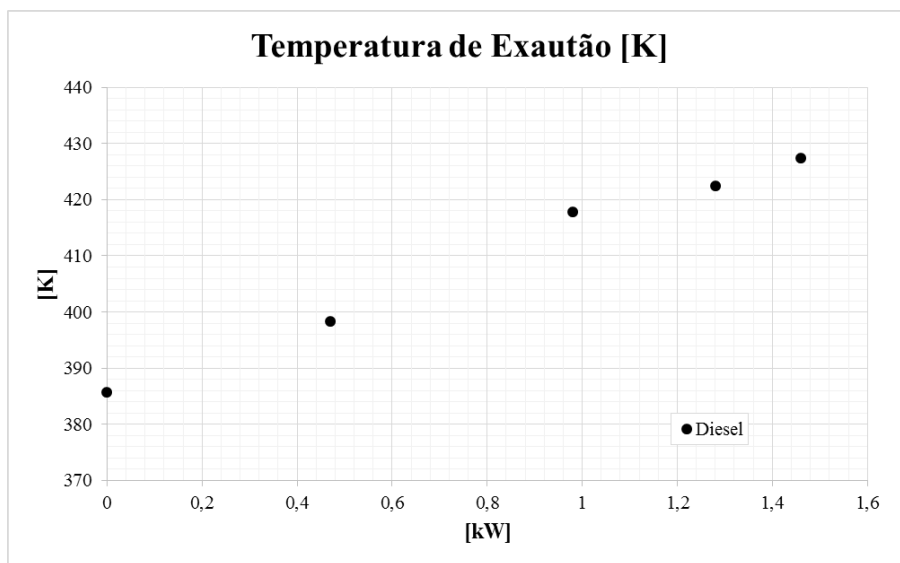
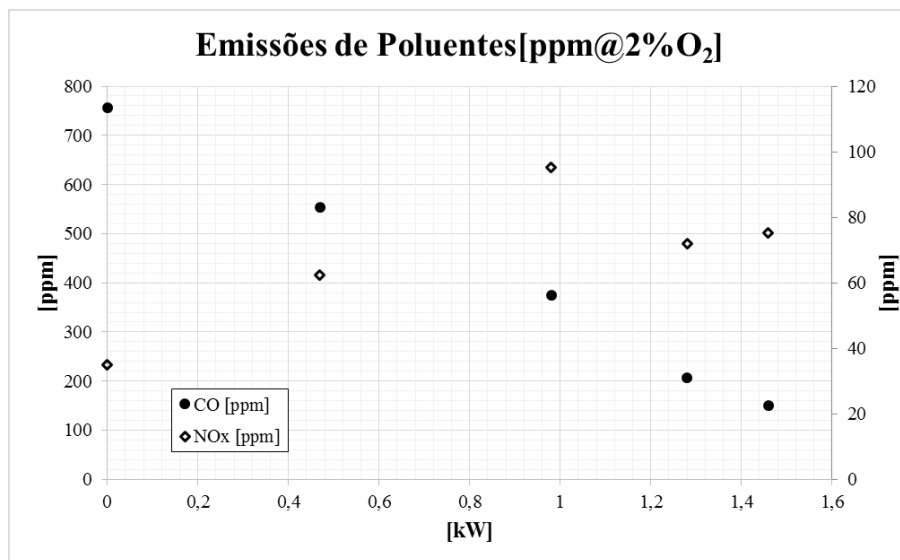


Figura 8: Emissões de poluentes.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez analisadas as curvas geradas conclui-se que a adaptação do tanque externo e a utilização da instrumentação disponível no Laboratório de Máquinas Térmicas, Sistemas Térmicos e Combustão transformou o grupo gerador diesel em uma bancada que pode ser utilizada tanto em ensino quanto em pesquisa.

O experimento completo foi utilizado em aulas práticas da disciplina Sistemas Térmicos de Potência do curso de Engenharia de Energia da UFGD. O experimento somente sobre a análise de poluentes foi utilizado para demonstrar a eficiência de combustão na disciplina Combustíveis e Combustão do mesmo curso.

Paralelamente foi desenvolvido um trabalho de pesquisa comparando os parâmetros de desempenho do motor e emissões de poluentes de várias misturas de diesel/óleo de girassol publicado por Michels et. Al (2014).

AGRADECIMENTOS

Os autores prestam seu agradecimento aos Técnicos do Laboratório de Maquinas Térmicas, Sistemas Térmicos e Combustão do Curso de Engenharia de Energia da UFGD, José Carlos Venturin e David Silva Corrêa cuja ajuda foi fundamental na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bosch, Manual Bosch de Engenharia Automotiva, Ed. Edgard Blucher, 25^a ed.
2006

Brunetti, F., Motores de Combustão Interna, Ed. Edgard Blucher, Vol 1 e 2,
2012

Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book
Company, New York, 1988

Pulkrabek, W.W., Engineering Fundamentals of the Internal Combustion
Engine, Ed Pearson, 2004

Turns, S.R., An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, Ed. Mc Graw Hill, 3rd Ed. 2011

Carvalho Jr. J.A., Lacava, P.T., Emissões em Processos de Combustão, Ed. Unesp, 2003.

Carvalho Jr. J.A., McQuay, M.Q., Princípios de Combustão Aplicada, Ed. UFSC, 2007.

Garcia, R., Combustíveis e Combustão Industrial, Ed. Interciência, 2^a Ed., 2013.

_____, Plano Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia, 2013.

Michels, C.S.M., Marques, D.O., Silva R.E.P., Análise de Desempenho e Emissões de Poluentes em um Grupo Gerador Diesel, Anais do VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014