



# Combustíveis e Combustão

Prof. Marcelo Pustelnik

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Departamento de Engenharia Mecânica

24 de abril de 2019

# Generalidades e classificação I

Para fins de aplicação na indústria (1), combustível é toda substância (sólida, líquida ou gasosa) que ao reagir com oxigênio libera grande quantidade de energia térmica (calor). Podem ser classificados de acordo em:

- Estado físico: sólidos, líquidos e gasosos;
- Origem:
  - Naturais: petróleo, carvão fóssil, lenha, gás natural (GN, é composto principalmente por  $\text{CH}_4$  - metano). -
  - Artificiais (obtidos a partir de processamento físico-químico de combustíveis naturais): derivados de petróleo, coque, carvão vegetal, álcool, gás de carvão (gasogênio), subprodutos de processos industriais (cavaco de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, cascas de grãos e árvores).
- Renovação: fósseis (não renováveis) e renováveis (biomassa).
- Processo de liberação de energia: convencional (reação com  $\text{O}_2$ ) e nuclear (fissão nuclear,  $E = mc^2$ )

## Generalidades e classificação II

- A escolha do combustível a ser utilizado na caldeira é feita em função da disponibilidade local, custos (produto, transporte, manuseio, estocagem), fatores ambientais (poluição, descarte de resíduos) e operacionais (equipamentos e rendimento de queima, manutenção).
- Os combustíveis mais frequentemente utilizados em caldeiras são óleo combustível, carvão mineral, gás natural, lenha, bagaço de cana-de-açúcar, cavaco de madeira e cascas de grãos ou árvores.

## Composição química dos combustíveis I

Encontramos (1) na composição elementar dos combustíveis sólidos e líquidos: carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio, umidade e cinzas.

- Substâncias combustíveis  $\rightarrow$  C,H<sub>2</sub>,S
- Comburente  $\rightarrow$  O<sub>2</sub>
- Substância inerte  $\rightarrow$  N<sub>2</sub>
- Umidade  $\rightarrow$  H<sub>2</sub>O
- cinzas (óxidos e impurezas)
- Reação genérica de combustão industrial:  
Combustível + Comburente (Ar)  $\rightarrow$  Produtos (gasosos) da combustão + calor
- C,H<sub>2</sub>,S queimam liberando calor pelas reações:  
$$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 8100 \text{ kcal/kgC}$$
$$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 33960 \text{ kcal/kgH}_2$$
$$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + 2214 \text{ kcal/kgS}$$

## Inconvenientes da presença de enxofre I

- O  $\text{SO}_2$  resultante (1) da queima do enxofre forma ácidos nos gases resultantes da combustão:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$  ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  que quando estão, em geral, a menos de  $160^\circ\text{C}$  causam intensa corrosão nos tubos da caldeira. Evita-se o ataque corrosivo dimensionando o gerador de vapor para  $T \geq 160^\circ\text{C}$  na saída dos gases para a chaminé ou usando materiais mais resistentes à corrosão nas partes mais frias. Na atmosfera esses ácidos provocam a chamada "chuva ácida".
- $\text{SO}_2$  é poluente e tóxico, sendo necessária a sua remoção dos gases da combustão antes de emissão para a atmosfera, a fim de não ultrapassar os limites de emissão. Essa remoção do  $\text{SO}_2$  dos gases pode ser feita através de equipamentos de controle de emissão denominados "lavadores de gases".

## Inconvenientes oriundos do nitrogênio I

O nitrogênio (1) em princípio não participa da reação (é inerte)). Mas em combustão a altas temperaturas ( $1600^{\circ}\text{C}$ ) pode formar óxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ou genericamente  $\text{NO}_x$ ). Esses compostos originam “chuvas ácidas”, devido à reação com a umidade do ar e formação de ácidos, de maneira semelhante como ocorre com o  $\text{SO}_2$ . Em caldeiras a formação de  $\text{NO}_x$  é muito pequena porque a temperatura média na fornalhas não deve ultrapassar  $1350^{\circ}\text{C}$ .

## Inconvenientes da presença de cinzas I

As cinzas (1) são materiais inertes (não reagem na combustão), são compostas principalmente por diversos óxidos (e outras impurezas):  $\text{SiO}_2$  (sílica),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Os problemas causados pela sua presença no combustível são:

- Maior custo de transporte e armazenagem do combustível efetivo;
- Menor poder calorífico;
- Algumas cinzas (como as de carvões brasileiros) possuem ponto de fusão baixo ( $1100^\circ\text{C}$ ) e quando ocorre a sua fusão, as cinzas fundidas escorrem e aderem à grelha, reduzindo a passagem de ar e diminuindo o rendimento da combustão;
- Podem também aderir nos tubos próximos à fornalha, dificultando a troca de calor e reduzindo a vida útil desses tubos;

## Inconvenientes da presença de cinzas II

- A fusão das cinzas sobre o combustível impede a queima pois bloqueia o contato com o ar, diminuindo o rendimento da combustão.

## Inconvenientes da presença de umidade I

A umidade (1) pode ser:

- Acidental: causada por incidência de chuvas sobre o combustível. Elimina-se com ventilação em tempo seco ou em estufa ( $50^{\circ}\text{C}$ ).
- Higroscópica: incorporada ao combustível e de difícil separação a não ser na queima ou por secagem a  $110^{\circ}\text{C}$ . Seu teor oscila com a umidade relativa do ar.
- de constituição: combinada com sais na forma de água de cristalização. Permanece com os sais após a queima.

Problemas da presença de muita umidade no combustível:

- Diminuição do poder calorífico;
- Diminuição da temperatura de combustão devido ao alto calor específico e calor latente de vaporização da água, podendo levar a dificuldades na combustão e conseqüente redução do rendimento desta.

# Propriedades gerais dos combustíveis I

Algumas propriedades (1):

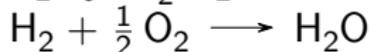
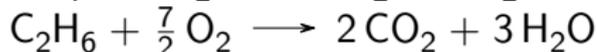
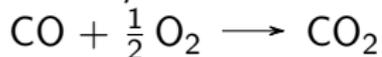
- Poder calorífico: é a energia liberada na combustão
- Temperaturas de fulgor, ignição e ignição espontânea (determinadas pelo aparelho de Pensky-Martens para combustíveis).
- Ponto fulgor – passando a chama queima os vapores e apaga (  $100^{\circ}\text{C}$  para óleo combustível)
- Ponto de ignição: passando a chama começa a queimar o combustível da superfície e não apaga. Ex.: óleo combustível :  $530^{\circ}\text{C} - 580^{\circ}\text{C}$
- Ponto de ignição espontânea – queima sem chama. Para combustíveis sólidos tem-se somente a temperatura de ignição Entre  $250^{\circ}\text{C}$  e  $700^{\circ}\text{C}$ . Ex.: Lenha:  $300^{\circ}\text{C}$
- Peso específico
- Granulometria (média e distribuição de tamanho dos grãos)

## Propriedades gerais dos combustíveis II

- Viscosidade
- Ponto de fluidez (temperatura acima da qual o combustível líquido flui, podendo então ser bombeado e transportado em tubulações)
- Temperatura de fusão das cinzas
- Composição química

# Composição química dos combustíveis gasosos

Os combustíveis gasosos (1) são uma mistura de gases combustíveis e inertes. Por exemplo: CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metano), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etano), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propano), C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (butano) gases combustíveis  
CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> gases inertes (não reagem com o O<sub>2</sub> e não geram calor)  
As reações elementares de combustão para esses gases são:



## Balanço de massa na combustão

Os cálculos de combustão (1) baseiam-se nas reações químicas de combustão, estequiometricamente balanceadas. Os produtos da combustão são sempre gasosos e chamados gases da combustão.

- A combustão é dita completa quando toda a massa de combustível reage com o oxigênio liberando calor e não se encontram substâncias ainda combustíveis nos gases da combustão. Ex.:  $C + O_2 \longrightarrow CO_2$
- Quando nos gases da combustão encontramos ainda substâncias combustíveis a combustão é dita incompleta. Ex.:  $C + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO$  Em caldeiras os subprodutos de combustão incompleta são CO, HC's (hidrocarbonetos),  $H_2S$  (sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico,  $H_2$  e fuligem. Essa última é material finamente particulado (pó) constituído essencialmente por carbono.

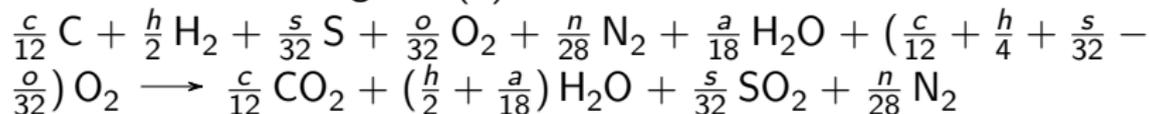
# Reação de combustão para combustíveis sólidos e líquidos

Considerando o combustível (1) com a seguinte composição genérica (em massa):

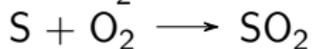
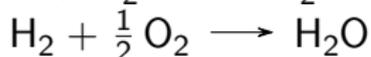
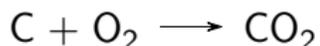
- $c$  kg de C / kg combustível
- $h$  kg de  $H_2$  / kg combustível
- $s$  kg de S / kg combustível
- $o$  kg de  $O_2$  / kg combustível
- $n$  kg de  $N_2$  / kg combustível
- $a$  kg de  $H_2O$  / kg combustível
- $z$  kg de cinzas / kg combustível

# Reação de combustão para combustíveis sólidos e líquidos I

Combustão com oxigênio (1)



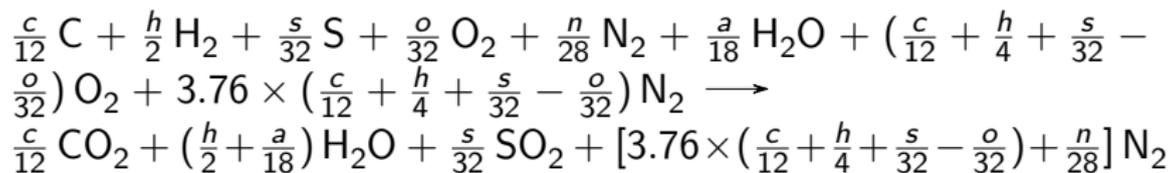
Reações elementares:



## Reação de combustão para combustíveis sólidos e líquidos I

Combustão (1) com ar estequiométrico (ar teórico ou mínimo)

Para cada kmol de  $O_2$  temos  $79 / 21 = 3.76$  kmol de  $N_2$



# Reação de combustão para combustíveis sólidos e líquidos I

Combustão com excesso de ar (1)

O coeficiente de excesso de ar é definido como a razão entre a quantidade de ar real utilizado para a combustão e a quantidade de ar estequiométrica necessária (a quantidade mínima para que haja oxigênio suficiente para reagir com carbono, hidrogênio e enxofre).

$$\lambda = \frac{AC}{AC_0} = \frac{V}{V_0}, \text{ onde:}$$

$\lambda$  coeficiente de excesso de ar

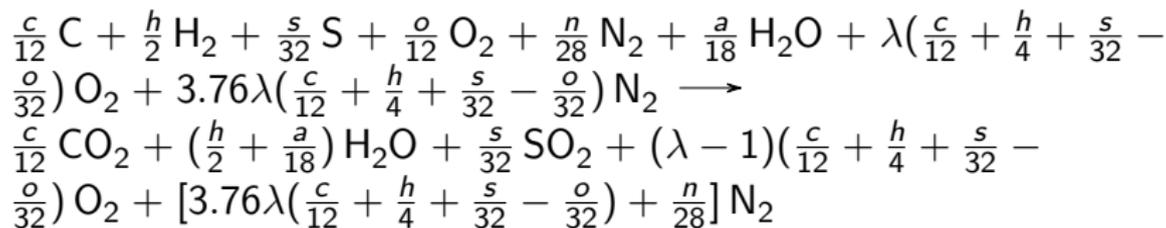
$AC$  relação ar/combustível em massa

$AC_0$  relação ar/combustível teórica (ou estequiométrica) em massa

$V$  Volume real ar/combustível em massa ( $m^3$  de ar/kg combustível)

$V_0$  Volume real ar/combustível em massa ( $m^3$  de ar/kg combustível)

## Reação de combustão para combustíveis sólidos e líquidos II



# Reação de combustão para combustíveis gasosos

Considerando (1) o combustível com a seguinte composição genérica:

- $x_{CO}$   $m^3$  de CO /  $m^3$  combustível
- $x_{H_2}$   $m^3$  de H<sub>2</sub> /  $m^3$  combustível
- $x_{CH_4}$   $m^3$  de CH<sub>4</sub> /  $m^3$  combustível
- $x_{CO_2}$   $m^3$  de CO<sub>2</sub> /  $m^3$  combustível
- $x_{N_2}$   $m^3$  de N<sub>2</sub> /  $m^3$  combustível
- $x_{O_2}$   $m^3$  de O<sub>2</sub> /  $m^3$  combustível

# Reação de combustão para combustíveis gasosos

Combustão com ar estequiométrico (1)

Definindo a fração mássica de cada i-componente:

$$f_i = \frac{x_i}{V_m}, \text{ onde:}$$

$x_i$  relação volumétrica entre componente e combustível

$f_i$  relação entre número de kmol do i-componente e volume do combustível

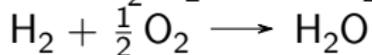
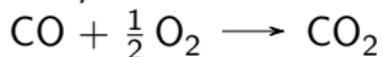
$V_m$  volume molar na CNTP ( $22.4m^3/kmol$ )

## Reação de combustão para combustíveis gasosos

Encontra-se em (1):  $f_{CO} \text{CO} + f_{H_2} \text{H}_2 + f_{CH_4} \text{CH}_4 + f_{O_2} \text{O}_2 + f_{CO_2} \text{CO}_2 + f_{N_2} \text{N}_2 + f_{O_2} \text{O}_2 + 3.76n_{O_2} \text{N}_2 \longrightarrow$   
 $(f_{CO} + f_{CO_2} + f_{CH_4}) \text{CO}_2 + (f_{H_2} + 2f_{CH_4}) \text{H}_2\text{O} + (f_{N_2} + 3.76n_{O_2}) \text{N}_2$

e ainda  $n_{O_2} = \left(\frac{f_{CO}}{2} + \frac{f_{H_2}}{2} + 2f_{CH_4} - f_{O_2}\right)$

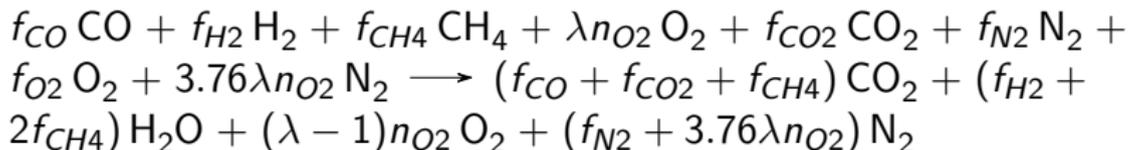
Reações elementares:



# Reação de combustão para combustíveis gasosos

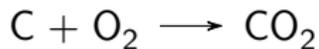
Combustão com excesso de ar (1)

Na queima real (com excesso de ar) os termos de  $O_2$  e  $N_2$  no lado dos reagentes devem ser multiplicados pelo coeficiente de excesso de ar ( $\lambda$ ) e haverá  $O_2$  também no lado dos produtos da combustão



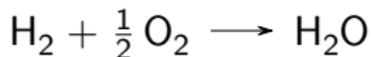
## Ar necessário à combustão

Reações elementares de combustão (1)



$$12 \text{ kg} + 32 \text{ kg} \longrightarrow 44 \text{ kg}$$

$$c \text{ kg} + \frac{32}{12}c \text{ kg} \longrightarrow \frac{44}{12}c \text{ kg}$$



$$2 \text{ kg} + 16 \text{ kg} \longrightarrow 18 \text{ kg}$$

$$h \text{ kg} + 8h \text{ kg} \longrightarrow 9h \text{ kg}$$



$$32 \text{ kg} + 32 \text{ kg} \longrightarrow 64 \text{ kg}$$

$$s \text{ kg} + s \text{ kg} \longrightarrow 2s \text{ kg}$$

## Oxigênio teórico ou estequiométrico necessário

$$\text{Dado em (1): } n_{O_2} = \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{\text{kmolO}_2}{\text{kgcomb}}$$

$$m_{O_2} = 32n_{O_2} = \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgcomb}}$$

$$V_{O_2} = 22.4n_{O_2} = \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{kgcomb}}$$

## Ar teórico (estequiométrico) necessário para a combustão

Dado em (1):

$$AC_0 = \frac{m_{O_2}}{0.2315} = \frac{32n_{O_2}}{0.2315} = 138.2 \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{kgar}{kgcomb}$$

$$V_0 = \frac{V_{O_2}}{0.21} = \frac{22.4n_{O_2}}{0.21} = 106.7 \left( \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{m^3 ar}{kgcomb}$$

No caso de combustível gasoso contendo CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, o volume de ar teórico é

$$V_0 = \frac{V_{O_2}}{0.21} = \frac{22.4n_{O_2}}{0.21} = 4.67 \left( \frac{x_{CO}}{2} + \frac{x_{H_2}}{2} + 2x_{CH_4} - x_{O_2} \right) \frac{m^3 ar}{m^3 comb}$$

## Ar real para combustão (com excesso)

$$AC = \lambda \times AC_0$$

Tabela: Fonte (1).

<b>Combustível</b>	<b>Tipo de queima</b>	<b>Coefficiente de excesso de ar (<math>\lambda</math>)</b>
gás combustível	suspensão	1.05 - 1.22
carvão pulverizado	suspensão	1.10 - 1.25
óleo combustível	suspensão	1.10 - 1.25
carvão granulado	grelha	1.30 - 1.60
lenha	grelha	1.30 - 1.60

## Poder calorífico

**Poder calorífico superior (PCS) (2):** quantidade de calor liberada por 1 kg de combustível quando todos os produtos da combustão são resfriados até a temperatura ambiente. Neste caso o vapor de água está condensado, na fase líquida.

**Poder calorífico inferior (PCI) (2):** quantidade de calor liberada por 1 kg de combustível resultando vapor d'água saturado como um dos produtos da combustão.

Assim, a diferença entre o PCS e o PCI é a energia contida no vapor de água, que sempre resulta nos gases de combustão industrial, devido à combustão do  $H_2$  e também devido à presença de umidade no combustível, a qual é vaporizada durante a combustão.

## Poder calorífico - Fórmulas práticas para combustíveis sólidos e líquidos

**Poder calorífico superior (PCS) (2):**

$$PCS = 8100c + 33960 \left( h - \frac{o}{8} \right) + 2214s \left[ \frac{kcal}{kgcomb} \right]$$

$$PCS = 33900c + 141800 \left( h - \frac{o}{8} \right) + 9200s \left[ \frac{kJ}{kgcomb} \right]$$

**Poder calorífico inferior (PCI) (2):**

$$PCI = PCS - h_{lv}(a + 9h) \left[ \frac{kcal}{kgcomb} \right] \quad h_{lv} : \left[ \frac{kcal}{kg} \right]$$

$$PCI = PCS - 2440(a + 9h) \left[ \frac{kJ}{kgcomb} \right]$$

# Poder calorífico - Fórmulas práticas para combustíveis gasosos

## Poder calorífico superior (PCS) (1):

$$\overline{PCS} = \sum_i^n x_i \overline{PCS}_i \left[ \frac{kcal}{m^3} \right]$$

$$PCS = \frac{\overline{PCS}}{\rho_{comb}} \left[ \frac{kcal}{kg_{comb}} \right]$$

$$\rho_{comb} = \frac{\sum_i^n x_i M_i}{22.4} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

## Fórmulas práticas para a relação ar/combustível I

Óleo combustível e carvão (Izart) (1):

$$AC_0 = \frac{1.38PCI}{1000} \left[ \frac{\text{kgar}}{\text{kgcomb}} \right] \quad PCI : \left[ \frac{\text{kgcal}}{\text{kg}} \right]$$

Combustíveis sólidos ( $V_0$  e  $V_g$  são o volume de ar estequiométrico e volume de gases)

$$V_0 = \frac{1.01PCI}{1000} + 0.5 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kgcomb}} \right] \quad PCI : \left[ \frac{\text{kgcal}}{\text{kg}} \right]$$

$$V_g = \frac{0.89PCI}{1000} + 1.65 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kgcomb}} \right] \quad PCI : \left[ \frac{\text{kgcal}}{\text{kg}} \right]$$

## Fórmulas práticas para a relação ar/combustível II

Combustíveis líquidos ( $V_0$  e  $V_g$  são o volume de ar estequiométrico e volume de gases)

$$V_0 = \frac{0.85 PCI}{1000} + 2.0 \left[ \frac{m^3}{kg_{comb}} \right] \quad PCI : \left[ \frac{kgcal}{kg} \right]$$

$$V_g = \frac{1.11 PCI}{1000} \left[ \frac{m^3}{kg_{comb}} \right] \quad PCI : \left[ \frac{kgcal}{kg} \right]$$

## Fórmulas práticas para a relação ar/combustível III

Gases pobres, isto é, PCI menor que  $3000 \frac{kcal}{m^3}$  ( $V_0$  e  $V_g$  são o volume de ar estequiométrico e volume de gases)

$$V_0 = \frac{0.875 PCI}{1000} \left[ \frac{m^3}{kgcomb} \right] \quad PCI : \left[ \frac{kgcal}{kg} \right]$$

$$V_g = \frac{1.45 PCI}{1000} \left[ \frac{m^3}{kgcomb} \right] \quad PCI : \left[ \frac{kgcal}{kg} \right]$$

## Fórmulas práticas para a relação ar/combustível IV

Gases ricos, isto é, PCI maior que  $3000 \frac{kcal}{m^3}$  como gás natural e gás de coqueria ( $V_0$  e  $V_g$  são o volume de ar estequiométrico e volume de gases)

$$V_0 = \frac{1.09PCI}{1000} - 0.25 \left[ \frac{m^3}{kgcomb} \right] \quad PCI : \left[ \frac{kgcal}{kg} \right]$$

$$V_g = \frac{1.14PCI}{1000} + 0.25 \left[ \frac{m^3}{kgcomb} \right] \quad PCI : \left[ \frac{kgcal}{kg} \right]$$

# Produtos da Combustão I

- 1 Com excesso de ar baixo: maior perda por combustível não queimado
- 2 Com excesso de ar normal: perdas mínimas
- 3 Com excesso de ar alto: maior perda na massa de gases quentes da chaminé

O excesso de ar (1) chamado de “normal” (ou recomendado) é aquele que minimiza a soma das perdas por combustão incompleta e gases quentes lançados para a atmosfera.

## Produtos da Combustão II

Tabela: Fonte (1).

<b>Variáveis</b>	<b><math>\lambda</math> pequeno</b>	<b><math>\lambda</math> normal</b>	<b><math>\lambda</math> grande</b>
% O <sub>2</sub> gases	Baixo (2%)	Normal (5%)	Grande (8%)
% CO <sub>2</sub> gases	Alto (21%)	Normal (12%)	Baixo
% CO gases	Alto (1%)	Normal (0.5%)	Baixo
Teor de fuligem	Alto	Normal (0%)	Baixo (desprezível)
Cor dos gases	Escura	Levemente marrom	Incolor ou branco
Perda por combustão incompleta	Grande	Normal	Pequena
Perda de calor nos gases da chaminé	Pequena	Normal	Grande

## Ponto de orvalho dos gases de combustão

O vapor de água (1) se condensa quando os gases estão a uma temperatura igual ou inferior à temperatura de saturação da água correspondente à pressão parcial do vapor na mistura de gases (o ponto de orvalho).

## Teor de CO<sub>2</sub>

Determinação (1) aproximada do coeficiente de excesso de ar a partir do teor de CO<sub>2</sub> medido nos gases, pode ser feito da seguinte maneira: No caso estequiométrico, tem-se:

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_g} = t_{\text{CO}_2}^{\text{max}}$$

E no caso com excesso de ar:

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_g + (\lambda - 1)V_{\text{ar}}} = t_{\text{CO}_2}$$

Dividindo-se as duas equações:

$$\frac{t_{\text{CO}_2}^{\text{max}}}{t_{\text{CO}_2}} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_g} \times \frac{V_g + (\lambda - 1)V_{\text{ar}}}{V_{\text{CO}_2}} \therefore \lambda = \frac{t_{\text{CO}_2}^{\text{max}}}{t_{\text{CO}_2}}$$

## Exercícios I

Apresente as reações de combustão estequiométrica completa na base volumétrica, utilizando ar e oxigênio puro como comburente para os seguintes combustíveis:

- 1 Metano;
- 2 Propano;
- 3 Etanol.

## Exercícios II

1) Determine a relação estequiométrica ar/combustível para o propano.

## Exercícios III

2) Uma amostra de óleo combustível hipotética tem como resultado de análise elementar, em base mássica, 86% de carbono, 14% de hidrogênio e 0% de enxofre e nitrogênio.

Determine a relação estequiométrica ar/combustível.

## Exercícios IV

3) Uma amostra de óleo combustível hipotética tem como resultado de análise elementar, em base mássica, 84% de carbono, 11% de hidrogênio, 2% de oxigênio, 3% de enxofre e 0% nitrogênio. Determine a relação estequiométrica ar/combustível.

## Exercícios V

4) Um quilo de uma mistura de gás contendo 40% de metano e 60% de propano é queimado por completo com ar e em quantidade estequiométrica. Determine a massa de água formada durante a combustão da mistura.

Hipóteses:

- 1 Combustão completa
- 2 Produtos de combustão:  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2$

## Exercícios VI

5) Para uma mistura homogênea de etileno,  $C_2H_4$ , COM 130% de excesso de ar, calcule a fração molar e o peso molecular da mistura.

## Exercícios VII

6) Determine, por meio das fórmulas propostas, o poder calorífico superior e inferior de um combustível, sabendo-se que esse apresenta composição química com  $C = 52\%$ ,  $H = 6.5\%$ ,  $O = 41\%$ ,  $N = 0.5\%$ ,  $S = 0\%$ , com teor de umidade igual a  $0\%$ .

Obrigado

## Referência

- 1 BOCON, F. *Apostila de Maquinas Termicas I*. Curitiba, 2016. Disponível em: <[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC037/Prof\\_Bocon/Apostila\\_Ciclos\\_Termicos\\_Combustiveis.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC037/Prof_Bocon/Apostila_Ciclos_Termicos_Combustiveis.pdf)>. Acesso em: 5 Abr. 2019.
- 2 MOREIRA, J. R. S. *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética*. [S.l.]: LTC, 2017. ISBN 9788521630258.