

# **COMBUSTÃO E COMBUSTÍVEIS**

**HENAUTH, R. C. S.\*; VASCONCELOS, R. S.\***

**Henauth, R. C. S. Graduada em Eng<sup>a</sup> Química pela Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP; Mestranda em Desenvolvimento de Processos Ambientais – DPA (UNICAP)**

**e-mail: [rosangelahenauth@yahoo.com.br](mailto:rosangelahenauth@yahoo.com.br)**

**Vasconcelos, R. S. Técnico em Química Industrial pelo Centro Federal de Tecnologia de Pernambuco – CEFET/PE; Graduado em Eng<sup>a</sup> Química pela Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP; Mestrando em Desenvolvimento de Processos Ambientais – DPA (UNICAP)**

**e-mail: [robsonsv12@yahoo.com.br](mailto:robsonsv12@yahoo.com.br)**

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos motores a combustão interna no início do século XX trouxe uma ruptura com a fonte de energia até então utilizada nas máquinas a vapor, o carvão mineral. Além dos inúmeros benefícios, o uso dos motores modernos gerou a rígida necessidade de combustíveis líquidos para o seu funcionamento (DOSI, 1988).

Um dos mais importantes campos de estudo no conjunto das ciências e da tecnologia é, sem dúvida, o dos “combustíveis” e de sua “combustão”. A grande atividade industrial atual tornou-se possível pelo sempre crescente fornecimento de energia, que pode ser utilizada sob a forma conveniente de energia calorífica, obtida através dos combustíveis (HILSDORF, 2004).

Ainda, segundo Hilsdorf (2004), que quaisquer substâncias que reajam quimicamente com desprendimento de calor possam ser consideradas combustíveis para determinados fins, os combustíveis quem sabe tidos como industrialmente importantes são mais restritos. São os materiais carbonáceos comumente disponíveis e que podem ser queimados facilmente ao ar atmosférico com desprendimento de grande quantidade de calor controlável sem esforço. Para que um material possa ser considerado industrialmente “combustível”, são necessários alguns requisitos técnicos e econômicos:

- ✓ Facilidade de uso;
- ✓ Não formação, durante a combustão, de substâncias tóxicas ou corrosivas;
- ✓ Obtenção fácil;
- ✓ Baixo custo de produção;
- ✓ Segurança no armazenamento e no transporte.

Os combustíveis importantes são compostos de carbono. Esquematicamente, os componentes do sistema de “combustão” podem ser visualizados através da figura 1:

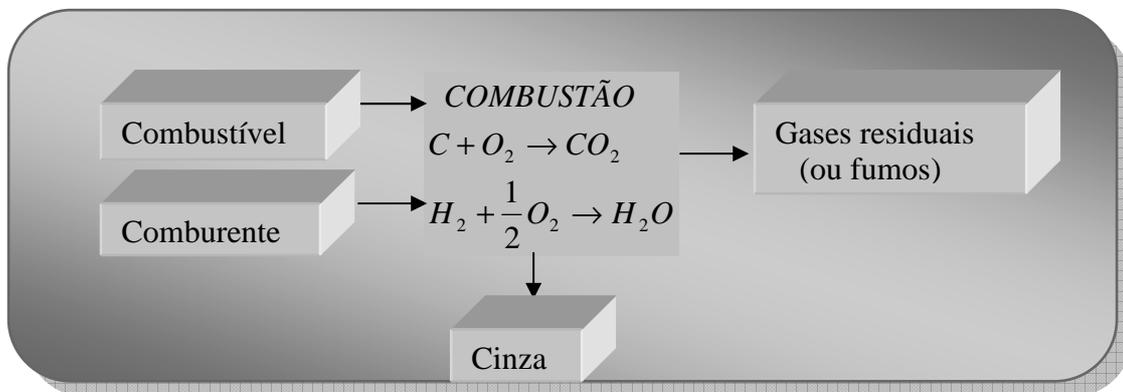


Figura 1 – Esquema dos componentes da combustão

## PRINCÍPIO DA COMBUSTÃO

Para iniciar uma combustão precisamos do triângulo de fogo, mostrado na figura 2.



Figura 2 – Triângulo de fogo

Porém para que as reações de combustão ocorram e se mantenham, precisamos dos três T's de combustão (VLASSOV, 2001):

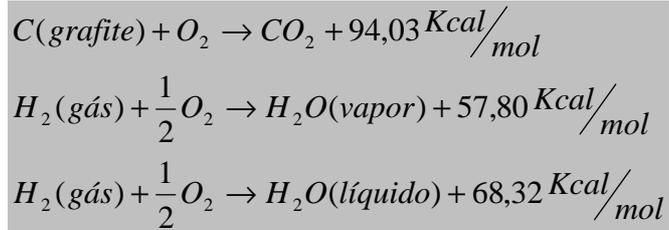
- ✓ Temperatura;
- ✓ Tempo;
- ✓ Turbulência

Estes fatores governam a velocidade e a química da queima do combustível, depois de sua iniciação (SERFATY, 2007).

Há uma grande variedade de materiais que podem ser considerados combustíveis, porém a maior parte daqueles empregados industrialmente é composta basicamente de carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e nitrogênio. O comburente, normalmente, utilizado, é o oxigênio do ar (SERFATY, 2007).

De modo geral a combustão se dá em “fase gasosa”. O combustível líquido é evaporado previamente e a reação de combustão se efetua entre o vapor do líquido e o oxigênio, intimamente misturados. Os combustíveis sólidos são de combustão um tanto mais difícil, pois a reação se dá na interface sólido-gás, devendo haver a difusão do oxigênio através dos gases que envolvem o sólido ( $\text{CO}_2$  e outros gases) para atingir a superfície do sólido em combustão (HILSDORF, 2004).

As reações mais importantes no processo da combustão são as seguintes (HILSDORF, 2004):



Onde  $\Delta H_1$ ,  $\Delta H_2$ ,  $\Delta H_3$  representam a energia liberada por unidade de massa, ou volume ou outra unidade qualquer, normalmente referidas às substâncias combustíveis (SERFATY, 2007).

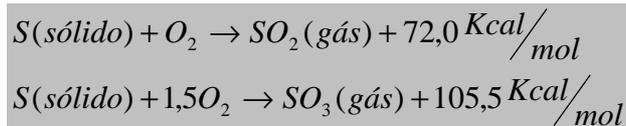
Se considerarmos como variação de “entalpia” a 25°C, tem-se para os três casos (HILSDORF, 2004):

$$\Delta H_{25^\circ C} = -94,03 \text{ Kcal}$$

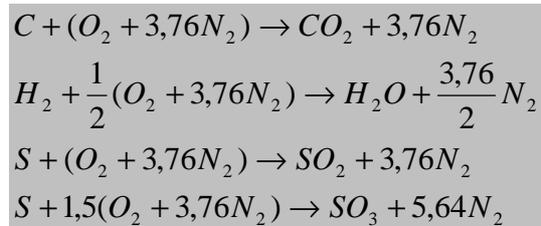
$$\Delta H_{25^\circ C} = -57,80 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{25^\circ C} = -68,32 \text{ Kcal}$$

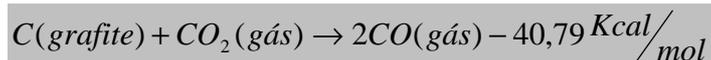
Caso se considere, a presença de enxofre, no combustível tem-se, ainda, as reações exotérmicas seguintes (HILSDORF, 2004):



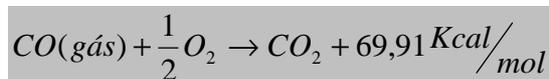
Considerando a reação de combustão com “ar atmosférico seco”, pode-se escrever as reações anteriores da seguinte forma (HILSDORF, 2004):



Se houver falta de oxigênio para a combustão do carbono (e, portanto, um excesso de carbono), além da reação de combustão do carbono até CO<sub>2</sub> (em parte), se dará a reação endotérmica (HILSDORF, 2004):



Isso significa uma perda de combustível sob a forma de CO, o qual também pode ser queimado liberando calor. Se adicionarmos mais oxigênio ou ar, o CO pode queimar produzindo ainda a reação exotérmica seguinte (HILSDORF, 2004):



O processo de combustão pode resultar nas seguintes emissões/gerações de poluentes (MARTINELLI, 2010):

- ✓ O enxofre do combustível resultando em um dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e este ainda poderá sofrer oxidação e se transformar em um trióxido de enxofre ( $SO_3$ );
- ✓ A presença de nitrogênio resulta na formação / emissão de óxido de nitrogênio;
- ✓ A presença de oxigênio no combustível resulta na formação de aldeídos e ácidos orgânicos;
- ✓ A combustão incompleta (não adequada) resulta na formação/ geração de fuligem, monóxido de carbono ( $CO$ ) e outros compostos parcialmente oxidados.

A análise dos gases residuais (fumos) de uma combustão pode fornecer elementos para, por meio de balanços materiais (aplicação da lei da “conservação das massas”), verificar se uma combustão esta sendo efetuada com uma porcentagem de ar em excesso correta dentro das condições de combustível queimado e de processo. As informações sobre a composição dos fumos fornecem dados suficientes para se verificar a eficiência da combustão e a quantidade de ar em excesso que está sendo utilizada. A análise dos fumos pode ser efetuada por meio do **aparelho de Orsat** (HILSDORF, 2004).

## **ESTEQUIOMETRIA DA COMBUSTÃO**

Quando o oxigênio consumido é o necessário e suficiente para queimar completamente os elementos combustíveis, diz-se que a reação é estequiométrica. Quando a quantidade de oxigênio é maior, fala-se em excesso de oxigênio; em caso contrário fala-se em falta de oxigênio, situação na qual não se realiza a combustão completa podendo-se formar CO e até partículas de carbono, estas últimas constituindo o que se denomina fuligem (MARTINELLI, 2010).

Cada combustível necessita de uma quantidade exata de ar para queimar completamente. Esta quantidade depende dos teores de C e H que o combustível contém, e é definida pela relação ar-combustível (SERFATY, 2007).

O ar seco tem a seguinte composição e volume específico:

Tabela 1 – Composição do ar seco

Componentes	%Volume	%Massa	Volume específico
O <sub>2</sub>	21	23,2	0,85m <sup>3</sup> /Kg a 25°C
N <sub>2</sub> *	79	76,8	

\*Inclui outros gases inertes como Argônio, CO<sub>2</sub>, Kr, Ne e Xe

Sendo as combustões normalmente efetuadas sob pressões próximas da pressão atmosférica, pode-se considerar que os gases envolvidos na operação comportam-se como gases perfeitos. Geralmente, os cálculos estequiométricos da combustão correspondem a três tipos (HILSDORF, 2004):

- ✓ Cálculo da quantidade de ar teoricamente necessário e de ar real para a combustão completa do combustível;
- ✓ Cálculo da composição e do volume dos fumos da combustão;
- ✓ Cálculo da porcentagem de ar em excesso utilizada em uma combustão, em razão da análise de Orsat dos fumos da combustão.

## TIPOS DE COMBUSTÍVEIS

Dentro do grande desenvolvimento tecnológico observado na obtenção de energia para fins industriais, os combustíveis sólidos, apresentam ainda elevado grau de importância. Países bastante desenvolvidos, industrialmente falando, como os Estados Unidos da América, a Inglaterra e a Alemanha, baseiam grande parte do fornecimento de energia para sua indústria nos combustíveis sólidos, embora haja o aspecto da desvantagem técnica do seu estado físico, quando comparados com os combustíveis fluídos, de mais fácil manuseio e transporte. (BARROS, 2004).

Os combustíveis podem ser caracterizados pelas suas características físico-químicas e a classificação mais comum se dá de acordo com o estado da matéria (VLASSOV, 2001):

**Combustíveis sólidos** → segundo Barros (2004), os combustíveis sólidos classificam-se em *naturais* ou *primários* (encontram-se na natureza) e *preparados* ou *derivados*, ou ainda, *secundários* (aqueles que sofreram transformação ou elaboração por parte do

homem). VLASSOV (2001) classifica os combustíveis sólidos através das seguintes propriedades:

- Análise imediata (se possível análise elementar);
- Poder calorífico (inferior e superior);
- Granulometria ou estado de divisão;
- Densidade;
- Temperatura de fusão das cinzas.

✓ Combustíveis sólidos naturais ou primários → A natureza fornece combustíveis sólidos nos reinos vegetal e mineral. O combustível sólido natural vegetal é a *lenha* e os do reino mineral são os *carvões fósseis* (BARROS, 2004).

✓ Combustíveis sólidos preparados/ derivados ou secundários → Coque, briquetes, carvão vegetal (VLASSOV, 2001).

**Combustíveis líquidos** → Os combustíveis líquidos são os mais importantes atualmente. Os combustíveis líquidos utilizados nos mais diversos processos de aquecimento industrial são chamados genericamente de óleos combustíveis. No Brasil, o termo “óleo combustível” é empregado apenas na designação de frações pesadas, não incluindo, portanto os subprodutos denominados destilados (querosene, óleo diesel, etc.) (SERFATY, 2007). O enorme volume empregado nos motores de combustão interna, nas indústrias e para a produção de energia elétrica, mostra sua importância na vida moderna. Os combustíveis líquidos podem ser classificados nos seguintes grupos (VLASSOV, 2001):

- Petróleo e seus derivados;
- Derivados do alcatrão de hulha ou do linhito;
- Destilados dos xistos betuminosos;
- Hidrocarbonetos sintéticos;
- Álcool etílico.

**Combustíveis gasosos** → Os combustíveis gasosos, na temperatura ambiente e na pressão atmosférica, apresentam numerosas vantagens sobre os demais combustíveis (SERFATY, 2007):

- Composição química;
- Peso molecular;
- Poder calorífico;
- Velocidade de propagação;
- Limite de inflamabilidade;

- Temperatura de chama.

## **PODER CALORÍFICO DE COMBUSTÍVEIS**

No sistema métrico, a unidade básica de calor é a caloria ou caloria-grama, que é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1,0 grama de água de 1,0 grau centígrado, entre 15°C e 16°C. A caloria média é um centésimo da quantidade da quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1,0 grama de água de 0°C a 100°C (sem vaporização). A caloria (grande caloria) ou Kilocaloria é igual a 1.000 calorias. Em unidades inglesas a unidade de calor é feita em termos de “British Thermal Unit” (BTU). Em BTU é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1,0 libra de água de 60°F a 61°F (HILSDORF, 2004).

Ainda, segundo Hilsdorf (2004), quando um combustível é queimado, desenvolve-se calor, e a quantidade de calor é proporcional ao peso do material queimado. A quantidade de calor liberado pela unidade de massa não é a mesma para todas as substâncias, e também o calor desenvolvido pela queima de um composto não é o mesmo que seria obtido pela queima dos elementos constituintes separadamente. O poder calorífico de qualquer substância é uma medida do calor que pode ser obtido pela queima dessa substância.

O poder calorífico é definido como a quantidade de calor liberada pela unidade de massa (ou volume para combustíveis gasosos) de um combustível, quando queimado completamente, em uma dada temperatura (normalmente 18°C ou 25°C), sendo os produtos da combustão (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O etc.) resfriados até a temperatura inicial (18°C ou 25°C) da mistura combustível (BARROS, 2004).

Verifica-se pela definição que, para o combustível liberar a quantidade de calor correspondente ao seu poder calorífico, não deve haver combustão incompleta, e os gases residuais (ou fumos) não devem sair a temperaturas altas (maiores que 18°C ou 25°C, conforme o nível de temperatura considerado). Um combustível contendo apenas C e H (hidrocarboneto), para que forneça o poder calorífico, deve entrar na combustão a 18°C e fornecer fumos contendo apenas CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (máximo grau de oxidação do C e do H, ou combustão completa), e os fumos devem sair do sistema de combustão a 18°C (VLASSOV, 2001).

Teoricamente, a quantidade total de calor do poder calorífico poderia ser obtida. Porém, na prática, uma parte desse calor pode perder-se por radiação ou como calor sensível levado pelos fumos, quando saem em temperatura superior a 18°C. Se, o combustível contiver hidrogênio, e, portanto, pela sua combustão houver a formação de água, pode-se argumentar que em uma combustão industrial esse vapor de água não se condensa, saindo como vapor nos fumos e que, conseqüentemente, o calor latente de condensação do vapor de água não deverá ser incluído no poder calorífico do combustível. Para diferenciar esse caso considera-se a definição de dois tipos de poder calorífico (HILSDORF, 2004):

✓ Poder calorífico superior ou bruto → Calor liberado pela condensação de toda quantidade de água presente nos produtos da combustão (fumos).

✓ Poder calorífico inferior ou líquido → Obtido deduzindo do poder calorífico superior o calor latente liberado pela condensação e resfriamento de toda a água presente nos produtos da combustão com umidade.

## **TEMPERATURA DE CHAMA**

Nenhuma substância “queimará” a não ser que seja aquecida a uma temperatura suficientemente elevada para permitir que a velocidade de sua reação com o oxigênio exceda um valor crítico, no qual se liberta calor pela reação mais rapidamente do que se perde ao ambiente. A reação torna-se auto-suficiente, pode ser designada “combustão” e se distingue de uma simples “oxidação”. Essa temperatura necessária é conhecida como temperatura de chama ou temperatura de ignição (HILSDORF, 2004).

Segundo Hilsdorf (2004), a ignição ou queima visível é precedida por um intervalo de temperatura em que ocorre uma combustão lenta. As temperaturas de ignição de vários combustíveis ao ar são mostradas na tabela 2. Essas temperaturas não são absolutas, porém, dependem em maior ou menor extensão das condições da ignição.

Tabela 2 – Temperatura de ignição ao ar

Combustível	°C
<b>Carvão para gás</b>	370
<b>Hulha betuminosa comum</b>	400 – 425
<b>Antreacito</b>	500
<b>Coque (baixa resistência)</b>	425 – 500
<b>Coque (alta resistência)</b>	500 – 650
<b>Hidrogênio</b>	580 – 590
<b>Monóxido de carbono</b>	644 – 658
<b>Metano</b>	650 – 750
<b>Etano</b>	520 – 630
<b>Etileno</b>	542 – 547
<b>Álcool etílico</b>	558
<b>Querosene</b>	295

## QUEIMADORES DE COMBUSTÍVEIS

Um queimador pode ser definido como sendo um dispositivo que confere uma chama em uma determinada posição pela liberação de ar e combustível em uma dada mistura capaz de assegurar a contínua ignição e combustão completa (SERFATY, 2007).

**Mistura Ar/ Combustível** → Uma boa mistura do ar com o combustível é importante para garantir uma uniformidade no sistema. Toda a partícula de combustível deve estar em contato com o oxigênio. A implementação de ações que propiciem o aumento da turbulência (alta turbulência) contribuem para a mistura gás/ ar. Existem duas fontes básicas de energia que são disponíveis para gerar a mistura (SERFATY, 2007):

- A pressão de ar disponível ou tiragem ao longo do queimador;
- A energia de descarga do combustível.

A energia do combustível é extremamente importante quando a tiragem é natural ou com baixas pressões de ar. Nos casos em que os queimadores são de tiragem forçada com alta perda de carga no queimador a energia proveniente do combustível é menos

relevante, sendo a energia provida pelo ar à fonte dominante para gerar a mistura (SERFATY, 2007).

***Ignição e Estabilidade*** → Esta é uma das principais características quanto aos aspectos de segurança e confiabilidade operacional. Um queimador é considerado estável quando mantém a ignição ao longo de toda a faixa de pressão das correntes e dentro da faixa normalmente utilizada para a relação ar/ combustível. A ignição de um combustível em um queimador é normalmente obtida pela aceleração da reação de oxidação através da introdução de uma fonte externa de calor em um ponto determinado (piloto) até que a própria reação libere uma quantidade de calor superior a perdida para a vizinhança, ou seja, até que o combustível continue a se ignitar com a fonte de calor externa. A menor temperatura possível para a manutenção da ignição é denominada “temperatura mínima de ignição da mistura ar/combustível”. A estabilidade de um queimador depende de sua capacidade de manter este valor de temperatura em algum ponto dentro do queimador (SERFATY, 2007).

## **CONCLUSÃO**

Concluimos, com o presente trabalho, que os combustíveis são parte integrante e indispensável a nossa vida. Através do advento do motor de combustão, muitos trabalhos, que antes eram praticamente impossíveis de se realizar, hoje, se mostram perfeitamente inseridos em nosso cotidiano, como por exemplo, reduzindo as distâncias.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

BARROS, N. D. **Química Tecnológica**. São Paulo. Pioneira Thomson, 2004. 340 p.

BIZZO, W.; SÁNCHEZ, C. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor**. Cap. I – Combustão. Unicamp – Faculdade de Engenharia mecânica. Apostila de curso, 2003.1

DOSI, G. Sources, Procedures and Microeconomics Effects of Innovation. **Journal of Economic Literature**, vol 26, no. 3, 1120-1171, 1988.

HILSDORF, J. W. et al. **Química Tecnológica**. São Paulo. Pioneira Thomson, 2004. 340 p.

MARTINELLI, L. C. J. **Máquinas Térmicas I** – princípios de combustão. DeTec, 2010.

MARTINELLI, L. C. J. **Geradores de Vapor**. Unijuí – Campos Panambi.

SERFATY, R. **O Papel da Combustão na Área de Refino e Petroquímica da Petrobrás**. I Escola de Combustão. CENPES – Gerência de equipamentos. 2007.

SERFATY, R. **Combustão e Combustíveis**. CENPES – Gerência de equipamentos. 2007.

VLASSOV, D. **Combustíveis, Combustão e Câmaras de Combustão**. ed. 1<sup>a</sup> da UFPR. 2001. 185 p.