

ANÁLISE DOS GASES DE EXAUSTÃO DE CHAMINÉS COM O USO DO APARELHO DE ORSAT

Camila Mazeti Carvalho¹; Daniele Aparecida Brito¹; Romeu Abrahão Pereira²; Alcione Wagner de Souza³; Maria Heliodora do Vale Romeiro Collaço⁴

^{1, 2, 3, 4} Faculdade de Talentos Humanos - FACTHUS, Uberaba (MG), Brasil
² Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF - MCTIC, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

camilamazeti@hotmail.com, dani.abrito@hotmail.com.br, romeuabrahao@yahoo.com.br, awsouza@facthus.edu.br, mhcollaco@facthus.edu.br

RESUMO: Este trabalho apresenta o analisador de gás conhecido como Analisador de ORSAT na sua estrutura original apresentada por Louis Hengist Orsat em 1875, o qual tem sido usado em plantas de potência até os dias atuais, permitindo a separação dos constituintes de combustão dos gases de exaustão por absorção em um reagente. O método descrito permite a determinação de excesso ou falta de ar, bem como os pesos moleculares dos gases na corrente de fluxo dos processos de combustão de combustíveis fósseis e os de biomassa.

PALAVRAS CHAVE: Analisador; absorção; combustão; gases; Orsat.

ANALYSIS OF CHIMNEY EXHAUSTING GASES WITH USE OF ORSAT APPARATUS

ABSTRACT: This work presents the gas analyzer known as the ORSAT Analyzer in its original structure presented by Louis Hengist Orsat in 1875, which has been used in power plants till this day, allowing the separation of the combustion constituents of the exhaust gases by absorption into a reagent. The described method allows the determination of excess or lack of air, as well as the molecular weights of gases in the flow stream of the combustion processes of fossil fuels and those of biomass.

KEYWORDS: Analyzer; absorption; combustion; gas; Orsat.

INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis usados na geração de eletricidade, na produção de calor em processos industriais nas máquinas e motores presentes nos meios de transportes, produzem em sua combustão: o dióxido de carbono CO₂, monóxido de carbono CO, água, dióxido de enxofre SO₂, compostos do nitrogênio NO_x e partículas sólidas. Todos estes gases mencionados anteriormente são altamente poluidores da atmosfera (DONA, 2007). O CO₂ é liberado na atmosfera, sendo considerado um gás benigno apenas quando em pequenas quantidades, uma vez que é usado no processo de fotossíntese, pelas plantas verdes na produção de açúcares, mantendo um equilíbrio sustentável na biosfera. Quando liberado em grandes quantidades, resultante da crescente atividade industrial, o CO₂ atua como blindagem, aprisionando o calor solar no chamado efeito estufa, tendo como consequência o aquecimento global (SMITH; WAGONER, 1974).

O monóxido de carbono, diferentemente do CO₂, é venenoso e sua inalação produz asfixia. A combinação do nitrogênio e oxigênio durante a combustão forma compostos NO_x, ou seja, NO, NO₂ e N₂O, os quais tornam-se ácidos quando inalados, cujo efeito danoso é o de bloquear a absorção de oxigênio na corrente sanguínea. A presença do enxofre no combustível, origina na combustão

a formação de óxidos SO_x, os quais produzem problemas de saúde similares aos do NO_x e, na atmosfera, combina com a água formando ácido sulfúrico que resulta a chamada chuva ácida, a qual destrói a vida aquática e a fertilidade do solo (AMBAUM, 2010).

O monitoramento da poluição atmosférica e a qualidade do ar são previstas por meio de legislação que fixa padrões de qualidade e definem os limites máximos para a concentração de um poluente na atmosfera e garantem a proteção e o bem estar das pessoas. No Brasil, o órgão responsável é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) com a resolução 08/1990 no qual fixa os limites de emissão dos compostos poluentes resultante da combustão externa e de fontes fixas, tais como fornos, fornalhas, secadores, centrais de geração de energia elétrica e caldeiras. Dos órgãos internacionais, destacam-se o UNECE – *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*, o *European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau* e, nos Estados Unidos, a EPA – *Environmental Protection Agency*, na qual a legislação do CONAMA muito se assemelha.

O presente trabalho descreve o procedimento de análise do fluxo de gás resultante da combustão em plantas de geração de vapor em caldeira, o qual requer o conhecimento da composição química dos gases produzidos no processo de geração de calor, fornecendo

informações sobre a eficiência do processo, o grau de pureza dos produtos, o conteúdo de monóxido de carbono resultante de combustão incompleta por insuficiência no suprimento de oxigênio, refletindo o grau de completude de reação. Com o uso do Analisador de ORSAT, os gases resultantes da combustão são identificados e medidas numéricas são determinadas para os conteúdos de oxigênio, monóxido e dióxido de carbono.

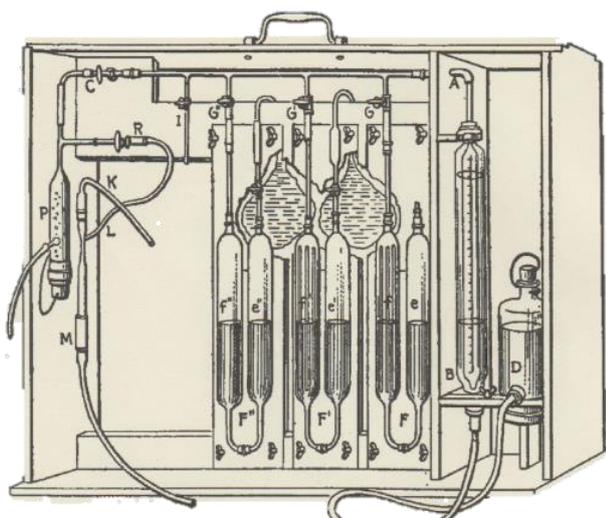
ANALISADOR DE GASES DE ORSAT

Em 1875, Orsat apresentou um aparelho compacto e de uso portátil para análise de gases presentes na corrente de fluxo resultante de combustão. Embora a precisão da análise nem sempre possa ser comparada com as atuais análises gravimétricas, o seu uso é frequente nos dias atuais em processos, de purificação e absorção, devido à sua simplicidade e agilidade na obtenção de dados da natureza dos gases presentes na combustão.

Muitas modificações têm sido feitas a essa forma original, com o objetivo de diminuir o tempo de análise, aumentar a precisão dos resultados obtidos e/ou ampliar os objetivos de aplicações. Contudo, o aparelho que resulta dessas inovações, continua o mesmo em seus princípios (WHITE, 1920).

O aparelho de ORSAT consiste de uma bureta endiométrica (B) na Figura 1, tendo na extremidade superior (A) um tubo de vidro capilar e, na extremidade inferior um frasco nivelador conectado à bureta por mangueira flexível (O). A capacidade da bureta é 100 ml, com graduação de menor divisão de escala de leitura 0,1 ml; nas menos precisas, as divisões marcadas na escala são de 0,2 ml.

Figura 1 – Forma original do Aparelho de ORSAT (1875)



Fonte: Orsat, 1875.

O frasco nivelador (D) contém água, ligeiramente ácida e colorida com *metil-orange*, para facilitar a leitura. As três pipetas (F), (F') e (F''), de absorção, são conectadas à tuboladura (manifold) de vidro com torneiras de fechamento (G, G', G''). A torneira (I) serve para a

conexão do tubo capilar de platina com o manifold, no qual o ar misturado com um hidrocarboneto, pode ser adicionado a hidrogênio na necessidade de queima. Por meio do aspirador de água (K, L, M), a amostra de gás é levada à bureta, por rápida sucção da corrente de gás, através da torneira (R) e do filtro de pó (P).

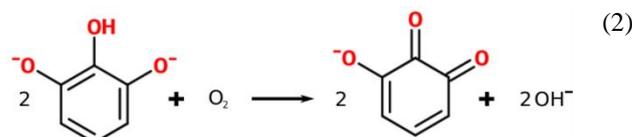
O abaixamento do frasco nivelador coloca a bureta em condição de sucção, drenando o gás e, por abaixamento, produz movimento inverso em condição de sub-pressão, expelindo o gás.

As pipetas devem ter capacidade de 100 ml de gás e são preenchidas com soluções absorventes, em sequência, da direita para esquerda na Figura 1, para dióxido de carbono (F), oxigênio (F') e monóxido de carbono (F'').

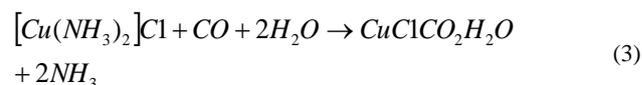
A primeira (F) contém 65% de peso de hidróxido de potássio (KOH) em água, o qual absorve o dióxido de carbono e, também, gases ácidos como o dióxido de enxofre e sulfito de hidrogênio, segundo a reação (1).



A segunda pipeta (F') contém solução 50g de 1,2,3-trihidrobenceno, conhecido como ácido pirogálico, dissolvido em 100 ml de água e 900 g de KOH dissolvido em 640 ml de água. A solução reage com oxigênio e sendo altamente alcalina, é capaz de absorver o dióxido de carbono que não tenha sido absorvido na pipeta (F), sendo agora registrado na pipeta (F'), conforme a reação (2) a seguir:



A pipeta (F'') contém solução de cloreto cuproso em amoníaco:



Devido à instabilidade do composto cloreto cuproso, usa-se fio ou tela de cobre no interior da pipeta, impedindo a oxidação e mantendo a solução em uma condição reduzida. Os gases CO₂ e oxigênio não absorvidos nas pipetas anteriores, são registrados na pipeta (F'').

O procedimento de teste, consiste em inicialmente levar a solução da bureta e das pipetas até o traço marcado no capilar abaixo da torneira, sem contudo ultrapassar essa marcação; abre-se a torneira que liga a bureta com a atmosfera, eleva-se o frasco nivelador até que a água atinja o começo do tubo capilar na extremidade superior da bureta com a marcação de leitura 100 ml.

Fechando-se todas as torneiras que ligam a bureta com a atmosfera e abrindo-se a torneira da pipeta, tem-se comunicação dessas com a bureta; e, abaixando o frasco nivelador, lenta e cuidadosamente, a solução da pipeta

sobe até o traço marcado no capilar. Repete-se esse procedimento para as duas outras pipetas.

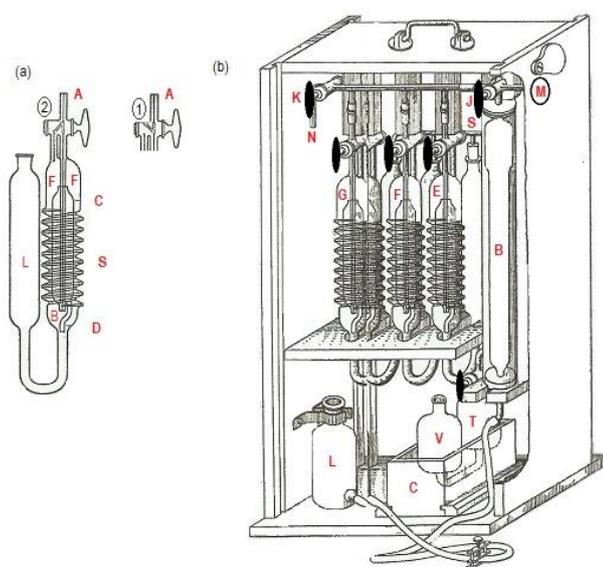
As leituras são feitas com o reservatório no mesmo nível que o do nível na bureta, estando as soluções em cada pipeta com o nível nas marcas de referência (ef, e'f', e''f') da Figura 1.

A absorção resultante da completa remoção de oxigênio pelo ácido pirogálico e do monóxido de carbono pelo cloreto cuproso, somente ocorre quando esses absorventes e o gás são colocados em direto e prolongado contato com os absorventes.

Obtém-se rápida e completa absorção de gases no aparelho de Orsat, com as pipetas que utilizam o mesmo princípio presente na garrafa de lavagem de gás apresentada por Friedrichs em 1930.

A Figura 2 mostra a pipeta de Friedrichs em vista lateral (a) e em (b) o aparelho de Orsat com arranjo utilizando essas pipetas e fabricadas por Greiner Friedrichs na Alemanha.

Figura 2 – Aparelho de Orsat (b) com a pipeta de Friedrichs em vista lateral em (a).



Fonte: Greiner Friedrichs, 1960.

Na Figura 2 (a), a mistura de gás entra através do capilar (A), com a válvula da pipeta na posição (1) e, descendo pelo capilar, sai em (B), para em seguida subir pela espiral (S). Se o gás carrega algum líquido que tenha sido absorvido por ele, este flui para baixo pelo interior do cilindro (C), novamente misturando-se com a massa da solução absorvente em (D). Após o gás completar a subida pela espiral e tendo sido coletado no espaço (F), a válvula gira 180°, assumindo a posição (2), com o gás voltando para a bureta.

O projeto similar ao da Figura 2, proposto neste trabalho, apresenta a bureta com capacidade de 100 ml e com graduação de escala tendo zero na extremidade inferior e, 100 ml junto à válvula de três vias em (J) na Figura 2 (b). O tubo que conecta essa válvula às pipetas,

tendo na extremidade oposta a válvula K, tem diâmetro externo de 7mm e, o interno de 1 a 2mm. Os capilares de descida às pipetas devem ter diâmetro interno de 1mm.

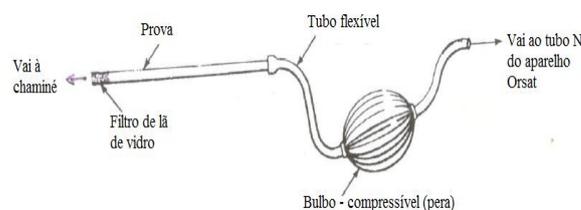
As pipetas E, F e G são do tipo mostrado na Figura 2(a) e contém as soluções de hidróxido de potássio, pirogálio alcalino, cloreto cuproso amoníaco e tubos de borracha conectam as pipetas aos capilares da bureta.

Aos terminais abertos dos três tubos de nível das pipetas (L) são fixados tampões de borracha com furo, através dos quais passam os tubos (B, S) de 7 mm de diâmetro externo e paredes de 1 mm de espessura, dirigindo-se para baixo, conectando-se à parte superior da válvula de (V) e (T) que são preenchidos à meio-nível com água, após as pipetas terem sido enchidas com os absorventes. Os níveis da água em V e T oscilam para cima e para baixo, à medida que se processa a operação de análise, quando o gás flui para as pipetas e retornam para a bureta, protegendo os reagentes de contato com o ar.

O tubo N na extremidade da válvula K vai ao coletor de amostra a ser analisado.

O coletor de amostra simples e prático é o mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Coletor de gás em chaminé em amostragem para análise.



Fonte: Os autores, 2017.

A haste da ponta de prova é feita de aço-inox ou tubo de vidro borossilicato, tendo na sua extremidade um filtro de lã de vidro para a remoção de partículas presentes no gás. O bulbo em forma de pera, suga o gás e o faz ser inserido no analisador.

A amostra é colhida na corrente de fluxo do gás da combustão, em seu trajeto ao longo da chaminé, de montante a jusante desta, em pontos centrais da secção reta transversal e espaçados entre si em múltiplos inteiros do seu diâmetro.

O gás a ser analisado é introduzido na bureta estando cheia de água até a marca 100 ml, com as válvulas (K) e (J) abertas, abaixando o frasco nivelador, o gás é admitido até que o nível da água atinja a marca zero da bureta. O gás admitido deve ser expelido para a atmosfera, e novo volume da amostra é tomado, repetindo-se esse procedimento de lavagem um mínimo de quatro a cinco vezes.

Após executado o procedimento acima descrito, com o volume de gás ajustado a 100 ml, com o nível de água em leitura zero, todas as leituras são feitas com o reservatório no mesmo nível que o do líquido na bureta. Fecha-se a entrada da amostra (K) e o reservatório é levantado para se colocar a amostra sob pressão, abre-se a válvula da primeira pipeta, permitindo a entrada do gás. O

nível é cuidadosamente ajustado até que seja completada a total transferência e o líquido atinja a marca situada no topo da bureta, de modo que se inicia a absorção, com um tempo de espera de cinco minutos. Em seguida a amostra é levada de volta à bureta, a válvula da pipeta é fechada. O reservatório é então levado a se ter mesmo nível com o líquido na bureta, e a leitura é feita. Repete-se esse procedimento para uma mesma bureta até se obter duas leituras idênticas. Após três repetições, não tendo obtido leituras idênticas, deve-se trocar a solução absorvente da pipeta.

O volume da amostra sendo 100 ml, o analisador Orsat fornece diretamente leituras em % de O₂, % de CO e % de CO₂.

O gás passando para a pipeta de absorção do CO₂ e voltando para a bureta, fornece a leitura L_{CO2}. A diferença entre o volume inicial 100 e L_{CO2}, fornece o volume de CO₂ em %.

Ao passar pela pipeta de absorção do O₂ e retornando à bureta, a leitura obtida é L_{O2}. O volume de O₂ é obtido em percentagem, subtraindo de L_{O2} a % de CO₂ obtida na primeira leitura. Para a percentagem do CO, faz-se a amostra passar pela pipeta de absorção do CO e retornar à bureta, obtendo-se a leitura L_{CO}. O volume do CO é obtido subtraindo-se da leitura L_{CO} a soma das % CO₂ e % O₂.

O volume de nitrogênio é determinado por diferença: % N₂ = 100 - (%O₂ + %CO₂ + %CO). A solução KOH absorve tanto o CO₂ quanto o SO₂. Assim, a %CO₂ contém a quantidade de SO₂.

O objetivo de boa combustão é a liberação de todo o calor no combustível. O chamado 3T da combustão, conhecido como fator essencial presente no processo, tendo presente alta temperatura, turbulência e tempo suficiente para completar a queima, deve ter presente uma quantidade de ar apropriada à completa queima da taxa de combustível que alimenta a fornalha. Contudo, nem todo o calor no combustível é convertido para calor e absorvido pelo equipamento de geração de vapor. Na combustão, praticamente todo o hidrogênio é queimado e a quantidade de enxofre é desprezível.

Na combustão incompleta, ocorre a formação de CO ao invés de CO₂, e uma quantidade específica de O₂ é necessária para a perfeita e/ou boa combustão, com a formação de apenas O₂, CO₂, N₂ e H₂O, presentes nos gases da combustão, cujas proporções em volume podem ser determinadas pelo aparelho de Orsat.

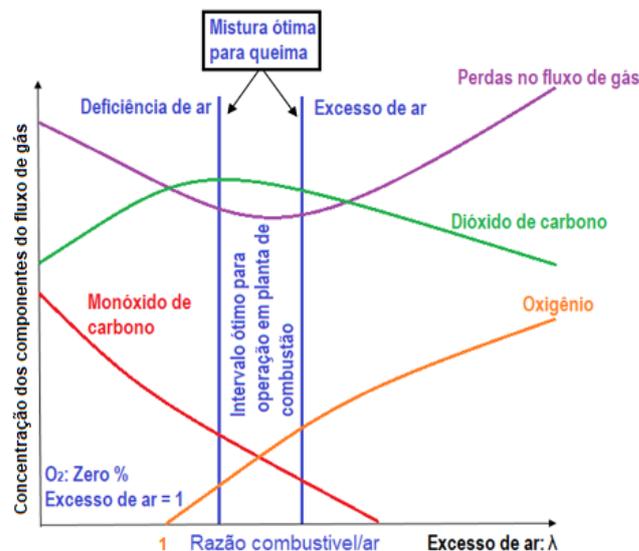
Para garantir a perfeita combustão, é necessário um adicional de ar à quantidade teórica calculada e um cálculo analítico, fornece o excesso de ar necessário e evita as condições de combustão que resultam em perda de eficiência.

A determinação das concentrações de CO, CO₂ e O₂ no fluxo dos gases, apresentam relações que são representadas em um diagrama como o mostrado na Figura 4.

No processo de combustão ideal, a quantidade de oxigênio fornecida à combustão é aquela que processa a queima total de todo combustível, ou seja, nenhum

oxigênio e combustível é deixado como resíduo. Não tem excesso de ar e considera o seu valor igual a 1. Nos processos reais, devido a incompleta mistura (combustível – oxigênio), o processo de combustão exige um volume de oxigênio maior que o teórico calculado. Essa quantidade adicional é chamada de excesso de ar e a razão do volume total para o volume de ar teórico é o valor de excesso de ar λ.

Figura 4 – Diagrama das concentrações dos componentes do fluxo de gás



Fonte: Os autores, 2017.

No diagrama da Figura 4, em condição ideal de mistura combustível – ar, cada valor do conteúdo de CO₂ relaciona-se ao um dado valor de CO na região com excesso de ar menor ou igual a 1, ou a um dado valor de O₂, quando se tem excesso de ar maior do que 1. Em geral, a faixa de valores do excesso de ar que produzem ótima combustão, está situada no intervalo de 8 a 20%, embora nos queimadores de óleo esse intervalo é de 20 a 50%.

O coeficiente de excesso de ar λ pode ser determinado conhecendo-se a porcentagem apenas do CO₂ em volume, ou usando-se as proporções de todos os elementos fornecidos pelo aparelho de Orsat.

A proporção de CO₂ em volume, sem excesso de ar, origina-se do O₂ do ar gasto de acordo com a reação (4) a seguir, em volumes unitários:



Se a quantidade de ar usada na combustão é igual à do ar teórico, as percentagens de CO₂ formado é a mesma que a do O₂ no ar.

Se houver excesso de ar, os gases de combustão têm CO₂ e O₂ e a quantidade de oxigênio usado será (CO₂ + O₂) conforme a reação (5).

Sendo λ a razão do volume de ar usado pelo volume de ar teórico, resulta:

$$\lambda = \frac{\%CO_2 + \%O_2}{\%CO_2} = 1 + \frac{\%O_2}{\%CO_2} \quad (5)$$

O que mostra a maior percentagem de CO₂ quando se usa o ar teórico. Para a determinação do coeficiente de excesso de ar utilizando-se as proporções em volume μ dos gases, tem-se o que é representado na equação (6) a seguir:

$$\mu_{CO_2} + \mu_{H_2O} + \mu_{O_2} + \mu_{N_2} + \mu_{CO} = 1 \quad (6)$$

Como 1 Kmol nas condições normais ocupa um volume de 22,4 m³, de modo que:

$$x(Kgmol) = \frac{\text{porcentagem em volume}}{22,4} \text{ mole} \quad (7)$$

$$= \frac{\mu}{22,4} \text{ moles}$$

A massa de um metro cúbico dos gases M_G é:

$$\frac{\mu_{CO_2}}{22,4} x44 + \frac{\mu_{H_2O}}{22,4} x18 + \frac{\mu_{O_2}}{22,4} x32 + \frac{\mu_{N_2}}{22,4} x28 + \frac{\mu_{CO}}{22,4} x28 = \text{massa de } 1\text{m}^3 = M_G \quad (8)$$

Ou:

$$\mu_{CO_2} x44 + \mu_{H_2O} x18 + \mu_{O_2} x32 + \mu_{N_2} x28 + \mu_{CO} x28 = 22,4 M_c \quad (9)$$

O volume de 22,4 m³ do gás tem, pois, massa igual a 22,4 M_G , a qual é determinada a partir das equações químicas que representam a combustão dos constituintes do combustível (PATEL; KARAMCHANDANI, 1997).

Na queima do carbono para dióxido de carbono:

$$C + O_2 = CO_2 \quad (10)$$

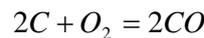
$$12 + 2x16 = 12 + 2x16 = 44$$

Ou

$$1 + 2,67 = 3,67 \quad (11)$$

Ou seja, a combustão completa de 1 kg de carbono requer 2,67 kg de oxigênio, produzindo 3,67 kg de dióxido de carbono. Em proporção volumétrica 12 μ_C quilogramas de combustível produz 44 μ_{CO_2} de 22,4 m³ de gás.

Na queima de carbono para monóxido de carbono:

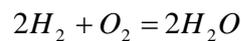


$$2x12 + 2x16 = 2x(12 + 16) = 56 \quad (12)$$

$$1 + 1,33 = 2,33$$

De modo que, na combustão completa, 1 kg de carbono requer 1,33 kg de O₂, produzindo 2,33 kg de CO e, no volume de 22,4 m³ do gás, 28 μ_{CO} corresponde a 12 μ_C de carbono do combustível.

Na queima de hidrogênio formando vapor de água, a equação:



$$2x(1x2) + 2x16 = 2x(2x1 + 16) = 56 \quad (13)$$

$$1 + 8 = 9$$

Ou seja, 1 kg de hidrogênio requer 8 kg de oxigênio produzindo 9 kg de vapor de água e, o volume de 22,4 m³ de gás tem-se 2 μ_{H_2O} kg de hidrogênio formando 18 μ_{H_2O} de H₂O

No processo de combustão, o ar é considerado uma mistura de oxigênio e nitrogênio, tendo em massa 23% do primeiro e 77% do segundo, o que corresponde a se ter 1 kg de O₂ associado a (77/23) = 3,35 kg de N₂, resultando 4,35 kg de ar. Em volume, tem-se 23% de O₂ e 79% de N₂ o que equivale a se ter em 4,76 m³ de ar, 1 m³ de O₂ e (79/21) = 3,76 m³ de N₂ (PATEL; KARAMCHANDANI, 1997).

O oxigênio e nitrogênio do ar não influenciam na quantidade de combustível necessária para geração dos gases, pois já estão presentes no ar. Resulta que a massa correspondente a 22,4 m³ de gases requer para a sua formação, uma massa de combustível igual a:

$$M_c = 12\mu_{CO_2} + 12\mu_{CO} + 2\mu_{H_2O} \quad (14)$$

Um quilo de combustível usando M_{ar} quilos de ar na combustão, formam ($M_{ar} + 1$) quilos de gases.

A massa de ar é:

$$M_{ar} = \frac{M \text{ } 22,4\text{m}^3 \text{ de gases}}{M \text{ combustível}} \left[\frac{\text{kg de ar}}{\text{kg de combustível}} \right] \quad (15)$$

Resulta:

$$M_{ar} = \frac{(44\mu_{CO_2} + 18\mu_{H_2O} + 32\mu_{O_2} + 28\mu_{N_2} + 28\mu_{CO}) - (12\mu_{CO_2} + 2\mu_{H_2O} + 12\mu_{CO})}{12\mu_{CO_2} + 2\mu_{H_2O} + 12\mu_{CO}} \quad (16)$$

$$M_{ar} = \frac{(32\mu_{CO_2} + 16\mu_{H_2O} + 32\mu_{O_2} + 28\mu_{N_2} + 16\mu_{CO})}{12\mu_{CO_2} + 2\mu_{H_2O} + 12\mu_{CO}}$$

Não ocorrendo a oxidação completa do carbono, forma-se CO o que indica insuficiência na quantidade de ar teórico. Para oxidar o CO a CO₂ necessita-se da quantidade 16 μ_{CO} de oxigênio. Logo, para a queima de M_C kg do combustível, a quantidade de ar será:

$$M' = (32\mu_{CO_2} + 12\mu_{H_2O} + 2 \times 16\mu_{CO}) \times 4,35 \quad (17)$$

(Kgdear)

Resulta:

$$M_{ar} = \frac{(32\mu_{CO_2} + 12\mu_{H_2O} + 32\mu_{CO})}{12\mu_{CO_2} + 2\mu_{H_2O} + 12\mu_{CO}} \times 4,35 \quad (18)$$

O coeficiente de excesso será:

$$\lambda = \frac{(32\mu_{CO_2} + 16\mu_{H_2O} + 32\mu_{O_2} + 28\mu_{N_2} + 16\mu_{CO})}{3\mu_{CO_2} + 2\mu_{H_2O} + 12\mu_{CO}} \times \frac{1}{4,35} \quad (19)$$

O analisador de Orsat não fornece a porcentagem do nitrogênio μ_{N₂}, a qual é expressa em função da soma das outras obtidas:

$$\mu_{N_2} = 1 - (\mu_{CO_2} + \mu_{H_2O} + \mu_{O_2} + \mu_{CO}) \quad (20)$$

Que levada na expressão (19) de λ, fornece:

$$\lambda = \frac{(4\mu_{CO_2} - 3\mu_{H_2O} + \mu_{O_2} - 3\mu_{CO})}{3\mu_{CO_2} + 4\mu_{H_2O} + 8\mu_{CO}} \times \frac{1}{4,35} \quad (21)$$

Devido à sua natureza inerte, o nitrogênio não participa das reações químicas que ocorrem na combustão. Como consequência, a sua presença produz efeito de abaixamento da temperatura de combustão, dificulta a mistura do oxigênio com o combustível e arrasta calor da combustão no fluxo dos gases para fora da chaminé.

CONCLUSÃO

O presente trabalho descreveu o funcionamento do Aparelho Orsat, que envolve absorção e oxidação seletivas. Ele foi utilizado para detectar dióxido de carbono (CO₂), oxigênio (O₂) e monóxido de carbono (CO) nos gases de exaustão de chaminés. Com os procedimentos nele descritos, é possível analisar a quantidade de poluentes que determinadas plantas de potência estão emitindo à atmosfera.

Com a sua utilização, também é possível calcular a porcentagem da perda de combustão para que sua

eficiência possa ser reconhecida, ou seja, para que não haja perdas na combustão.

REFERÊNCIAS

AMBAUM, M. H. P. - **Thermal Physics of the Atmosphere**, Wiley – Blackwell, 2010.

FRIEDRICH, F. - **Das Glas im Chemischs**, Springer – Verlag, Berlim, 1930.

FRIEDRICH, G. - **Stützerbach, Thüringen**, Deutschland (1960).

PATEL, R.C.; KARAMCHANDANI, C.J. - **Elements of Heat Engines**, ACHARYA Publications (1997)

ORSAT, L. H. - **Annales des Mines**, series 7, t.8, 485 (1875)

SMITH, F.; WAGONER, D. E. – Vol. II – **Gas Analysis for Carbono Dioxide, Excess Air, and Dry Molecular Weight**, U. S. Environmental Protection Agency – EPA Project office – Washington D. C. – february 1974.

WHITE, A. H. - **Technical Gas and Fuel Analysis** 2nd edition, McGraw – Hill Book Company, Inc. 1920.