

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DA FORMAÇÃO DE FULIGEM E DA RADIAÇÃO TÉRMICA NA COMBUSTÃO DE GÁS DE SÍNTESE EM CONDIÇÕES DE MISTURAS POBRES ASSOCIADA À OEC

Lucas Casaes Pimentel Silva, lucas-casaes@hotmail.com¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

¹ Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia (Cimatec, SENAI), Av. Orlando Gomes no., 1845, Piatã, 41650-010 Salvador, BA, Brasil

Resumo: O uso da combustão na atividade industrial e humana continua sendo de suma importância para o desenvolvimento econômico e social. Porém, esse é um processo de grande impacto ambiental, pois emite diversos poluentes para atmosfera como o dióxido de carbono, material particulado, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Portanto, faz-se necessários estudos para que sejam realizados processos de combustões cada vez mais sustentáveis e eficientes. Pensando nisso, tem-se estudado o uso da gaseificação da biomassa que resulta em um combustível conhecido como gás de síntese (syngas), composto em grande parte por hidrogênio e monóxido de carbono, que por ser proveniente da biomassa tem seu efeito em emissões reduzido. Também são realizados estudos na literatura com combustão em condições pobres (lean conditions) que permitem emissões reduzidas. Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um dispositivo experimental, desde a revisão da literatura ao protótipo proposto, para estudar a correlação da utilização do gás de síntese como combustível e a técnica de enriquecimento do ar com oxigênio (OEC) em condições de misturas pobres, em uma chama difusa com regime laminar. A partir dos experimentos será avaliada a emissão de fuligem (material particulado) e de radiação térmica, para concluir se tais técnicas associadas de fato, aumentam a eficiência energética e reduzem a emissão de poluentes na combustão, em um combustível portador de futuro nas aplicações industriais, o gás de síntese proveniente de gaseificação de biomassa..

Palavras-chave: Combustão; Gás de Síntese; OEC; Fuligem; Radiação Térmica; Mistura Pobre.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das maiores preocupações da sociedade vem sendo os impactos que o desenvolvimento industrial causa no meio ambiente. Um dos processos que ao mesmo tempo mais contribui com a poluição da atmosfera e mais é usado em atividades industriais é a combustão. Esse processo pode emitir diversos tipos de poluentes como o dióxido de carbono (CO₂), material particulado, óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis. Diante da preocupação com o meio ambiente e a eficiência do processo de combustão, diversas técnicas vem sendo estudadas para diminuir a quantidade de poluentes e aumentar a eficiência térmica dos equipamentos. Além dessa estratégia, vem se estudando o uso de diversos combustíveis como os biocombustíveis renováveis.

Na última década, uma técnica que vem sendo bastante difundida é a combustão enriquecida de oxigênio (OEC). O ar naturalmente possui uma fração de aproximadamente 21% de oxigênio na base volumétrica, portanto, durante a combustão apenas 21% do volume de ar reage com o combustível. Tendo isso em vista, são válidas as tentativas de aumentar a eficiência da combustão enriquecendo o ar de oxigênio, pois assim, com o mesmo volume de ar, poderão ser oxidadas mais moléculas de combustível.

Segundo Baukal Jr. (1998) na maioria dos casos, queimadores podem ser utilizados sem nenhuma modificação com ar enriquecido de até 7% de oxigênio, ou seja, ar com 28% de O₂. Frações de até 30% de oxigênio no ar podem ser utilizadas em equipamentos industriais genéricos com apenas algumas pequenas modificações. Em alguns casos também são utilizados altos níveis de enriquecimento com a fração de oxigênio no ar passando de 90%, nesses casos são necessários equipamentos especiais específicos para esse tipo de combustão.

Baukal Jr. (1998) também trata dos efeitos do enriquecimento do ar de combustão por oxigênio na eficiência energética como a temperatura de chama, que aumenta com o acréscimo de O₂ no ar devido a redução da concentração

de nitrogênio no ar, que funciona como um diluente e reduz a temperatura da chama. A temperatura de chama adiabática da queima do metano, por exemplo, aumenta de 2300 para 3000K quando se substitui ar por oxigênio puro. Além disso, a temperatura dos combustíveis para ignição com OEC é reduzida assim como a energia de ignição requerida para manter a combustão, enquanto os limites de flamabilidade dos combustíveis são aumentados.

No que se diz respeito aos aspectos ambientais, a utilização do OEC também trás vantagens. As combustões com enriquecimento do ar por oxigênio produzem um volume significativamente menor de poluentes liberados na atmosfera, isso ocorre devida a maior disponibilidade de oxigênio no oxidante, aumentando a eficiência da combustão e consequentemente liberando menos poluentes (Santos, 2010).

Salzano et al. (2011) estudaram experimentalmente e computacionalmente explosões de gás de síntese diluído com CO_2 utilizando a técnica do enriquecimento do ar com oxigênio. Os resultados obtidos foram que como esperado, o aumento da concentração oxigênio aumentou a reatividade da mistura, enquanto o dióxido de carbono gerou um efeito inverso, diminuindo também a temperatura da chama. Outro fator observado foi que a razão de equivalência não alterou o comportamento da explosão.

Razão de equivalência é um parâmetro indicador do excesso ou falta de ar no processo de combustão. Ela é calculada pela relação entre a razão ar-combustível estequiométrica e real, caso a razão de equivalência seja maior que 1, caracteriza-se uma mistura rica, caso menor que 1 uma mistura pobre e caso igual a 1 mistura estequiométrica. Combustão em condições de mistura pobre são os processos onde há excesso de ar na mistura. Esse tipo de processo é muito comum em motores de combustão interna, caldeiras, turbinas a gás, dentre outros equipamentos de combustão. O uso da mistura pobre traz diversas vantagens como a redução da emissão de poluentes, e o aumento da eficiência da combustão, pois com mais ar disponível torna-se mais provável que se obtenha uma combustão completa, consequentemente reduzindo a emissão de monóxido de carbono (CO) para a atmosfera. Com o excesso de ar também reduz-se a temperatura da chama, o que implica em uma menor formação de NO_x (Dunn-Rankin, 2008).

O gás de síntese é um gás combustível obtido do processo de gaseificação de compostos orgânicos, principalmente da biomassa e do carvão. Os produtos desse processo são basicamente monóxido de carbono e gás hidrogênio, além desses dois compostos é comum a presença do dióxido de carbono. Por ser proveniente da biomassa tem seu efeito em emissões reduzido pelo encadeamento do ciclo do carbono com o balanço da emissão/absorção do CO_2 . Esse gás pode ser utilizado em diversos setores da engenharia, mas principalmente para a geração de energia elétrica no Ciclo Combinado e para a síntese de outros combustíveis utilizando-se do processo Fischer-Tropsch.

A composição do gás de síntese é bastante variável e vai definir diversas propriedades do gás combustível. Essa composição depende basicamente da matéria-prima e do processo de gaseificação utilizados. Ciferno e Marano (2002) estudaram a gaseificação da biomassa com diferentes condições de operação assim como Chang *et al.* (2011) e Schlittler *et al.* (2009). Apesar dos valores encontrados pelos autores não convergirem, pode-se afirmar que o gás de síntese tem uma razão de H_2/CO que varia em média de 0,2 a 1,6.

Por se tratar de um combustível proveniente da biomassa o gás de síntese tem seu efeito em emissões reduzido pelo encadeamento do ciclo do carbono com o balanço da emissão/absorção do CO_2 . Ou seja, a combustão desse gás resulta numa menor quantidade de exaustos como CO_2 e fuligem. A presença do hidrogênio no combustível também suprime a formação da fuligem (Liu *et al.*, 2014).

A fuligem consiste em particulados sólidos compostos basicamente de carbono que se formam durante a combustão ao longo da chama. Esse particulado é um dos mais perigosos componentes tóxicos presentes nos gases de exaustão. Além disso, a fuligem é prejudicial para as pás de turbinas usadas para geração de energia ou nos motores de aviões a jato, que normalmente são danificadas na presença dessas partículas (Skeen *et al.*, 2010).

Sánchez et al. (2013) estudaram a influência da temperatura de combustão e da adição de O_2 na formação de fuligem e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon ou PAH em inglês), um dos principais precursores da fuligem, a partir do acetileno e os autores observaram que na temperatura máxima estudada (1223 K) o aumento da concentração de oxigênio causou uma redução de PAH, fuligem e benzeno.

Yilmaz e Donaldson (2007) fizeram experimentos com motores a diesel para avaliar a formação de PAH em função da razão de equivalência e da temperatura do ar admitido no motor. Os autores observaram que a produção de PAH tinha seu mínimo em condições estequiométricas. Ao tornar a mistura rica ou pobre, aumentava-se a formação de PAH.

A radiação térmica é o principal meio de transferência de calor. Esse tipo de transferência de calor é causado por ondas eletromagnéticas ou fótons e ocorre praticamente em todo momento, quando materiais emitem ou absorvem essas ondas ou partículas. Em processos de combustão o estudo da radiação térmica se torna mais importante devido ao fato que em altas temperaturas a transferência de calor por radiação térmica é mais aparente (a transferência de calor é proporcional à diferença de temperatura na quarta potência). Durante a combustão, a transferência de calor por radiação é afetada fortemente pelas partículas e gases da combustão que emitem e espalham as ondas eletromagnéticas aumentando a energia transportada por essas ondas. Essa interação é chamada de radiação em meios participantes.

As principais partículas que afetam a transferência de calor na combustão são os particulados de fuligem. Modest (2003 apud Santos, 2010) fez experimentos que mostraram que a emissão proveniente da fuligem é significativamente maior do que a emissão pelos gases de combustão. Portanto, pode-se concluir que em processos de combustão, a radiação térmica emitida e a transferência de calor estão intimamente ligadas à concentração de fuligem na chama.

Para Ilbas (2004), mesmo em condições de combustão sem a presença de fuligem, a radiação térmica ainda é um importante modo de transferência de calor, principalmente em combustíveis compostos por hidrocarbonetos, que tem como produtos da combustão CO , CO_2 e H_2O , substâncias que possuem grande capacidade de absorção e emissão de ondas na região próxima ao infravermelho.

Safer et al. (2013) simularam uma chama difusa de gás de síntese e concluíram que o aumento da concentração de hidrogênio no combustível proporciona uma chama com menor emissão de radiação térmica e menor liberação de dióxido de carbono devido a menor presença de carbono no reagente. Kobayashi et al. (2013) concluíram que a intensidade da radiação liberada por chamas de gás de síntese foi de 1,6 vezes maiores do que a de chamas de metano/ar esse fenômeno ocorreu devido à concentração de CO_2 no reagente que é uma espécie altamente radiativa.

Não foi encontrado na literatura trabalhos que estudem a emissão de radiação térmica e formação de fuligem em chamas de gás de síntese utilizando OEC em condições de misturas pobres. Para tanto trabalhos sobre o assunto devem ser explorados. Portanto, o objetivo do trabalho é explorar esse tema. A formação de fuligem e sua influência na radiação térmica será efetiva com a associação da OEC e condições pobres na queima de gás de síntese? Isso é o tema principal de pesquisa que o trabalho em questão pretende começar a avaliar.

Uma breve revisão da literatura sobre o tema foi apresentada e ainda será apresentado o desenvolvimento de um dispositivo experimental para o estudo da emissão de fuligem e radiação térmica em uma chama difusa com regime laminar correlacionando a utilização do gás de síntese como combustível e a técnica de enriquecimento do ar com oxigênio (OEC) em condições de misturas pobres.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Dispositivo Experimental

O dispositivo consiste em uma bancada provida de rodízios para melhor deslocamento pelo laboratório, sobre ela estarão dispostos: o queimador, com um sistema de deslocamento vertical, suportes para o laser, o fotodetector e radiômetro e um equipamento de exaustão de gases. Além disso, o dispositivo é composto de dois pré-misturadores posicionados embaixo do queimador e tubos conectando as partes. A Fig. 1 mostra o fluxograma que ilustra o funcionamento do dispositivo e um modelo em SolidWorks do dispositivo é mostrado na Fig. 2.

A bancada foi desenvolvida para promover a pré-mistura de oxigênio, hidrogênio e inertes, simulando a composição de gás de síntese provenientes da gaseificação de biomassa. As composições foram de tal forma determinadas, para que as misturas as serem queimadas apresentem composição da gaseificação de biomassa do tipo madeira. Como descrito nos itens a seguir, os regimes de escoamento dos jatos de combustível e oxidante estão no regime laminar. Os níveis de enriquecimento com oxigênio serão baixos, com níveis entre 2 a 4%, permitindo operação em equipamentos que operam com ar atmosférico com poucas mudanças com *retrofit*. As razões de equivalência utilizadas, detalhadas a frente, estão em condições de misturas pobres, condições estas utilizadas para diminuir o impacto de emissões dos processos de combustão.

A expectativa é que a bancada traga a partir do estudo de chamas com estruturas mais simples – chama aberta e em regime laminar – um melhor entendimento físico do que ocorre na formação de fuligem e radiação térmica com a interação da OEC e condições de mistura pobre na queima de gás de síntese. Como a gaseificação de biomassa pode ser uma fonte de combustível alternativa aos combustíveis fósseis não renováveis, estudos correlacionados ao gás de síntese produzido nesse processo tornam-se importantes para o entendimento da estrutura de chama, aspectos energéticos e de perfis de emissões.

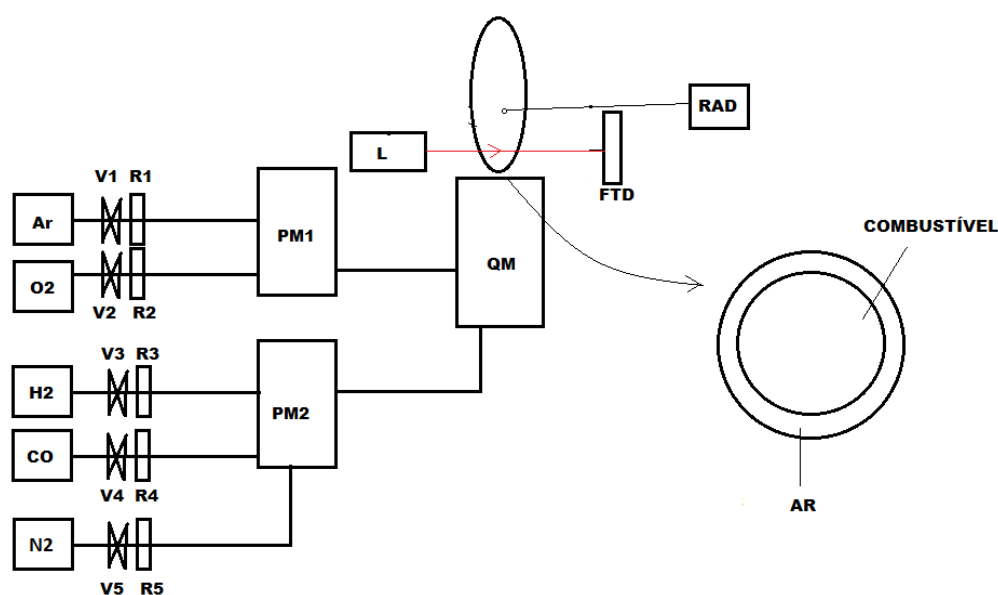


Figura 1. Fluxograma do funcionamento do dispositivo experimental (PM: Pré Misturadores; QM: Queimador; L: Laser; FTD; Fotodetector; RAD: Radiômetro; V: Válvulas; R: Rotômetros). Fonte: Própria.

Para melhor detalhamento, o sistema será dividido em três partes:

- Equipamentos de Pré-Mistura e Queima;
- Sistema de Alimentação de Gases;
- Instrumentação.

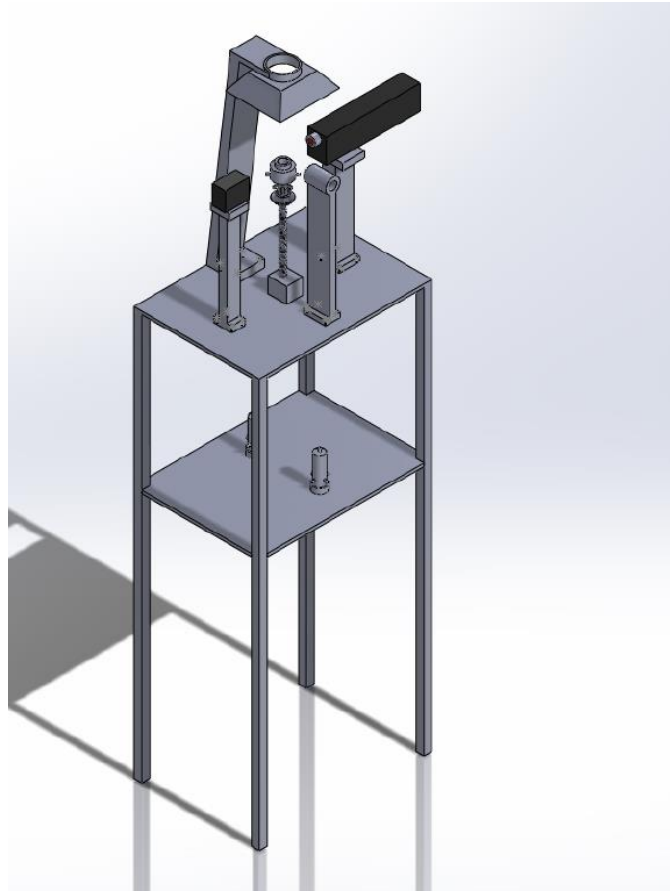


Figura 2. Vista Isométrica do modelo em SolidWorks do dispositivo. Fonte: Própria.

2.1.1. Equipamentos de Pré-Mistura e Queima

O dispositivo possui três equipamentos nesta seção, sendo eles dois pré-misturadores (PM1 e PM2) e um queimador (QM).

Os pré-misturadores têm a função de misturar gases antes da combustão. Um deles mistura gás hidrogênio com monóxido de carbono e nitrogênio para simular o gás de síntese proveniente da gaseificação da biomassa. O outro mistura o ar atmosférico com o gás oxigênio. Ambos possuem quatro bocais de alimentação e um para descarga do ar enriquecido ou do gás de síntese.

O queimador foi projetado para a queima do gás de síntese com ar enriquecido com um escoamento anular coaxial. O dispositivo possui seis bocais de entrada, quatro anguladas em 45° e duas perpendiculares. Os bocais em 45° são para entrada de combustível, a angulação é necessária para que o combustível entre no queimador de forma mais suave, enquanto os perpendiculares para entrada de ar. O escoamento do combustível acontece no centro do queimador enquanto o ar escoar nas margens, promovendo assim um arrasto do combustível com o ar fazendo ambos se misturarem fora do queimador, caracterizando uma chama difusa. Os gases de exaustão são succionados pela coifa que será conectada a um mangote que direcionará os exaustos para fora do recinto.

O queimador está montado em um dispositivo para deslocamento vertical com a utilização de engrenagens e parafuso sem fim para que o laser e o radiômetro possam fazer uma varredura completa de uma chama com até 250 mm.

2.1.2. Sistema de Alimentação de Gases

A alimentação dos gases é composta por cinco linhas de gases: Linha de Hidrogênio (H₂), Linha de Monóxido de Carbono (CO), Linha de Nitrogênio (N₂), Linha de Ar e Linha de Oxigênio (O₂).

As linhas de H_2 , CO e N_2 são utilizadas para simular o gás de síntese, sendo o hidrogênio e o gás carbônico os combustíveis e o nitrogênio o gás inerte. Elas alimentam um dos pré-misturadores para serem misturados nas proporções desejadas e em seguida alimentarem o queimador. As linhas de ar e O_2 transportam o ar para o outro pré-misturador que gera o ar enriquecido que segue para o queimador para formar uma barreira coaxial ao redor do fluxo de combustível.

Todos os gases são armazenados em cilindros e transportados em mangueiras plásticas, conectadas com os pré-misturadores e queimadores por engates rápidos para mangueiras.

2.1.3. Instrumentação

A instrumentação do dispositivo consiste em equipamentos para medição da concentração de fuligem, emissão de radiação térmica e a vazão dos gases.

Para medir a concentração de fuligem, foi utilizado um laser e um fotodetector. O laser é do tipo He-Ne, com 3 mW de potência fabricado pela Meredith Instruments. O equipamento é montado em um suporte fixo na bancada alinhado com o fotodetector do outro lado da chama.

O fotodetector recebe os sinais de radiação emitidos pelo laser após passar pela chama e transforma esse sinal de luz em um sinal de tensão. Com esse sinal que emerge da chama o fotodetector calcula a intensidade de luz absorvida para a medida indireta da concentração da fuligem. Para isso esses equipamentos possuem filtros com o comprimento de onda do laser impedindo a interferência da radiação que é emitida pela chama.

A radiação térmica é medida com a utilização de radiômetros apoiados em suportes fixos na bancada. O equipamento detecta radiação por todo comprimento longitudinal da chama na faixa espectral de 0,6 a 3 μm , onde a fuligem tem grande influência na transferência de calor. O elemento de detecção (janela) é construído em safira, sendo resfriado com água e protegido de impurezas por um jato de ar. A faixa de medição é de 0 a 10 kW/m² com uma incerteza de 3%. O radiômetro é fabricado pela MEDTHERM modelo 64P-1-22.

Para medição da vazão dos gases serão utilizados cinco rotâmetros. Tais equipamentos são calibrados para medir a vazão de ar, que é o gás de referência, fazendo-se necessárias correções nas leituras de vazão dos demais gases.

2.2. Procedimento Experimental

Para criar o procedimento experimental foi necessário definir qual a fração de hidrogênio, monóxido de carbono e nitrogênio que seria usada para simular o gás de síntese proveniente da gaseificação da biomassa. Após o estudo do estado da arte notou-se que essa composição é bastante variável com razões de H_2/CO variando de aproximadamente 0,2 até 1,6. Portanto, para esse trabalho foi determinado que a composição típica do gás de síntese seria definida a partir dos valores médios encontrados na literatura para o gás de síntese proveniente da gaseificação da biomassa. Obtendo-se 14,075% de H_2 e 19,1125% de CO (razão H_2/CO aproximadamente 0,7), sendo o restante gás inerte como o nitrogênio. Também devem ser realizados experimentos com razões H_2/CO de 1,2 e 1, a fim de simular diversos tipos de gás de síntese.

O procedimento experimental consiste na medição da concentração de fuligem e da emissão de radiação térmica ao longo do comprimento longitudinal da chama em dezoito diferentes condições:

- Com ar atmosférico, composição do gás de síntese típico da gaseificação da biomassa e razão de equivalência variando de 0,7; 0,9 e 1.
- Com ar enriquecido de oxigênio em 2%, composição do gás de síntese típico da gaseificação da biomassa e razão de equivalência variando de 0,7; 0,9 e 1.
- Com ar enriquecido de oxigênio em 4%, composição do gás de síntese típico da gaseificação da biomassa e razão de equivalência variando de 0,7; 0,9 e 1.
- Com ar enriquecido de oxigênio em 9%, composição do gás de síntese típico da gaseificação da biomassa e razão de equivalência variando de 0,7; 0,9 e 1.
- Com ar atmosférico, composição do gás de síntese com 20% H_2 , 20% CO e 60% N_2 e razão de equivalência variando de 0,7; 0,9 e 1.
- Com ar atmosférico, composição do gás de síntese com 30% H_2 , 25% CO e 45% N_2 e razão de equivalência variando de 0,7; 0,9 e 1.

Para os cálculos de vazão, a vazão de combustível ficou fixada em 50L/h, enquanto as vazões de oxidante variaram a depender da razão de equivalência adotada em cada teste. A razão de equivalência é a razão entre a relação ar-combustível estequiométrica e a usada no experimento e é utilizada para caracterizar a mistura ar-combustível como: pobre, rica ou estequiométrica. Ela é definida em Turns (1996) como mostra a Eq. (1):

$$\Phi = \frac{(A/F)_{\text{estequiométrico}}}{(A/F)_{\text{real}}} \quad (1)$$

Para esse estudo, como uma das técnicas utilizadas é a de condições pobres, utilizam-se razões de equivalência menores do que 1.

O número de Reynolds foi calculado para todas as vazões com a Eq. (2):

$$Re = \rho \frac{VD}{\mu} \quad (2)$$

Onde ρ é a massa específica do fluido, V a velocidade de escoamento, D o diâmetro do tubo e μ a viscosidade dinâmica do fluido (Fox, 2001). Para o gás de síntese foram utilizados $\rho = 1,02 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 4,29 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$.

Todos os resultados para o número de Reynolds são valores menores do que 2300, caracterizando o escoamento dos jatos como laminar. A Tabela 1 resume as faixas de vazões calculadas para cada gás.

Tabela 1. Resumo das Faixas de Vazões Utilizadas

Gás	Faixa de Vazão (L/h)
Oxigênio	0,91 – 4,6
Ar	24,51 – 93,54
Hidrogênio	7,04 – 15
Monóxido de Carbono	9,56 – 12,5
Nitrogênio	22,5 – 33,41

3. CONCLUSÕES

O trabalho apresenta o início da pesquisa com uma revisão da literatura e o desenvolvimento da bancada experimental. A partir da fabricação da bancada serão realizados os ensaios experimentais para verificar a interação entre a OEC e as condições de mistura pobre na queima de gás de síntese. Os resultados da pesquisa e ensaios serão apresentados em trabalhos futuros. Podem-se destacar as seguintes características do dispositivo:

- Fácil deslocamento da bancada devido aos rodízios;
- Controle da fração volumétrica de cada gás no combustível e no oxidante;
- Análise da concentração da fuligem e emissão de radiação térmica em todo comprimento longitudinal da chama.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao SENAI CIMATEC pelo apoio financeiro e tecnológico.

5. REFERÊNCIAS

- Baukal Jr., C.E. Oxygen-Enhanced Combustion. 1st ed. New York: CRC Press, 1998, 369p.
- Chang, A.C.C., Chang, H., Lin, F., Lin, K., Chen, C., 2011, “Biomass gasification for hydrogen production”, International Journal of Hydrogen Energy, pp. 14252-14260.
- Ciferno, J.P., Marano, J.J. Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production. 2002. 58 p.. U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory.
- Dunn-Rankin, D., 2007, “Lean Combustion: Technology and Control”, 1st ed., Elsevier, 280 p.
- Fox, R.W., MacDonald, A.T., 2001, “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, 5^a ed., Livros Técnicos e Científicos – LTC, 884 p.
- Ilbas, M., 2004, “The effect of thermal radiation and radiation models on hydrogen-hydrocarbon combustion modelling”, International Journal of Hydrogen Energy, pp. 1113-1126.
- Kobayashi, H., Otawara, Y., Wang, J., Matsuno, F., Ogami, Y., Okuyama, M., Kudo, T., Kadowaki, S., 2013, “Turbulent premixed flame characteristics of a CO/H₂/O₂ mixture highly diluted with CO₂ in a high-pressure environment”, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 34, pp. 1437-1445.
- Liu, F., Ai, Y., Kong, W., 2014, “Effect of hydrogen and helium addition to fuel on soot formation in an axisymmetric coflow laminar methane/air diffusion flame”, International Journal of Hydrogen Energy, pp. 3936-3946.
- Modest, M.F. Radiative Heat Transfer. 2a ed. New York: Academic Press, 2003, 822p.
- Safer, K., Tabet, F., Ouadha, A., Safer, M., Gökalp, I., 2012, “Simulation of a syngas counter-flow diffusion flame structure and NO emissions in the pressure range 1-10 atm”, Fuel Processing Technology, pp. 149-158.
- Salzano, E., Basco, A., Cammarota, F., Di Sarli, V., Di Benedetto, A., 2011, “Explosions of Syngas/CO₂ Mixtures in Oxygen-Enriched Air”, Industrial & Engineering Chemistry Research, pp. 7671-7678.

- Sánchez, N.E., Callejas, A., Millera, A., Bilbao, R., Alzueta, M.U., 2013, "Influence of the Oxygen Presence on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Formation from Acetylene Pyrolysis under Sooting Conditions", *Energy & Fuels*, pp. 7081-7088.
- Santos, A.A.B. Investigação do uso da combustão enriquecida com O₂ em chamas confinadas de gás natural. 2010. 247 p. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2010.
- Schlittler, L.A.F.S., Gomes, E.B., Antunes, A.M.S., Pereira Jr., N., 2009, "Gaseificação de biomassa", *Diálogos & Ciência*, Vol. 3, No. 11, pp. 114-122.
- Skeen, S.A., Yablonsky, G., Axelbaum, R.L., 2010, "Characteristics of non-premixed oxygen-enhanced combustion: II. Flame structure effects on soot precursor kinetics resulting in soot-free flames", *Combustion and Flame*, pp. 1749-1752.
- Turns, S.R., 1996, "An Introduction to Combustion - Concepts and Applications", 1st ed. Singapore: McGraw-Hill Int. Editions, 543 p.
- Yilmaz, N., Donaldson, A.B., 2007, "Evidence of PAH production under lean combustion conditions", *Fuel*, Vol. 86, pp. 2377-2382.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF SOOT FORMATION AND THERMAL RADIATION IN SYNGAS COMBUSTION IN LEAN CONDITIONS WITH OEC

Lucas Casaes Pimentel Silva, lucas-casaes@hotmail.com¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

¹SENAI CIMATEC, Orlando Gomes Avenue, 1845, Piatã, ZIP code: 41650-010, Salvador/Bahia/Brazil.

Abstract. The use of combustion in industrial and human activity continues to be of paramount importance for economic and social development. However, this is a process of great environmental impact because emits various pollutants into the atmosphere as CO₂, particulate matter, NO_x and volatile organic compounds. Therefore makes it necessary studies so that combustion processes are made more sustainable and efficient. With this concern the use of biomass gasification has been studied for obtaining a fuel known as synthesis gas (syngas), largely composed of hydrogen and carbon monoxide, which is derived from biomass so has its effect on reduced emissions. They are also conducted with combustion in lean conditions that allow reduced emissions. In this context, this paper aims to present the development of an experimental device to evaluate soot formation and thermal radiation emission in a syngas diffusion flame with laminar flow using of air enrichment technique with oxygen (OEC) and lean conditions.

Keywords: Combustion; Syngas; OEC; Soot; Thermal Radiation; Lean Conditions.