



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE CALDEIRA SUPERADIABÁTICA EM MEIO POROSO

Leandro Leite Almeida, leandroleitealmeida@gmail.com

Mônica Veras Martins, monicavm@outlook.com

João Batista Furlan Duarte, furlan@unifor.br

Universidade de Fortaleza, Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz, 60811-905, Fortaleza-Ce

Resumo: Queimadores Porosos são uma tecnologia de combustão avançada em que uma mistura de combustível e oxigênio é queimada dentro de uma matriz porosa, proporcionando condições favoráveis para a queima de misturas pobres. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um queimador poroso para ser utilizado como uma caldeira super-adiabática. Os meios porosos podem ser utilizados em secagem de papel, processamento do vidro, cura de revestimentos, em aquecimento de ambientes e preparação de alimentos. Eles são atraentes devido às suas baixas emissões de poluentes e às altas taxas de reação da combustão em meios porosos, assim diminuem a liberação de gases provenientes de reação incompleta (CO_2 , NO_x). Devido a recirculação de calor, este é conservado dentro do meio poroso logo o consumo de combustível e a liberação de poluentes é menor se comparado com o convencional. O queimador testado funciona por meio da combustão realizada com gás liquefeito do petróleo (GLP) e ar comprimido. O meio poroso é formado por esferas de alumina (Al_2O_3) buscando uma melhor recirculação de calor. Para a confecção da serpentina foi utilizada uma tubulação de cobre, cuja é responsável pelo fluxo de água no interior do queimador. Foram obtidas as vazões mínimas de GLP e ar comprimido, para proporcionar a mudança de fase da água para o estado vapor e analisadas as temperaturas internas durante este processo. Por fim, através da teoria pode-se calcular a quantidade de combustível e ar utilizado pelo queimador poroso.

Palavras-chave: Caldeira Super-adiabática, Meio Poroso, Queimador poroso.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Mueller (2011), queimadores porosos são uma tecnologia metodológica de combustão avançada em que uma mistura de combustível e oxigênio é queimada dentro de uma matriz porosa proporcionando condições favoráveis para combustão de misturas pobres.

Os queimadores podem ser classificados como dois tipos: convencionais, onde a combustão ocorre de maneira livre, sem um meio para interferir, e queimadores com meios porosos, onde a combustão é realizada dentro de um meio no qual apresenta poros, interferência. Essa estrutura pode ser constituída por material metálico poroso ou esponja cerâmica porosa. De acordo com Howell et al., 1996, a combustão em meio poroso apresenta elevada condutividade térmica devido à mistura ar e combustível ser pré-aquecida antes da zona de combustão e um grande potencial de radiação térmica devido ao efeito denominado de recirculação de calor.

Este trabalho tem como objetivo descrever o funcionamento do queimador em meio poroso, desenvolver uma nova aplicação, ser utilizado em caldeiras e determinar qual a vazão mínima para o bom funcionamento desse novo dispositivo.

2. CONCEITOS BÁSICOS

Segundo Catapan (2005), o processo de combustão em um meio poroso pode ser exemplificado por meio da Figura 1. O combustível e ar se misturam antes de entrar na matriz porosa e estes gases possuem uma temperatura inicial, ao momento em que a mistura entra em contato com o material cerâmico. O combustível e ar são aquecidos devido à troca de calor com a fase sólida. No momento que ocorre à ignição dos reagentes, o calor gerado pela reação química é apresentado em forma de radiação, devido à chama estar presente no meio, e condução por meio da matriz porosa

sólida, ocorrendo assim um balanceado entre condução e radiação, e este efeito permite que as temperaturas desse meio superam a temperatura adiabática. Os produtos da combustão escapam na direção da saída da Caldeira, aquecendo o meio poroso que, por sua vez, irradia e conduz calor para as regiões mais frias antes da chama.

A vantagem do aquecimento radiante sobre o convectivo é a sua maior eficiência, devido à transferência de calor não é necessário o contato direto dos gases com a superfície a ser aquecida, assim proporcionando um aquecimento mais rápido. Logo, ao entrar no meio poroso, a temperatura do sólido é maior que a temperatura dos reagentes, portanto, o combustível e ar são aquecidos pela matriz sólida. Em um determinado ponto, devido à reação de combustão, a temperatura dos gases supera temperatura do meio poroso, assim faz com que os gases passem a aquecer o sólido.

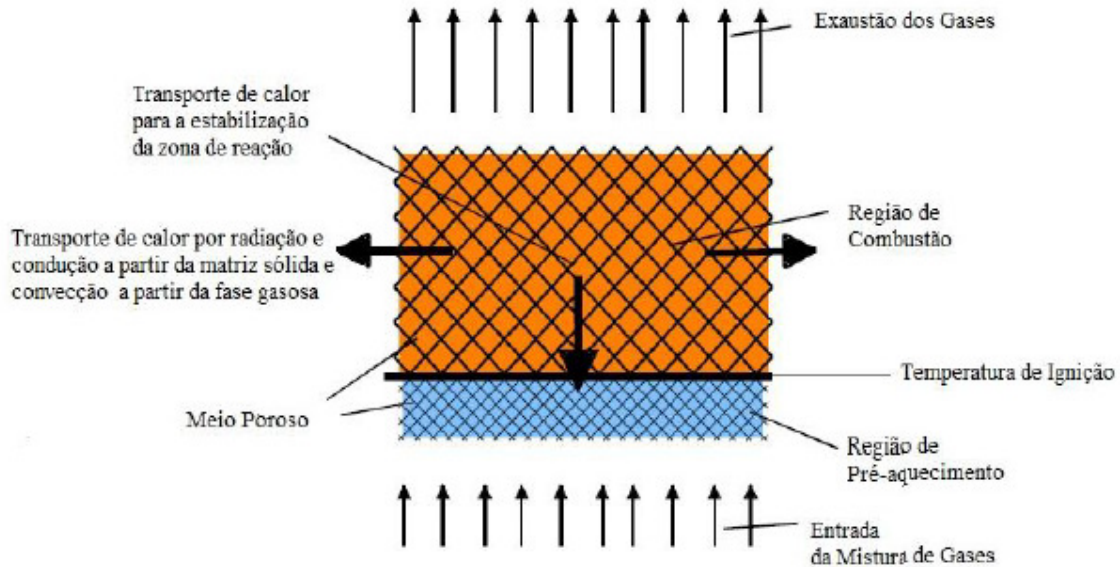


Figura (1) - Esquema de um queimador poroso de duas camadas.

“Um dos principais estudos despertados no queimador poroso é, se possível, a utilização de uma estrutura porosa cerâmica ou metálica, aumentar a eficiência da combustão, conseguindo maiores temperaturas de chama e possibilitando a queima de misturas pobres em combustível” (Pereira et al., 2002). Por meio desta propriedade é calculada a razão de equivalência entre a mistura combustível e ar. Esta propriedade é definida como a quantidade de reagente presente no queimador poroso e a mesma quantidade para uma combustão estequiométrica completa Eq (1) e Eq (2).

$$f = \frac{mc}{ma} \quad (1)$$

$$f = \frac{fr}{fs} \quad (2)$$

Os fluxos mássicos de ar representado por ma e combustível mc , sendo fr e fs relação real e estequiométrica respectivamente. “Se o valor for unitário significa que a mistura está em condições estequiométricas. Para valores menores que 1 a mistura é dita pobre, ou com excesso de ar. Para os valores maiores que 1, a mistura é dita rica, ou com excesso de combustível.” (Catapan, 2005).

Segundo Pereira (2002), a velocidade da chama é uma propriedade que está intimamente ligada à relação de equivalência da chama. Para uma chama em matriz porosa, esta apresenta várias velocidades de chama para várias razões de equivalência se comparada com a chama livre, possuindo uma velocidade de chama para uma razão de equivalência. O cálculo da velocidade de chama é demonstrado por meio da Eq (3), cuja variável u é a velocidade da chama, V é a vazão dos reagentes e A é denominada área da seção transversal em que os gases escoam.

$$u = \frac{V}{A} \quad (3)$$

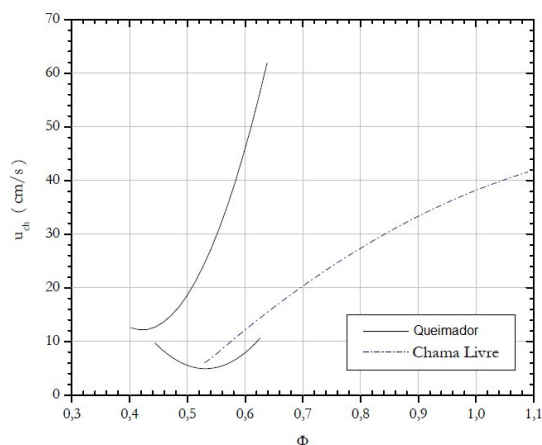


Figura (2) – Comparação entre uma combustão de chama livre e uma combustão em um queimador poroso de Mujeebu et al., 2010.

Queimadores porosos são mais eficientes que queimadores convencionais de chama livre em razão da presença de um meio poroso, desta forma, na reação de combustão utiliza-se menos combustível e mais ar, ou seja, uma relação de equivalência menor que 1, isto ocorre devido a recirculação de calor, e devido a este efeito tem uma baixa emissão de poluentes, e por este motivo tem ganhado relevância em estudos recentes.

Por meio da reação de combustão em uma matriz porosa ocorre a diminuição da liberação de gases provenientes de uma reação incompleta. “Devido à recirculação de calor, o calor é conservado dentro do meio poroso assim o consumo de combustível e a liberação de poluentes (CO_2 , NO_x) é menor se comparado com o convencional.” (PEREIRA *et al*, 2002).

A caldeira objeto deste estudo, é constituída basicamente pelo meio poroso e uma serpentina em formato helicoidal que conduz a água. Esta configuração permite o aproveitamento das altas taxas de transferência de calor por condução e radiação (intrameio) entre o queimador e a serpentina d’água. A Figura 1 mostra uma concepção básica do sistema proposto. Ressalta-se que, como o foco deste trabalho é a análise do comportamento do meio poroso, não é utilizado um trocador de calor gás/líquido para recuperar a energia térmica dos gases de saída.

3. DESENVOLVIMENTO

Para a construção, foi utilizado um cilindro de 79mm de diâmetro interno e 288mm de altura. Na parte externa do queimador foi colocado um tubo de cobre em forma helicoidal e isolado termicamente por uma lã de vidro, conforme a Fig. (3). A tubulação de cobre na Fig. (4) é acoplada a uma mangueira que fornece água para a tubulação para que ocorra a transferência de calor entre o queimador poroso e a água. Foram utilizados termopares do tipo K, Fig. (5), para mensurar a temperatura interna da caldeira e do vapor de água. Os dados da temperatura foram adquiridos através de um coletor de dados da marca *datataker*®.



Figura (3) - Caldeira Super-adiabática porosa de Autor, 2016.



Figura (4) - Tubulação de cobre de Autor, 2016.

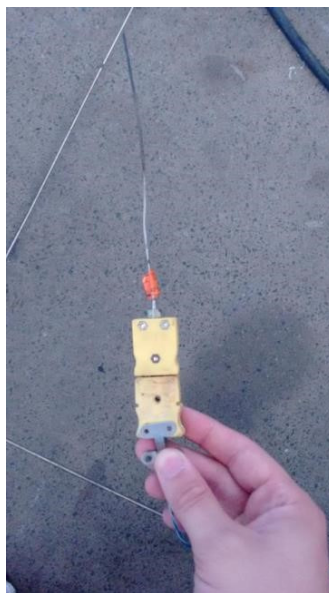


Figura (5) - Termopares do tipo K de Autor, 2016.

Realizou-se o cálculo da vazão mínima de ar e gás LP que seriam necessários no queimador; para realizar a transferência de calor entre o queimador e a tubulação de cobre consequentemente proporcionando a formação de vapor de água no trocador e manter a combustão, pela Equação (4).

$$Q = \frac{v_f - v_i}{t} \quad (4)$$

Segundo Francisco Jr, 2006, a configuração de camisa d'água ao redor do queimador poroso, há um melhor aproveitamento da transferência de calor entre a matriz porosa e a água devido a transferência ocorrer por radiação e condução térmica.

4. METODOLOGIA

Como metodologia utilizada, o queimador funciona por meio da combustão realizada com GLP e ar comprimido. Inicialmente, o ar comprimido passa por uma medição volumétrica e depois por uma válvula de controle fino para ser realizado o controle da vazão a ser injetada na caldeira, o GLP, por sua vez, possui outra válvula de controle fino e a injeção de ar e GLP ocorrem na parte inferior do queimador. Verificou-se ainda, o ângulo de abertura necessário para a vaporização da água. O meio poroso é formado de alumina (Al_2O_3) e foi utilizada uma tubulação de cobre como trocador de calor, a qual é responsável pelo fluxo de água no queimador.

A chama é acesa manualmente na parte superior do queimador, para cada vazão de combustível e ar, esperou-se a chama estabilizar com uma variação de 5°C a 20 minutos, sem a alteração da altura da chama no interior do queimador.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

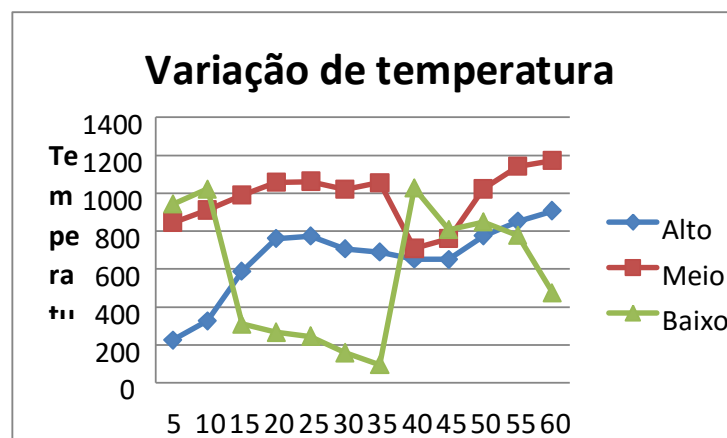
Por meio dos testes, foi observada a vazão volumétrica de gás e ar necessárias para a evaporação da água, à temperatura ambiente em um queimador poroso. As vazões que apresentaram melhor rendimento na combustão em meios porosos foram de $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ para o gás LP e $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ para o ar. Constatou-se que para um longo período de funcionamento do queimador poroso e vazões maiores, foi possível obter a água em estado de vapor seco com variações na temperatura, conforme Tabela (1).

Tabela (1): Temperaturas do Vapor de Saída da Caldeira.

Tempo (Min)	Vapor ($^\circ\text{C}$)
5	112
10	151
15	108
20	111
25	140
30	106
35	135
40	108
45	89
50	80
55	190
60	197

Para o meio poroso, as variações da temperatura interna devido a transferência de calor entre o queimador e a tubulação de cobre podem ser observadas na Fig. (6).

Figura (6): variação de temperatura no meio poroso.



6. CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho foi possível mostrar a construção e desenvolvimento de uma caldeira em meios porosos, e através das medições experimentais verificar os volumes de combustível e ar necessários ao funcionamento do queimador poroso. Este apresentou temperaturas oscilantes que podem não ser interessantes para o pleno funcionamento de uma caldeira em uso comercial. No entanto, uma caldeira em meios porosos pode consumir menos combustível que uma caldeira convencional devido ao efeito de recirculação de calor. Para sua melhora necessita-se de elevar a pressão da água para torna-la semelhante ao funcionamento normal de uma caldeira, e refazer os cálculos da vazão mássica de gás LP, ar e água para realizar a transferência de calor necessária.

7. AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são para o professor orientador João Batista Furlan Duarte, pelas instruções para elaboração do artigo, ao Núcleo de Tecnologia da Combustão pelos equipamentos fornecidos e ao CNPq pelo apoio financeiro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Catapan, R.C., Pereira, F.M., Oliveira, A.M., Brisot, G., Moser, R.H. Desenvolvimento de um queimador poroso radiante para testes de inflamabilidade superficial de materiais. Rio oil & gás expo and conference, 2006.
- Howell, J.R.; Hall, M.J.; Ellzey, J.L. Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media. Prog. Energy Combustion Science, v. 22, p. 121-145, 1996.
- Mueller, K.T. Super-adiabatic Combustion in Porous Media with Catalytic Enhancement for Thermoelectric Power Conversion, 2011.
- Mujeebu, M.A; Abdullah, M.Z; Bakar, M.Z.A; Mohamed, A.A; Muhad, R.M.N. e Abdullah, M.K. Combustion in the porous media and its applications – A comprehensive survey. Journal of environmental management 90, 2009.
- Oliveira, S.C., “Construção de um aquecedor residencial utilizando meio poroso” Monografia (em andamento). Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Fortaleza, 2016.
- Soviero, P.A.O. and Lavagna, L.G.M., 1997, “A Numerical Model for Thin Airfoils in Unsteady Motion”, RBCM- J. of the Brazilian Soc. Mechanical Sciences, Vol. 19, No. 3, pp. 332-340.
- Pereira, F.M., “Medição de características térmicas e estudo do mecanismo de estabilização de chama em queimadores porosos radiantes” Dissertação. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Desenvolvimento de Caldeira Super-adiabática em Meio Poroso é de responsabilidade de Leandro Leite Almeida, Mônica Veras Martins e João Batista Furlan Duarte.

BOILER SUPERADIABÁTIC DEVELOPMENT IN POROUS MEDIUM

Almeida, Leandro Leite leandroleitealmeida@gmail.com

Martins, Mônica Veras monicavm@outlook.com

Duarte, João Batista Furlan furlan@unifor.br

Universidade de Fortaleza, 1321, Avenue Washington Soares, Edson Queiroz, 60811-905, Fortaleza-Ce

Abstract. Porous media burners are an advanced combustion which a mixture of fuel and oxygen is burned within a solid porous medium providing favorable conditions for combustion of lean mixtures. In this work aims to develop a porous burner to be used as a super adiabatic boiler. The burners can be classified as two types: conventional (combustion occurs freely, without a means to interfere) and porous media burners (combustion is performed in a medium in which has pores interference). The porous media can be used in drying paper, glass processing, curing coatings, heating and food preparation environments. They are attractive because of their low emissions and high combustion rates of reaction in porous media, thereby decreasing the release of gases from incomplete reaction (CO₂, NO_x). Due to recirculation heat, heat is kept inside the porous soon as the fuel consumption and the release of pollutants is smaller compared with the conventional one. The burner works tested by the combustion carried out with liquefied petroleum gas (LPG) and compressed air. The porous medium is comprised of alumina spheres (Al₂O₃) seeking a better heat circulation. For making the coil was used a copper pipe, which is responsible for water flow in the burner interior. the minimum flow of LPG and air were obtained for the water to provide the phase change from water to steam state and analyzed internal temperatures during this process. Finally, thought the theory we are able to calculate the quantity of fuel and air used in the porous burner.

■ **Keywords:** *Super adiabatic Boiler, Porous Medium, Porous burner.*