



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

Cálculo da relação ar/combustível e a eficiência em caldeira alimentada com bagaço de cana-de-açúcar

SILVA, LRS¹, FINZER JRD¹, BEGNINI ML¹

¹ Graduanda em Engenharia Química - Universidade de Uberaba
larielly.regina@outlook.com

² Universidade de Uberaba, Mestrado Engenharia Química –Profissional
gestor.engenhariaquimica@uniube.br

RESUMO – A caldeira é um dos principais equipamentos do setor sucroalcooleiro, ela utiliza o bagaço de cana, como combustível para geração de vapor. A partir da década de 1990, com a descentralização do setor elétrico, verificou-se no setor sucroalcooleiro um grande potencial para o comércio de energia elétrica. O bagaço de cana de açúcar requer, de acordo com sua composição, uma quantidade específica e, portanto, calculável de oxigênio (e, portanto, de ar) para atingir teoricamente uma reação completa. Caso a quantidade de ar seja menor que o ar estequiométrico, irá ocasionar combustão incompleta e, assim com perda de calor em potencial. Quantidade excessiva de ar irá gerar perdas consideráveis de gás de combustão e também de conteúdo energético. O presente estudo de caso relata os cálculos da quantidade estequiométrica de ar necessária para a queima de bagaço de cana de açúcar em uma caldeira. Em seguida foi feita uma comparação com a quantidade de ar utilizada no processo real, encontrando a relação ar/combustível, o coeficiente de excesso de ar utilizado no processo e a eficiência da caldeira.

1. INTRODUÇÃO

Uma caldeira é um dispositivo utilizado para mudar o estado da água de líquido para vapor, a fim de ser usado em aquecimento, acionamento de máquinas, em processos industriais, esterilização, e geração de energia elétrica. Naturalmente, que a preferência pelo vapor d'água como fluido de trabalho é justificada pelo seu alto calor específico e pela ampla disponibilidade da água no meio industrial. Na verdade, a caldeira é um tipo de trocador de calor, que operando a uma pressão superior à pressão atmosférica, produz vapor, partindo da energia térmica de alguma fonte qualquer, a exemplo, da energia química oriunda da combustão (SILVA, 2014).

A combustão de biomassa é largamente empregada para produzir calor para o aquecimento de ambientes, gerar vapor em caldeiras e movimentar turbinas geradoras de eletricidade. Apesar da baixa eficiência para geração de eletricidade, 15% para plantas pequenas e 30% para plantas maiores e mais modernas, o custo é competitivo quando são usados rejeitos ou resíduos. Emissões de monóxido de carbono, devido à queima incompleta, de particulados e o manuseio de cinzas ainda são problemas técnicos a serem melhorados. No Brasil, como exemplos de sucesso temos a queima do bagaço da cana-de-açúcar e da lixívia (licor negro), que é um resíduo da indústria de papel e celulose, (BAJAY et al., 2005).



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

2. RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL NA QUEIMA DE BIOMASSA

Quando o combustível (biomassa) inserido na caldeira, por meio dos alimentadores, mistura-se ao oxigênio (comburente) na fornalha, fornecido pelos ventiladores, fala-se que as combustões estão completas. Quando a caldeira está com a queima completa, ocorre um determinado valor de produtos, nesse caso, o número é limitado (SALUM, 2011).

Silva Segundo (2014) retrata que a combustão de uma caldeira, pode ser monitorada por meio de dois processos; completo e incompleto. O processo de combustão incompleto é o mais indesejável, em se tratando de balanço energético, já que o combustível utilizado durante a queima não é aproveitado completamente. Esse combustível que não foi aproveitado é liberado pela chaminé em forma de gases, vindo a emitir produtos poluentes (como por exemplo, a fuligem, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), nocivos para a atmosfera, os quais contribuem para a poluição do meio ambiente.

Para realizar a perfeita e completa oxidação do combustível, utiliza-se o excesso de ar. Esse método garante que o combustível seja completamente queimado, ou seja, dentro do processo de combustão completa. Porém, quanto maior for o excesso de ar, conseqüentemente maior será o teor de CO₂ e menor será a eficiência térmica da caldeira (SILVA SEGUNDO, 2014).

Ao conhecer a composição do combustível, e por meio da estequiometria da reação, obtêm-se a quantidade ideal de ar para realizar a queima adequada do combustível. O ar ideal, teoricamente fornecido para a queima completa é denominado de “ar teórico” ou “ar estequiométrico”. Usando essas informações na prática, é raro obter-se uma boa queima utilizando apenas o ar estequiométrico, sendo necessário, às vezes, recorrer a outros recursos para evitar a combustão incompleta (SALUM, 2011).

Segundo a União Sucro Alcooleira, o bagaço recém-moído possui cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, de 2 a 3% de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis. É um material complexo, constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, que são os responsáveis pelo conteúdo energético.

3- ESTUDO DE CASO

A caldeira em estudo está localizada no interior de Minas Gerais, modelo Meppan MDS/GF, ano de fabricação: 1985. Essa caldeira tem capacidade de vapor de 15,7 Ton/h com uma pressão de 17,6 bar e queima bagaço de cana-de-açúcar para cogeração e venda do excedente energético. A composição química do bagaço de cana-de-açúcar queimada na caldeira em estudo está descrita na tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Composição química do bagaço de cana-de-açúcar

Elemento	Composição (%)
Carbono	48,5
Hidrogênio	7,0
Oxigênio	44,0
Nitrogênio	0,5

Fonte: autor (2017)



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP

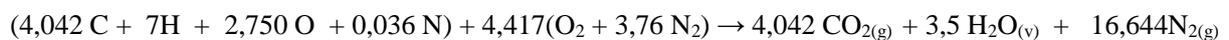


XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

4-RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo a composição química em porcentagem dos elementos conhecida, a expressão real da reação de combustão teórica completa pode ser escrita como:

Então, partindo-se da suposição de queima 100 kg de bagaço de cana-de-açúcar, incluso as cinzas, foi calculado o n° de kmol de cada elemento de acordo com a estequiometria do processo de combustão (reação 1):



Combustível

Ar

Produtos gerados

Assim, a massa de ar necessária para a queima de 100Kg de bagaço de cana-de-açúcar pode ser calculada:

$$\text{Massa de ar estequiométrica: } (4,417 \times 32) + (4,417 \times 3,76 \times 28) = 606,366\text{Kg de ar}$$

Assim, a reação ar/combustível teórica é de: 6,06 Kg/Kg ou 4,701 m³/Kg de bagaço de cana-de-açúcar.

A empresa em questão está utilizando uma relação de ar/bagaço de cana de 7,40 Kg/Kg de bagaço de cana-de-açúcar, o qual permitiu encontrar o coeficiente de excesso de ar utilizado na caldeira.

$$\phi = \frac{n_{O_2 \text{ Real}}}{n_{O_2 \text{ estequiométrico}}} = 1,22 \quad (1)$$

Com base no cálculo a usina está queimando o bagaço de cana-de-açúcar com excesso de 22% de ar.

A eficiência da caldeira queimando bagaço de cana-de-açúcar foi calculada utilizando a equação 2 a seguir:

$$E\% = \left[1 - \frac{Q_p}{Q_f}\right] \cdot 100 = 64\% \quad (2)$$

Q_p: energia total fornecida pela combustão

Q_f: Q_p - Q_v

Q_v: energia de vapor



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

5-CONCLUSÃO

No estudo de caso da caldeira alimentada com bagaço de cana-de-açúcar, foi possível entender e aplicar, que com o conhecimento da composição química do bagaço de cana-de-açúcar, e por meio da estequiometria da reação pode-se obter a massa de ar estequiométrica, que foi de 606,366 Kg de ar/ Kg de bagaço de cana-de-açúcar, bem como chegar a relação teórica ar/bagaço de cana-de-açúcar, que foi de 6,06Kg de ar/Kg de bagaço. De posse desses dados e os dados reais de alimentação da caldeira, que era de 7,40Kg de ar/Kg de bagaço de cana, foi possível verificar que a caldeira estava operando com um excesso de ar na ordem de 22,0%.

Ainda, com a taxa de alimentação da caldeira foi possível calcular a eficiência da caldeira que foi de 64%, um valor relativamente baixo, ocorrendo perda de calor e energia.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAJAY, S. V., A Matriz Energética do Estado de São Paulo: Evolução e perspectivas. In: Fórum Legislativo de Desenvolvimento Econômico Sustentado, Relatório 2003/2004: Uma Contribuição à Reflexão sobre o Desenvolvimento, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, pp. 109-26, 2005

SALUM, A. D. Eficiência Energética em sistema de combustão. Especialização em Engenharia Econômica, Estratégia e Prevenção de Perdas na Indústria-CEPI, 2011.

SILVA SEGUNDO, V. B. DA. Princípio de Balanços Termo energéticos em Caldeiras Geradoras de Vapor nas Indústrias Sucroalcooleiras, 2014.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG e à UNIUBE pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no COBEQ 2018.