ISSN:2594-6153

Cálculo da intercambialidade de gás metano e propano em um queimador industrial utilizando os programas de computador Matlab ou GNU Octave

Alexandre Tiago Martins, Arnaldo de Carvalho Jr.

Universidade Santa Cecília – UNISANTA, Rua Oswaldo Cruz, 277, Santos - SP, CEP 11045-907

E-mail: alexandre.engenharia@yahoo.com

Resumo: A necessidade de estudos de previsão de intercambialidade surgiu quando se iniciou a substituição do gás de rua, gerado a partir de carvão mineral, para o gás natural ou os gases derivados de petróleo. Essa necessidade veio principalmente do fato dos queimadores possuírem uma pequena flexibilidade à variação da composição de seu combustível. O presente estudo determinou a viabilidade de troca de gases de consumo para o forno abordado utilizando o modelo matemático elaborado para Matlab ou GNU Octave.

Palavras-chave: Índice de Wobbe, Índices de Weaver, Intercambialidade de Gases

Fuel Gas Interchangeability Assessment for an Industrial Furnace utilizing Matlab or GNU Octave computer softwares

Abstract: The need for interchangeability prediction studies arose when the replacement of street gas, generated from mineral coal, with natural gas or petroleum-derived gases began. This need came mainly from the fact that burners have a small flexibility to the variation of the composition of their fuel. The current study assessed the feasibility of substituting the fuel gas used in the furnace, considering the mathematical modelling for Matlab or Octave.

Keywords: Wobbe Index, Weaver Indexes, Gas Interchangeability

Introdução

O conceito de Intercambialidade explica-se da seguinte forma: Ao se cogitar a substituição de um gás ou uma mistura de gases combustíveis por outros, primeiro avaliou-se se estes gases são intercambiáveis. Em casos negativos, uma série de dificuldades de operação com o mesmo queimador ou sistema de queimadores ocorreriam ao realizar a troca [1].

Consideram-se intercambiáveis os gases que, para serem queimados em um determinado equipamento, não empregam a necessidade de modificações mecânicas nos seus queimadores originais, permanecendo a segurança operacional e o adequado desempenho energético, e para isso, é imperativa uma criteriosa avaliação de parâmetros que combinam as decorrências das adulterações de composição durante sua combustão [2].

Objetivo

O objetivo desse estudo foi evidenciar a ocorrência da intercambialidade de gases no caso estudado, permitindo uma troca de gás combustível sem a necessidade de realizar alterações mecânicas no equipamento de combustão (forno industrial), no caso utilizou-se propano (C_3H_8) no processo e, por questões estratégicas, almejou-se substituir esse gás por gás natural (CH_4). O propano e o gás natural foram considerados, nos cálculos estequiométricos, de grande pureza a Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).

Materiais e Métodos

A pesquisa acadêmica, fundamentada na literatura clássica, ofereceu embasamento técnico para aplicação às necessidades contemporâneas, mediante a comparação de índices consagrados na indústria, dos quais foram considerados o Índice de Wobbe (Wobbe *Index* WI) e dentre os Múltiplos Índices de Weaver, o Fator de Velocidade de Frente de Chama (SI) [4].

Um dos principais parâmetros de intercambialidade entre gases é o (WI), que é função do Poder Calorífico Inferior (PCI) volumétrico do gás e de sua densidade relativa, ou seja, essencialmente do poder calorífico e peso molecular característicos de cada gás avaliado [2].

Este índice é um parâmetro para verificação do desempenho térmico dos diversos gases em determinado queimador/piloto, e expressa a capacidade de um dado combustível de manter uma relação entre a quantidade de energia liberada e a queda de pressão no queimador. Isso significa que gases com (WI) próximos (5%) não necessitam de ajustes da pressão de operação, nem de alterações físicas no equipamento, para fornecer uma mesma liberação energética, pois suas curvas de desempenho térmico resultantes são equivalentes [1].

Contudo, outro importante parâmetro a ser verificado é o Índice de Shannon-Weaver (Weaver *Index* - SI), que compara a velocidade de frente de chama dos gases avaliados. Esse índice é calculado por uma razão entre os componentes combustíveis do gás, ponderada pelos respectivos coeficientes de velocidade de chama característicos, o Hidrogênio (H_2) possui alta velocidade, sendo a referência para os demais), e a quantidade de inertes (quanto maior, menor a velocidade obtida), bem como a quantidade de ar na combustão (razão ar/combustível estequiométrica) [3].

Um maior (SI) em relação ao original indica maior velocidade da frente de combustão, ou seja, maior tendência de aproximação da chama em relação ao bico (*flame lift*), ou mesmo seu retorno (*flashback*) [4].

Um menor (SI) indica maior tendência a afastamento ou, no limite superior, descolamento de chama (*flame lift*) [4].

O método foi desenvolvido a partir de ensaios com misturas de metano, hidrogênio, monóxido de carbono, etano, propano, butano, eteno, propeno, acetileno, benzeno, nitrogênio e dióxido de carbono, de forma a simular gases manufaturados e naturais [2].

Na Tab.1 seguem relacionados os coeficientes de velocidade de chama de Weaver para os gases avaliados [2]:

Tabela 1. Coeficiente de Velocidade de Chama Para Alguns GASES (%).

Gás	**Fórmula Química**	***Fi***
Propano	C_3H_8	398
Metano	CH_4	148

Fonte: Garcia, R. (2013)

Resultados e Discussão

O primeiro passo foi efetuar os cálculos estequiométricos para obtenção do ar necessário para a combustão, conforme linhas de programação do cálculo estequiométrico da figura 1:

```
%% 1. Combustão do Propano (C3H8)
fprintf('--- Combustão do Propano (C3H8) ---\n');
O2_teo_C3H8 = 5;
N2_acon_C3H8 = O2_teo_C3H8 * (79/21);
Ar_C3H8 = O2_teo_C3H8 + N2_acon_C3H8;
Vol_Ar_C3H8 = Ar_C3H8 * 22.4;
Vol_Comb_C3H8_texto = O2_teo_C3H8 * 22.4;
Relacao_Ar_Comb_C3H8 = Vol_Ar_C3H8 / Vol_Comb_C3H8_texto;
fprintf('N2 Acompanhante: %.1f mol\n', N2_acon_C3H8);
fprintf('Mols de Ar: %.1f mol\n', Ar_C3H8);
fprintf('Volume de Ar: %.1f L\n', Vol_Ar_C3H8);
fprintf('Volume do C3H8 (Cálculo do texto): %.1f L\n', Vol_Comb_C3H8_texto);
fprintf('Relação ar/combustível (Texto): %.2f L\n\n', Relacao_Ar_Comb_C3H8);

%% 2. Combustão do Metano (CH4)
fprintf('--- Combustão do Metano (CH4) ---\n');
O2_teo_CH4 = 2;
N2_acon_CH4 = O2_teo_CH4 * (79/21);
Ar_CH4 = O2_teo_CH4 + N2_acon_CH4;
Vol_Ar_CH4 = Ar_CH4 * 22.4;
Vol_Comb_CH4_texto = O2_teo_CH4 * 22.4;
Relacao_Ar_Comb_CH4 = Vol_Ar_CH4 / Vol_Comb_CH4_texto;
fprintf('N2 Acompanhante: %.1f mol\n', N2_acon_CH4);
fprintf('Mols de Ar: %.1f mol\n', Ar_CH4);
fprintf('Volume de Ar: %.1f L\n', Vol_Ar_CH4);
fprintf('Volume do CH4 (Cálculo do texto): %.1f L\n', Vol_Comb_CH4_texto);
fprintf('Relação ar/combustível (Texto): %.2f L\n\n', Relacao_Ar_Comb_CH4);
```

Figura 1. Linhas De Programação do Cálculo Estequiométrico no MATLAB Ou GNU OCTAVE.

Em seguida, os índices de Wobbe (WI) e Weaver (SI), foram calculados conforme linhas de programação do cálculo dos índices da figura 2.

```
%% 3. Índices de Wobbe (WI) e Weaver (SI)
fprintf('--- Índices de Wobbe e Weaver ---\n');

PCI_C3H8 = 22389; d_C3H8 = 1.55; Soma_xi_C3H8 = 3.0; Fi_C3H8 = 398.0; A_C3H8 = 4.76;
PCI_CH4 = 9430; d_CH4 = 0.60; Soma_xi_CH4 = 1.0; Fi_CH4 = 148.0; A_CH4 = 4.76;
Z=0; Q=0;

WI_C3H8 = PCI_C3H8 / sqrt(d_C3H8);
WI_CH4 = PCI_CH4 / sqrt(d_CH4);

SI_C3H8 = (Soma_xi_C3H8 * Fi_C3H8) / (A_C3H8 + 5.0 * Z - 18.8 * Q + 1);
SI_CH4 = (Soma_xi_CH4 * Fi_CH4) / (A_CH4 + 5.0 * Z - 18.8 * Q + 1);

fprintf('Wobbe Index (C3H8): %.2f\n', WI_C3H8);
fprintf('Wobbe Index (CH4): %.2f\n', WI_CH4);
```

Figura 2. Linhas de Programação do Cálculo dos Índices no MATLAB ou GNU OCTAVE.

Posteriormente foram representados graficamente em um mapa com pontos para cada gás avaliado em relação ao original, ver na figura 3. Na literatura são considerados equivalentes, gases com WI variando até ±5% e SI variando até ±10%, aproximadamente [1].

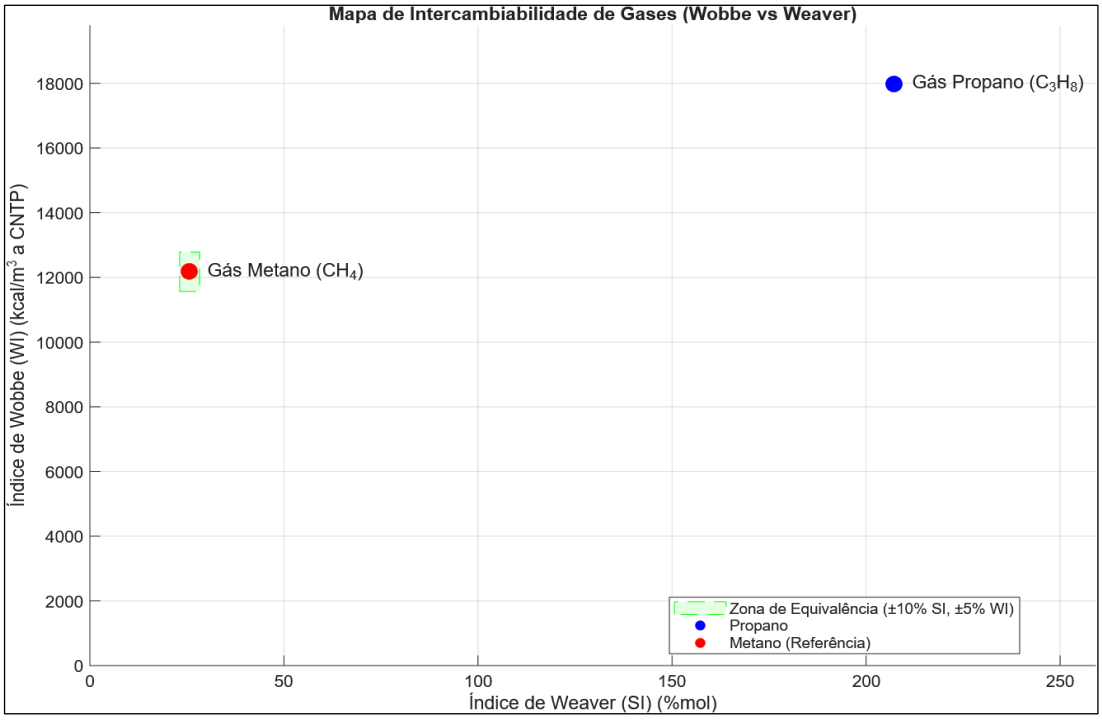


Figura 3. Mapa de Intercambialidade de Gases.

Conclusões

O objetivo desta avaliação foi verificar a viabilidade de uso de gás Metano como alternativa ao gás Propano em um determinado forno industrial, através de modelo matemático, com auxílio da ferramenta Matlab ou GNU Octave. Para isso avaliou-se os possíveis impactos, como afastamento e retrocesso de chama nos queimadores. Detectou-se que os gases não são intercambiáveis e o equipamento não se apresentou apto para receber o novo combustível, sem alteração mecânica dos seus componentes.

Referências

1. Martins A.T., Santos A.R. Avaliação da intercambialidade de gás combustível para um forno industrial. Anais do Encontro Nacional de Pós-graduação. 2024;8(1):249-53.

2. Garcia, R. Combustíveis e combustão industrial. Rio de Janeiro: Interciência, 2013, 358 p.

3. Szklo, A.; Uller, V. C.; Bonfá, P. H. M. Fundamentos do refino de petróleo: tecnologia e economia. Rio de Janeiro: Interciência, 2012, 344 p.

4. Weaver, E. R. Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases. RP 2193 – Washington, DC. National Bureau of Standards, 1951.