

## Processos de Combustão de Combustíveis de Biomassa Considerando o Equilíbrio Químico

**Renan Gabbi**

UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Física, Estatística e Matemática, Caixa Postal 560 - 98700-000, Ijuí – RS, Brasil  
E-mail: renan.matematica@yahoo.com.br

**A. Patricia Spilimbergo**

UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Física, Estatística e Matemática, Caixa Postal 560 - 98700-000, Ijuí – RS, Brasil  
E-mail: patspi@unijui.edu.br

### RESUMO

Os processos de combustão em diferentes instalações energéticas, como por exemplo, fornalhas para secagem de grãos, caldeiras, propulsores, fornos para cozimento de tijolos e telhas, etc., são descritos muitas vezes por modelos que consideram que o meio reagente permanece no estado de equilíbrio químico. Entre esses modelos os mais conhecidos são [1] e [3]. Eles levam em conta processos de dissociação em meios reagentes de alta temperatura e são descritos por um sistema de equações algébricas não lineares.

Este trabalho se destina a determinação das propriedades dos produtos de combustão em fornalhas, que são instalações que se destinam a gerar ar quente com o objetivo de realizar a secagem de diferentes tipos de grãos, utilizando para isso, combustíveis de biomassa como, por exemplo, papelão, lenha e lixo urbano. Para o cálculo dessas propriedades se utilizou o modelo [1] em conjunto com os métodos das “grandes moléculas”. Essas propriedades são: composição dos produtos de combustão ( $r_q$ ), temperatura ( $T$ ), calor específico ( $C_p$ ), massa molecular média ( $\mu$ ), viscosidade ( $\tau$ ), condutibilidade térmica ( $\lambda$ ), entre outras.

O modelo [1] está descrito detalhadamente em [2] e é constituído basicamente por três tipos de equações:

- equação da dissociação das moléculas (radicais) nos átomos:

$$\prod_i P_i^{a_{ij}} / P_j = K_j \quad j = 1, \dots, m \quad (1)$$

onde,  $P_i$  e  $P_j$  são as pressões parciais do átomo  $i$  e molécula (radical)  $j$ ,  $a_{ij}$  é a quantidade do átomo  $i$  em uma molécula (radical)  $j$  e  $K_j$  é a constante de dissociação pela pressão.

- equação da conservação da quantidade de átomos nos produtos de combustão:

$$\sum_j a_{ij} \cdot P_j + P_i = M_p \cdot b_{ip} \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

onde,  $M_p$  é a constante de proporcionalidade que assegura  $P_q = n_q$  ( $P_q$  e  $n_q$  são respectivamente, a pressão parcial e a quantidade dos moles da  $q$ -ésima substância dos produtos de combustão) e  $b_{ip}$  é a quantidade do  $i$ -ésimo átomo na fórmula condicional do propelente [5].

- equação de Dalton:

$$\sum_{q=1}^{m+n} P_q = P \quad q = i, j. \quad (3)$$

Se forem conhecidos os valores da pressão  $P$  e da temperatura  $T$  é possível determinar as grandezas  $P_i$ ,  $P_j$ , e  $M_p$ . Mas como regra para condições de combustão, a temperatura  $T$  é incógnita e neste caso, junto com (1)-(3), é necessário utilizar a equação da energia:  $I_p - I_{pc} = 0$ , onde,  $I_p$  e  $I_{pc}$  são as entalpias mássicas do propelente e dos produtos de combustão, respectivamente. As relações (1)-(3) fornecem um volumoso sistema de equações algébricas não lineares, e para sua resolução utiliza-se o método de Newton com algumas modificações para assegurar a convergência. Logo após, são determinadas então as propriedades dos produtos de combustão.

O método que comumente é utilizado para determinar o conteúdo da fase condensada nos produtos de combustão apresenta uma série de limitações, entre as quais podemos destacar regras de fases e convergência limitada. Devido a isso, foi utilizado no modelo [1], o “método das grandes moléculas” - GM ([2]), cuja essência proposta por Khudiacov ([1]), está em considerar cada fase condensada como um conjunto de “moléculas grandes”, cada uma possuindo 1000 moléculas habituais, ocorrendo, portanto, que cada substância, na fase condensada, simula um conjunto de GM comportando-se como na fase gasosa.

Utilizando o aplicativo existente foram realizados cálculos para determinar as propriedades dos produtos de combustão de combustíveis de biomassa (lenha, papelão e lixo urbano) com “ar”, nomeadas acima. Além disso, foi determinada, para os combustíveis, a produtividade da fornalha. A produtividade ideal espelha as possibilidades energéticas do combustível para a instalação energética em questão. As informações necessárias sobre os combustíveis foram obtidas de [4].

**Palavras-chaves:** *Modelagem Matemática, Processos de Combustão, Equilíbrio Químico, Biomassa.*

## Referências

- [1] V. E. Alemassov, A. F. Dregalin e A. P. Tishin, “Propriedades termodinâmicas e termofísicas dos produtos de combustão”, VINITI, Moscou, 1973.
- [2] C. J. Auth e R. L. Iskhakova, Pesquisa das propriedades termodinâmicas e termofísicas dos produtos de combustão de biomassa, em “Proceedings of 6<sup>th</sup> Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences”, pp. 1769-1774, Florianópolis, SC, Vol. III, 1996.
- [3] S. GORDON, B. J. McBRIDE, “NASA SP273 - Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions, rocket performance incident and reflected shocks and chapman-jouguet”, Washington, 1971.
- [4] B. M. JENKINS, Fuel properties for biomass materials, em “Proceedings of International Symposium on Application and Management of the Energy in Agriculture”, Indiana, 1990.
- [5] A. P. Spilimbergo, C. A. Castelli e C. J. Auth, Simulação numérica das propriedades dos produtos de combustão de diferentes espécies de carvão, em “Proceedings of the XX Computational Methods in Engineering (CILAMCE)”, CD-ROOM, São Paulo, 1999.