

# SIMULAÇÃO DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA DE TAMAREIRA PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE

A. E. de OLIVEIRA<sup>1</sup>, J. B. O. SANTOS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: joaobatista@ufscar.br

**RESUMO** – A simulação do processo de gaseificação da biomassa de tamareira foi realizada utilizando-se o *software* Aspen Plus 8.4 com o objetivo de verificar a influência da temperatura do gaseificador e da razão vapor-biomassa na composição de saída dos produtos H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Foi verificado que a temperatura tem pouca influência sobre a produção de H<sub>2</sub>, mas afeta a formação de CO e CO<sub>2</sub>. A razão vapor-biomassa tem pouca influência na formação de H<sub>2</sub>, mas o aumento dessa razão afeta a produção de CO e CO<sub>2</sub>. Os resultados de simulação apresentaram boa concordância com os dados experimentais.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Gepts (2002), tamareira (*Phoenix dactylifera*) é uma palmeira de cultivo milenar e atualmente distribuída em regiões tropicais de todo o mundo. Registros históricos demonstram sua utilização por civilizações do Egito e Mesopotâmia desde 5000 a 6000 A.C. Seu fruto, a tâmara, é composta de 80% de açúcares, o restante consistindo de proteínas, gorduras e minerais, tais como cobre, enxofre, ferro e magnésio. Sua madeira também é aproveitada, assim como suas folhas, que são utilizadas na manufatura de cordas e cestos, o que demonstra a grande aplicabilidade desta planta.

Bassyouni *et al.* (2014) utilizaram folhas de tamareira como biomassa para a produção de gás de síntese a partir do processo de gaseificação. Tal processo envolve a oxidação parcial de uma fonte de carbono, como carvão, gás natural ou biomassa, originando produtos como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO e H<sub>2</sub>, sendo a mistura de CO e H<sub>2</sub> também conhecida como gás de síntese.

O processo de gaseificação ocorre em gaseificadores, que podem ser classificados em: gaseificadores de leito fixo e de leito fluidizado. Dentre os gaseificadores de leito fixo, há diferentes configurações, de acordo com o sentido da corrente de ar em relação à corrente de alimentação de biomassa: *updraft* (fluxo contracorrente), *downdraft* (concorrente) ou *cross-flow* (fluxo cruzado) (Ciferno e Marano, 2002). Os gaseificadores de leito fluidizado, por sua vez, são divididos entre gaseificadores de leito fluidizado borbulhante (LFB) e de leito fluidizado circulante (LFC).

As condições operacionais do processo de gaseificação, em geral, afetam a composição de saída da corrente de produtos. Por exemplo, Kumar *et al.* (2009) afirmam que o aumento da razão vapor-biomassa e o consequente aumento da pressão de vapor de água no sistema favorece as reações de formação de gás de síntese, de deslocamento gás-água e de reforma do metano, ocasionando um aumento da produção de H<sub>2</sub>. O aumento da temperatura, por sua vez,

favorece as reações de formação de  $H_2$ , que são endotérmicas. Na faixa de temperatura compreendida entre 850 °C e 900 °C, as reações de Boudouard e de reforma a vapor são favorecidas com o aumento da temperatura, resultando no aumento da produção de CO.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é simular o processo de gaseificação da biomassa de tamareira utilizando o *software* Aspen Plus, aprimorando um modelo já existente na literatura e verificando sua aplicabilidade. A influência da temperatura do gaseificador e da razão vapor-biomassa na composição dos produtos  $H_2$ , CO,  $CO_2$  e  $CH_4$ , é avaliada.

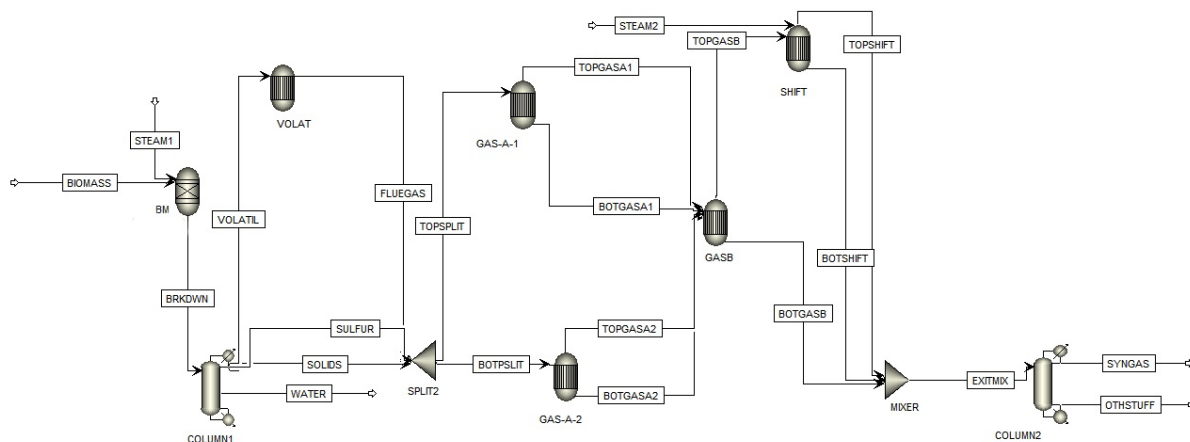
## 3. METODOLOGIA

A simulação do processo de gaseificação de folhas de tamareira em um gaseificador de leito fixo do tipo *downdraft* foi realizada no Aspen Plus 8.4. O modelo utilizado neste trabalho foi uma modificação do modelo utilizado por Bassyouni *et al.* (2014), que realizaram experimentos de gaseificação da biomassa de tamareira paralelamente à execução de um modelo do processo construído com o auxílio do *software* Aspen Hysys.

A Figura 1 apresenta o fluxograma do modelo proposto neste artigo. A biomassa é alimentada a 8 kg/h por meio da corrente BIOMASS, adentrando a zona de pirólise através do reator BM, um reator do tipo RYIELD no qual, por meio de um código Fortran, a biomassa é fracionada em seus principais constituintes: carbono, enxofre, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio. Vapor é alimentado ao sistema por meio de duas correntes, STEAM1 e STEAM2, sendo a razão entre as vazões mássicas de STEAM2 e STEAM1 igual a 1,18. O separador COLUMN1 é responsável por separar componentes voláteis (corrente VOLATIL) do enxofre e sólidos (correntes SULFUR e SOLIDS, respectivamente) segundo a composição das folhas de tamareira apresentada por Bassyouni *et al.* (2014). A água não consumida no reator BM é eliminada do processo por meio da corrente de purga WATER. O reator VOLAT, um reator do tipo RGIBBS, é responsável pela combustão dos compostos voláteis. No reator GAS-A-1, modelo REQUIL, ocorrem as reações de oxidação completa do carbono ( $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ) e de metanação ( $C + 2H_2 = CH_4$ ). No reator GAS-A-2, também de modelo REQUIL, ocorre a oxidação parcial do carbono ( $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$ ). No reator GASB, do tipo REQUIL, ocorrem as reações de Boudouard ( $C + CO_2 = 2CO$ ), as de formação de amônia ( $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ ) e de sulfeto de hidrogênio ( $H_2 + S \rightarrow H_2S$ ) e a formação do gás de síntese ( $C + H_2O = CO + H_2$ ). Em SHIFT, um reator REQUIL, ocorre a reação de deslocamento gás-água ( $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ ). O separador COLUMN2 é responsável por separar  $H_2$ , CO,  $CO_2$  e  $CH_4$  na corrente SYNGAS dos demais produtos.

Para a avaliação da influência da temperatura na composição de saída do gás de síntese, foi variada igualmente a temperatura dos reatores, de 650 °C a 800 °C, mantendo-se constante a razão vapor-biomassa em 1,5. As vazões molares das correntes de saída de  $H_2$ , CO,  $CO_2$  e  $CH_4$  foram registradas para cada temperatura.

Figura 1 – Fluxograma do modelo de gaseificação de biomassa de tamareira.



Analogamente à temperatura, foi variada a razão vapor-biomassa, de 0,5 a 2, injetando-se vapor através das correntes STEAM1 e STEAM2. Foi mantida igual a 1,18 a razão entre as vazões mássicas de STEAM2 e STEAM1. A temperatura dos reatores foi mantida a 800 °C. Foram registradas as vazões molares das correntes de saída de H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para cada razão vapor-biomassa.

#### 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

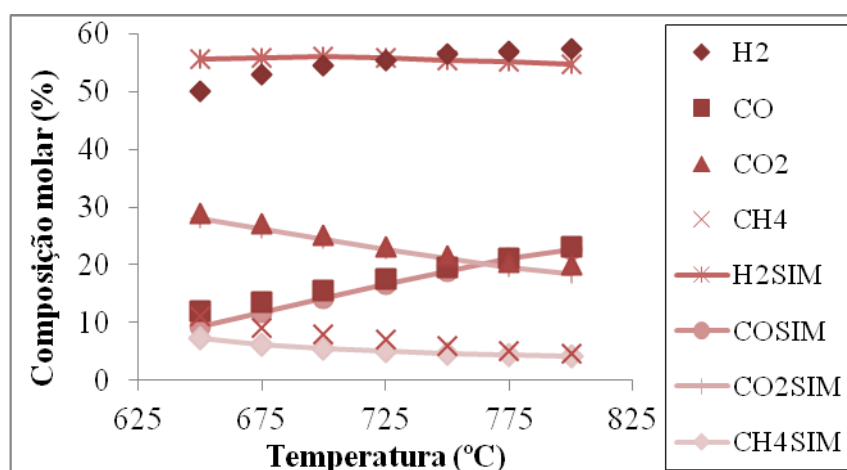
A Figura 2 apresenta os dados simulados do modelo proposto e os dados experimentais obtidos por Bassyouni *et al.* (2014) em relação à influência da temperatura do reator na composição dos produtos H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Pode-se observar que os dados obtidos do modelo ajustam-se, com grande precisão, aos dados experimentais, principalmente em relação ao CO e CO<sub>2</sub>. A tendência da curva de pontos simulados para o H<sub>2</sub> não é a mesma dos pontos experimentais, diferentemente de CO e CO<sub>2</sub>; a curva de pontos simulados para o CH<sub>4</sub> possui tendência mais similar à dos pontos experimentais conforme o aumento da temperatura.

O modelo proposto por Bassyouni *et al.* (2014) não obteve êxito ao simular o comportamento das curvas de CO e CO<sub>2</sub> com o aumento da temperatura, cujos pontos destoaram-se dos pontos experimentais. Em relação aos gases hidrogênio e metano, o comportamento de ambas as curvas da simulação tornou-se mais similar ao das curvas experimentais conforme o aumento da temperatura. Portanto, o modelo modificado demonstrou ser mais preciso.

Pode-se observar na Figura 2 que o aumento da fração molar de H<sub>2</sub> e CO na composição dos produtos ocorre com o aumento da temperatura. Este fenômeno deve-se ao fato de as reações de formação de gás de síntese e de Boudouard serem, segundo Bassyouni *et al.* (2014), endotérmicas, de entalpias de reação iguais a +131 kJ/mol e +172 kJ/mol, respectivamente. Desse modo, ambas as reações, que possuem CO e H<sub>2</sub> como produtos, são beneficiadas com o aumento da temperatura. Em relação ao CO<sub>2</sub>, sua formação ocorre em reações exotérmicas, que são desfavorecidas pelo aumento da temperatura, além de a substância estar presente como reagente na reação de Boudouard, que tende a consumir mais CO<sub>2</sub> com o aumento da temperatura. O metano, por sua vez, é desfavorecido pelo aumento da

temperatura, já que a reação de metanação é exotérmica ( $\Delta H = -74,8 \text{ kJ/mol}$ ), isto é, com o aumento da temperatura, o equilíbrio da reação é deslocado para a esquerda, consumindo  $\text{CH}_4$  e formando  $\text{C}$  e  $\text{H}_2$ . Além disso, o deslocamento para a esquerda da reação de produção de amônia, exotérmica ( $\Delta H = -46,1 \text{ kJ/mol}$ ), com o aumento da temperatura também favorece a produção de  $\text{H}_2$ .

Figura 2 – Variação da fração molar de  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  com a mudança da temperatura do gaseificador à razão vapor-biomassa de 1,5.



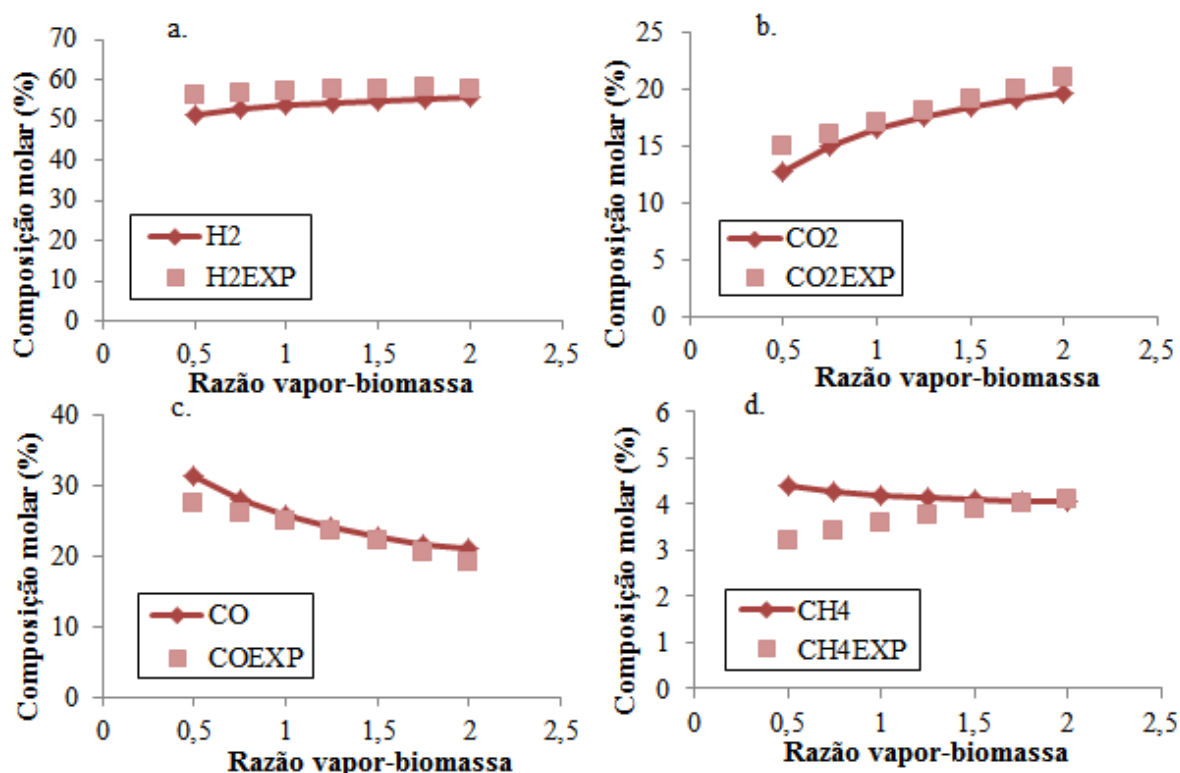
O efeito da variação da razão vapor-biomassa na composição dos produtos é apresentada na Figura 3. É possível verificar uma grande concordância entre os dados da simulação e os dados experimentais, principalmente em relação a  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$ , na faixa de razões vapor-biomassa analisadas. As curvas relacionadas ao  $\text{CH}_4$ , exibidas na Figura 3d, apresentam comportamento mais similar conforme aumento da razão vapor-biomassa.

O modelo de Bassyouni *et al.* (2014) obteve resultados satisfatórios em relação à composição de saída dos produtos como função da razão vapor-biomassa. Os dados ajustaram-se com maior concordância para  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}$ . Quanto ao  $\text{CO}_2$ , a concordância entre pontos da simulação e pontos experimentais foi maior conforme aumento da razão vapor-biomassa. Para o metano, no entanto, o modelo não obteve boa precisão.

O aumento da razão vapor-biomassa foi feito com o aumento da vazão de vapor a uma vazão constante de biomassa na alimentação. A água é consumida nas reações de formação de gás de síntese e no deslocamento gás-água. O aumento da concentração desse reagente no processo provoca aumento da formação de produtos. No caso da reação de formação de gás de síntese,  $\text{CO}$  e  $\text{H}_2\text{O}$  são formados, porém,  $\text{CO}$  também é reagente na reação de deslocamento gás-água, que promove a formação de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . Isto poderia explicar o crescimento significativo apenas da fração molar de  $\text{CO}_2$  com o aumento da razão vapor-biomassa.  $\text{CO}$ , sendo consumido na reação de deslocamento gás-água, tem sua fração molar diminuída conforme o aumento da razão vapor-biomassa. O gás hidrogênio, por sua vez, não possui uma taxa de aumento tão significativa quanto o  $\text{CO}_2$ , visto que, apesar de ser produzido na reação de deslocamento gás-água e na formação de gás de síntese, é também um

dos reagentes na produção de metano por meio da reação de metanação. Dessa forma, a produção do metano também é favorecida, como exibido na Figura 3d.

Figura 3 – Variação da fração molar dos produtos da gaseificação com a razão vapor-biomassa à temperatura do reator de 800°C: a) gás hidrogênio; b) dióxido de carbono; c) monóxido de carbono; d) metano.



## 5. CONCLUSÃO

O modelo modificado obteve bastante eficácia na simulação do processo de gaseificação de biomassa de tamareira em gaseificador *downdraft*, na faixa de temperaturas e razões vapor-biomassa analisadas, representando melhor o processo que o modelo original.

O aumento da temperatura favoreceu os produtos das reações endotérmicas (CO e H<sub>2</sub>), ao mesmo tempo que ocasionou diminuição da fração molar dos produtos de reações exotérmicas e reagentes das reações endotérmicas (CO e CH<sub>4</sub>).

O aumento da razão vapor-biomassa ocasionou aumento da produção de CO e H<sub>2</sub> através da reação de formação de gás de síntese e aumento da produção de CO<sub>2</sub> por meio da reação de deslocamento gás-água. Entretanto, por participar da reação de deslocamento gás-água como reagente, o monóxido de carbono sofreu um efeito global de redução de sua fração molar na mistura de saída conforme o aumento da razão vapor-biomassa. A reação de metanação também foi favorecida pelo aumento da razão vapor-biomassa, gerando aumento da fração molar de metano e contendo o aumento da fração molar de gás hidrogênio no gás de síntese.

## 6. REFERÊNCIAS

- BASSYOUNI, M.; HASAN, S. W. ul; ABDEL-AZIZ, M. H.; HUSSAIN, A.; ANI, F. N. Date palm waste gasification in downdraft gasifier and simulation using ASPEN HYSYS. *Energy Conv. and Manag.*, v. 88, p. 693 – 699, 2014.
- CIFERNO, J. P.; MARANO, J. J. *Benchmarking biomass gasification technologies for fuels, chemicals and hydrogen production*. In: U.S. Department of Energy/National Energy Technology Laboratory, 2002.
- GEPTS, P. *The crop of the day: The Date, Phoenix dactylifera*. [s.l., 2002]. Disponível em: <http://www.plantsciences.ucdavis.edu/GEPTS/pb143/CROP/DATE/date.htm>. Acesso em: 18 fev. 2015.
- KUMAR, A.; JONES, D. D.; HANNA, M. A. Thermochemical biomass gasification: a review of the current status of the technology. *Energies*, vol. 2; p. 556 – 581, 2009.
- SCHEFFLAN, R. *Teach yourself the basics of Aspen Plus*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.