

Produção de gás combustível por meio de processo de gaseificação de *Eucalyptus grandis* em reator de leito fluidizado

Albert Reis dos Anjos¹, Amanda Assunção Rosa², Diogo Keiji Nakai³, Emerson Leo Schultz⁴, Anna Letícia Montenegro Turtelli Pighinelli⁵, Fabrício Machado⁶, Rossano Gambetta⁷

Resumo

Este estudo tem como objetivo avaliar os comportamentos de fluidização, com ar, em leito de quartzo ocre à temperatura ambiente e de gaseificação (700-800 °C) e da composição do gás produto de processo de gaseificação em leito fluidizado de *Eucalyptus grandis* utilizando ar como agente de gaseificação para valores de 0,30 e 0,39 da razão de equivalência (RE). Observou-se que para RE igual a 0,30 a produção de hidrogênio, monóxido de carbono e metano se comportou de maneira mais eficiente, formando cerca de 2%, 10% e 2,5%, respectivamente.

Introdução

O processo de gaseificação consiste de uma oxidação térmica parcial que produz um gás composto por diversos componentes, como monóxido e dióxido de carbono, metano, hidrogênio, nitrogênio, hidrocarbonetos, além de pequenas quantidades de carvão, cinzas e componentes condensáveis (por exemplo, alcatrão e óleos). A mistura gasosa constituída basicamente de monóxido de carbono e hidrogênio é geralmente denominada de gás de síntese e pode ser aplicada na queima direta para geração de energia elétrica e como matéria-prima para a indústria química visando produção de amônia, hidrogênio e combustíveis líquidos de maior valor agregado (BALAT; KIRTAY, 2010).

¹Engenheiro de energia, mestrando em Tecnologias Química e Biológica, Universidade de Brasília, albert.anjos@colaborador.embrapa.br

²Química, mestranda em Tecnologias Química e Biológica, Universidade de Brasília, amanda.rosa@colaborador.embrapa.br

³Engenheiro de bioprocessos e biotecnologia, mestre em Ciências Mecânicas, analista da Embrapa Agroenergia, diogo.nakai@embrapa.br

⁴Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, emerson.schultz@embrapa.br

⁵Engenheira agrícola, doutora em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Agroenergia, anna.pighinelli@embrapa.br

⁶Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, professor da Universidade de Brasília, fmachado@unb.br

⁷Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, rossano.gambetta.embrapa.br

O processo de gaseificação em leito fluidizado envolve uma grande quantidade de variáveis que afetam comportamento das reações químicas, como o tipo de material envolvido, a temperatura do leito, a velocidade superficial do gás, a taxa de alimentação ar/biomassa, a distribuição granulométrica do combustível (RAVELLI et al., 2008). A razão de equivalência (RE), que corresponde à relação ar-combustível real utilizada durante o processo dividida pela relação ar-combustível estequiométrica necessária para que haja combustão, é um parâmetro fundamental para se determinar a faixa de operação do agente de gaseificação. Para a gaseificação, o valor de RE está entre 0,2 e 0,4 (BASU, 2006).

O presente estudo objetivou avaliar a composição do gás produzido utilizando ar como agente de gaseificação, em função da variação da razão de equivalência. Como material do leito, foi utilizado quartzo ocre (malha 30) de diâmetro característico aproximadamente igual a 0,6 mm. Caracterizou-se a região de fluidização do material do leito por meio de ensaios de fluidização em condição ambiente de temperatura e à temperatura de gaseificação (700-800 °C).

Materiais e métodos

Os ensaios de fluidização e gaseificação foram realizados em planta-piloto de gaseificação e pirólise (PID Eng&Tech), localizada na área de plantas-piloto (APP) da Embrapa Agroenergia. A planta é composta por: sistema de alimentação de combustível; sistema de alimentação do agente de fluidização, podendo ser utilizado ar, vapor, nitrogênio ou uma mistura destes; reator de leito fluidizado de diâmetro de 8,28 cm e altura útil do leito de 70,5 cm, com sistema de aquecimento por resistência elétrica, ao qual é adicionado o leito (quartzo ocre), o agente de fluidização (que pode ser previamente aquecido por meio de resistência elétrica) e o combustível para que ocorram as reações; condensador para obtenção do alcatrão; ciclones, responsáveis por separar o material sólido (cinzas, carvão, biomassa que não reagiu, material do leito); lavador de gases, que é responsável por purificar a mistura gasosa produzida, removendo por exemplo H_2S ; medidor de gás, que quantifica o gás produzido no processo; e queimador dos gases combustíveis contidos na mistura gasosa produzida no reator antes de serem lançados na atmosfera. Por meio do software computacional *Process@*, é possível determinar a temperatura de aquecimento do gás de fluidização e do reator, a vazão de alimentação dos agentes de fluidização e da biomassa e obter o perfil de temperatura ao longo do tempo em três regiões do reator.

Inicialmente, realizou-se ensaios de fluidização à temperatura ambiente e à temperatura de gaseificação (800 °C) em leito de quartzo ocre, com ar, objetivando caracterizar a região de fluidização desse material. A vazão do agente de gaseificação (ar) foi variada de 3 L/min em 3 L/min, na faixa de 0 L/min a 120 L/min para temperatura ambiente e de 0 L/min a 40 L/min para temperatura de gaseificação. Cada valor de vazão foi mantido constante durante 3 minutos como garantia de operação do fluxo de ar em estado estacionário. Por meio de transdutores de pressão localizados na região superior do reator (topo) e na saída do distribuidor de ar, obteve-se a perda de carga (ΔP) relativa ao leito de quartzo. Utilizaram-se as médias de vazão e ΔP para representação dos regimes de fluidização do quartzo.

Nos ensaios de gaseificação de *Eucalyptus grandis*, foram utilizados os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros operacionais utilizados no processo de gaseificação de *Eucalyptus grandis*.

Biomassa	<i>Eucalyptus grandis</i>
Agente de Fluidização (ar) – L/min	10–13
Temperatura do leito – (°C)	700–800
Material do leito	Quartzo Ocre (1 kg)
Vazão de alimentação de biomassa – g/min	6,13

A biomassa foi previamente moída em moinho de facas (Willey) utilizando peneira de 2 mm. Durante os ensaios de gaseificação, variou-se a vazão de alimentação do agente de fluidização a fim de analisar o comportamento da composição do gás final. Cada vazão de ar foi mantida constante durante 5 minutos e, por meio de analisador de gases da SICK (Modelo GMS800) em linha, obteve-se a composição do gás final.

Resultados e discussões

Nas Figuras 1 e 2, é apresentado o comportamento da perda de carga no leito em relação à vazão superficial de ar com reator em condição de temperatura ambiente e a temperatura de gaseificação (700-800 °C), respectivamente. Observa-se que à temperatura ambiente o comportamento da perda de carga no leito é similar ao descrito na literatura, em que em baixas vazões (entre 0 L/min e

30 L/min) a perda de carga aumenta de forma linear (diretamente proporcional à velocidade do gás), caracterizando um regime de leito fixo em que o gás apenas percola o leito afastando algumas partículas. Quando a condição de mínima fluidização é atingida, entre as vazões de 35 L/min e 41 L/min, a perda de carga no leito não varia com o aumento da vazão de ar. Novos incrementos de velocidade do gás caracterizam outros regimes de fluidização (por exemplo, *slug*, turbulento).

À temperatura de gaseificação (entre 700 °C e 800 °C na região do leito), tem-se que a região de fluidização ocorre em vazões menores do agente de gaseificação em comparação à temperatura ambiente. Em decorrência da instabilidade do controlador de vazões, não é possível caracterizar a região entre 0 L/min e 6 L/min (o controlador do gaseificador não consegue estabilizar nessas vazões), mas nota-se que a partir da vazão de 6 L/min a perda de carga se mantém constante com o aumento da vazão de ar, apresentando comportamento de fluidização típico de processo em leito fluidizado. Assim, pode-se considerar que a partir dessa vazão o leito de quartzo se comporta como um leito fluidizado clássico.

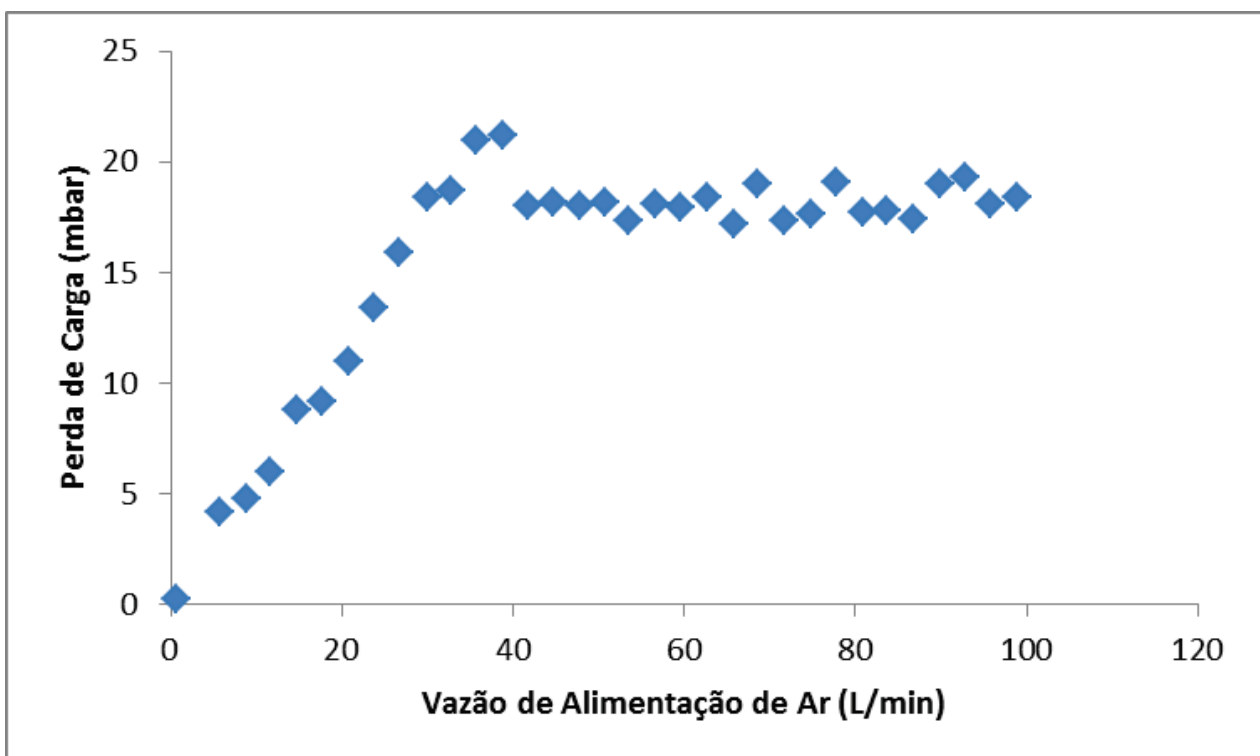


Figura 1. Perda de carga em leito de quartzo ocre em função da vazão de alimentação de ar à temperatura ambiente.

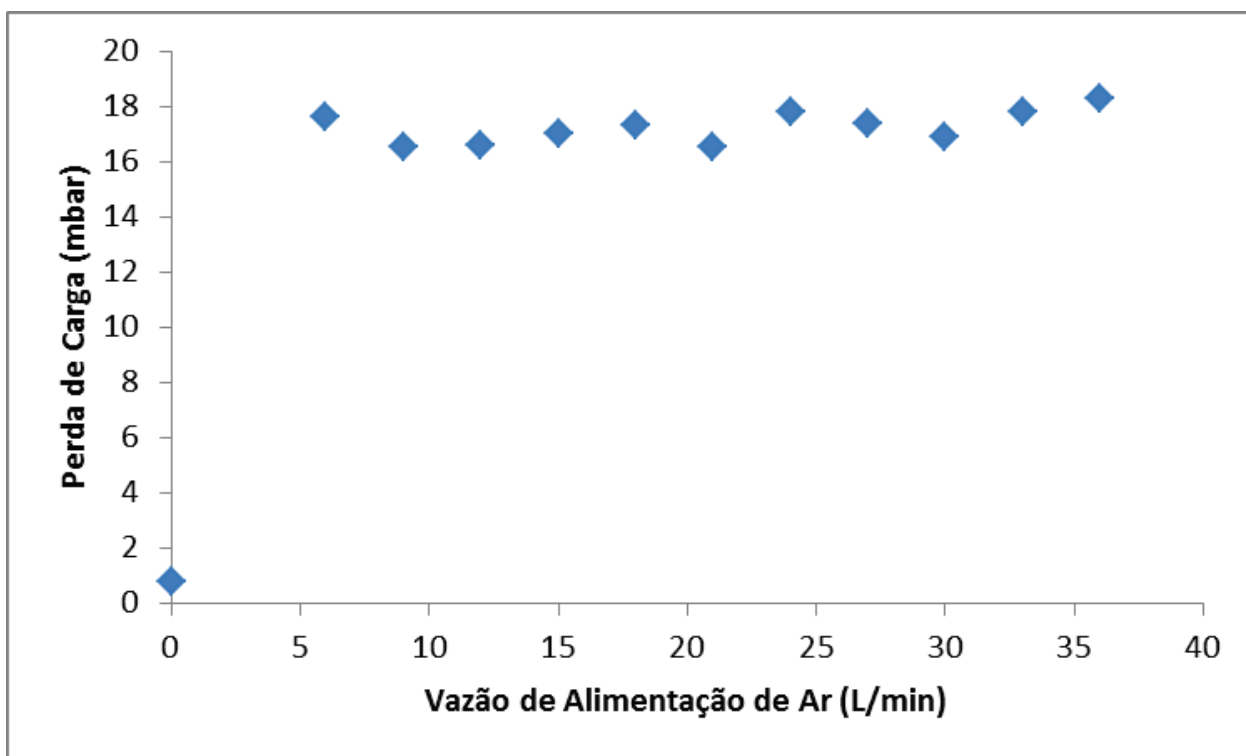


Figura 2. Perda de carga em leito de quartzo ocre em função da vazão de alimentação de ar à temperatura de gaseificação.

A partir da análise de fluidização e considerando uma vazão de alimentação de biomassa de 6,13 g/min (determinada experimentalmente), tem-se como razão de equivalência (RE) em função da vazão de alimentação de ar os valores de 0,30 e 0,39 para as vazões de 10 L/min e 13 L/min, respectivamente.

As Figuras 3 e 4 mostram a composição de hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e metano do gás produzido em processo de gaseificação de *Eucalyptus grandis* utilizando ar como agente de gaseificação para os valores de 0,30 e 0,39 de RE. Nota-se um pequeno aumento na concentração de CO₂ e uma redução na concentração de CH₄ e H₂ com aumento de RE. Já o CO se manteve estável para um RE de 0,30 e teve um aumento gradativo para um RE de 0,39.

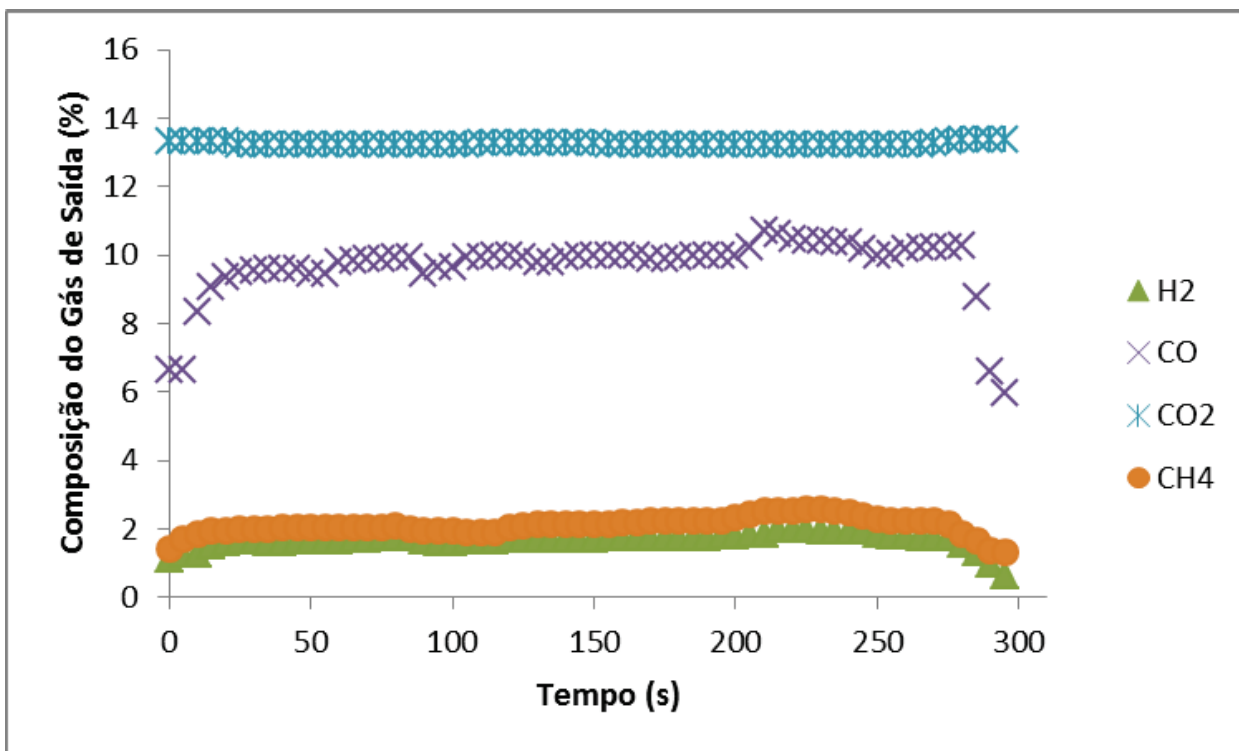


Figura 3. Composição do gás produzido de processo de gaseificação de *Eucalyptus grandis* utilizando ar como agente de gaseificação (RE=0,30).

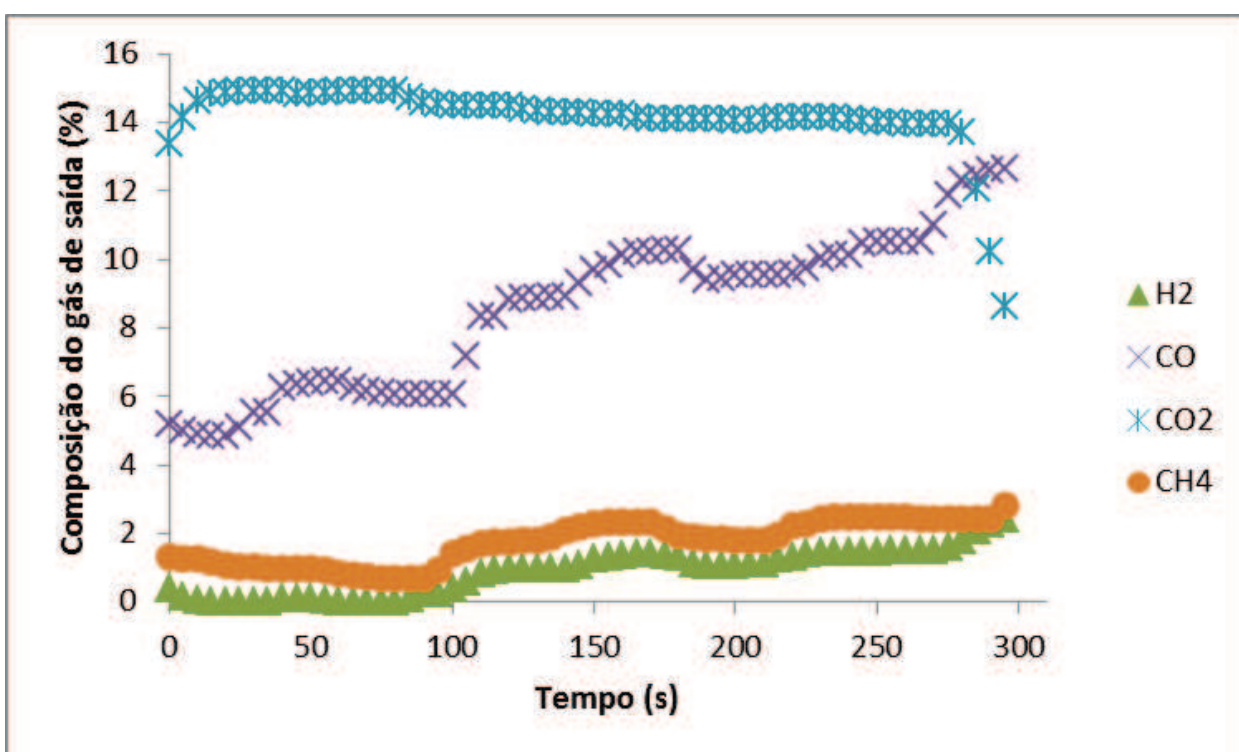


Figura 4. Composição do gás produzido de processo de gaseificação de *Eucalyptus grandis* utilizando ar como agente de gaseificação (RE=0,39).

Considerações finais

Por meio de ensaios de fluidização, foi possível determinar experimentalmente a vazão de ar mínima de fluidização, aproximadamente 6 L/min, para o quartzo ocre malha 30 à temperatura de gaseificação. Observou-se que para um RE de 0,30 foram obtidos os melhores resultados para composição do gás produto (maior concentração de H₂ e CH₄, e CO estável).

Um parâmetro importante na gaseificação em leito fluidizado é o agente de gaseificação, pois diferentes agentes produzem gases com diferentes poderes caloríficos e, embora a gaseificação com ar ofereça simplicidade operacional e não necessite de infraestrutura industrial complexa, o poder calorífico do gás produzido é baixo (4-7 MJ/Nm³). A gaseificação utilizando oxigênio e vapor produz um gás com poder calorífico médio (10-18 MJ/Nm³) (LOHA et al., 2011), porém, a produção de oxigênio puro tem custo elevado, o que torna a sua utilização no processo menos competitiva em comparação com o vapor, que além da vantagem econômica proporciona alta produção de hidrogênio no gás final (KARMAKAR; DATTA, 2011), que é atribuída à utilização do conteúdo de hidrogênio presente no vapor nas reações de *shift* e de reforma. Dessa forma, as próximas etapas do presente projeto serão analisar o comportamento da composição do gás combustível produzido em função da variação do agente de gaseificação, utilizando ar, vapor, nitrogênio e uma mistura destes, bem como o balanço de massa e energia do processo, além de caracterizar os coprodutos alcatrão, carvão e cinzas em condições ótimas de operação do reator.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes, ao CNPq e à Finep. Particularmente, A. Anjos agradece ao CNPq (Projeto n° 406.812/2013-6) e A. Rosa agradece à Capes (Capes/Embrapa, Projeto n° 086404/2014), pela concessão de bolsas de estudo. Os autores agradecem, de forma especial, toda a ajuda prestada por Juarez Lopes da Silva, técnico da Embrapa Agroenergia.

Referências

BALAT, H.; KIRTAY, E. Hydrogen from biomass - Present scenario and future prospects. **International Journal of Hydrogen Energy**, Oxford, v. 35, n. 14, p. 7416-7426, 2010.

BASU, P. Combustion and gasification in fluidized beds. Boca Raton: CRC Press, 2006.

KARMAKAR, M. K.; DATTA, A. B. Generation of hydrogen rich gas through fluidized bed gasification of biomass. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 102, n. 2, p. 1907-1913, 2011.

LOHA, C.; CHATTERJEE, P. K.; CHATTOPADHYAY, H. Performance of fluidized bed steam gasification of biomass - Modeling and experiment. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 52, n. 3, p. 1583-1588, 2011.

RAVELLI, S.; PERDICHIZZI, A.; BARIGOZZI, G. Description, applications and numerical modelling of bubbling fluidized bed combustion in waste-to-energy plants. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 224-253, 2008.