

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA DE PIRÓLISE LABORATORIAL DE BAIXO CUSTO

V.H.A. SEBBEN¹, F.P. GASPARIN² e L.A.S. RIES¹

¹ Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, ² Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

E-mail para contato: vhasebben@gmail.com

RESUMO – *O presente trabalho teve por objetivo desenvolver uma planta de pirólise laboratorial de baixo custo para o processamento térmico de diferentes biomassas. Empregando recursos disponíveis no laboratório da Universidade, a planta laboratorial foi construída e colocada em operação. Uma redução de aproximadamente 75% no custo final do reator foi alcançada. Ensaios termoquímicos, em condições de pirólise lenta, foram realizados empregando a biomassa residual oriunda da colheita do eucalipto. Um rendimento médio de aproximadamente 34% foi alcançado para o resíduo. Este valor apresentou boa concordância com o valor obtido pela análise termogravimétrica e com valores encontrados na literatura, demonstrando a eficiência da planta construída.*

1. INTRODUÇÃO

A pirólise é um processo de degradação térmica que ocorre em moderadas temperaturas, na faixa de 300 a 600 °C, na ausência de oxigênio, através do qual materiais orgânicos são convertidos nas fases sólida, líquida e gasosa (SORIA-VERDUGO *et al.*, 2020). É uma tecnologia promissora, que vem recebendo crescente atenção devido a sua flexibilidade em gerar uma combinação de diferentes produtos de elevada qualidade e maior valor agregado (CAMPUZANO, *et al.*, 2019). Uma das grandes vantagens desse processo é a possibilidade de usar vários tipos de matérias-primas, incluindo resíduos industriais, agrícolas, florestais e domésticos (CZAJCZYNSKA *et al.*, 2017).

O rendimento e a qualidade dos produtos gerados são influenciados pela natureza da matéria-prima e pela definição de alguns parâmetros operacionais do processo. A temperatura do reator é o principal fator, contudo outros fatores, tais como a taxa de aquecimento, a granulometria do material de partida, o tempo de residência dos voláteis, o tempo de residência do sólido e o fluxo do gás de arraste são de grande relevância e estão fortemente relacionados com a configuração do reator (LEWANDOSKY *et al.*, 2019). Muitos tipos de reatores podem ser usados para pirólise, incluindo os de leito fixo, leito fluidizado, leito em jorro, cone rotatório, ablativo, forno rotatório, auger, micro-ondas, a vácuo e de plasma, entre outros (SORIA-VERDUGO *et al.*, 2020). Os reatores são usados para diferentes aplicações, dependendo das características da matéria-prima e do produto final desejado, o qual acaba definindo o tipo de pirólise a ser empregada (lenta, intermediária ou rápida) (CAMPUZANO *et al.*, 2019). A

pirólise de diferentes tipos de biomassa exige um reator que atinja as temperaturas desejadas e que tenha flexibilidade para o ajuste dos diferentes parâmetros operacionais. Diante do elevado custo apresentado por empresas de equipamentos científicos, optou-se pela elaboração de um projeto próprio e pela construção, de modo artesanal, de uma planta de pirólise laboratorial, levando em consideração o menor custo possível, a segurança operacional, a robustez nos ensaios, o rendimento e a qualidade dos produtos gerados.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi projetar e construir um reator de pirólise laboratorial de leito fixo e de baixo custo, e comprovar sua eficiência técnica na realização de ensaios de pirólise, empregando a biomassa residual da colheita do eucalipto. São apresentadas as soluções técnicas desenvolvidas ao longo da execução do projeto, bem como os resultados alcançados para o rendimento da fase sólida, produto de interesse nesse trabalho, obtido em condições de pirólise lenta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto do forno mufla e do reator de pirólise foi realizado através de um software de projetos 3D. A construção foi de forma artesanal em bancada de laboratório empregando um conjunto básico de recursos e ferramentas manuais. O forno mufla foi construído com tijolos refratários. A sustentação do forno foi realizada por perfis de alumínio fixados entre si por barras roscadas de aço galvanizado. Na parte superior foi inserido um termopar tipo K, para controle da temperatura no interior do forno.

O reator foi idealizado para ser um equipamento robusto, sendo construído a partir de um tubo cilíndrico de aço inoxidável. Apresenta conexões de mesmo material soldadas lateralmente para entrada e saída dos gases, que são conduzidos por mangueiras de silicone. O volume interno aproximado é de 1200 cm³. A tampa do reator foi projetada para permitir perfeita vedação, sendo fixada por dois parafusos. Uma borda foi soldada na parte interna do reator para suporte da vedação, que é confeccionada com uma gaxeta de fibra cerâmica para operação até 800 °C. Um poço termométrico foi adaptado na câmara para a inserção de um termopar tipo K, a fim de controlar a temperatura no interior do reator.

O reator de pirólise desenvolvido é do tipo leito fixo e a alimentação da biomassa é feita de forma manual, em sistema batelada. A biomassa é disposta em cinco cilindros vazados de aço inoxidável, e cada um possui um volume interno de 30 cm³. Os cilindros são arranjados simetricamente em um suporte de aço inoxidável, inserido no interior do reator.

O aquecimento do forno é obtido a partir de resistência elétrica, com potência de 3000 W e tensão 220 V. A resistência foi confeccionada com uma liga ferrítica de ferro-cromo-alumínio para uso em temperaturas até 1400 °C. O controle de temperatura, tanto do reator quanto do forno é realizado por dois controladores PID da marca Novus, modelos N480D-RP e N1030-PR. O forno pode operar até 1100 °C, considerando as características da resistência e dos materiais empregados. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática dos itens envolvidos na concepção da planta laboratorial de pirólise.

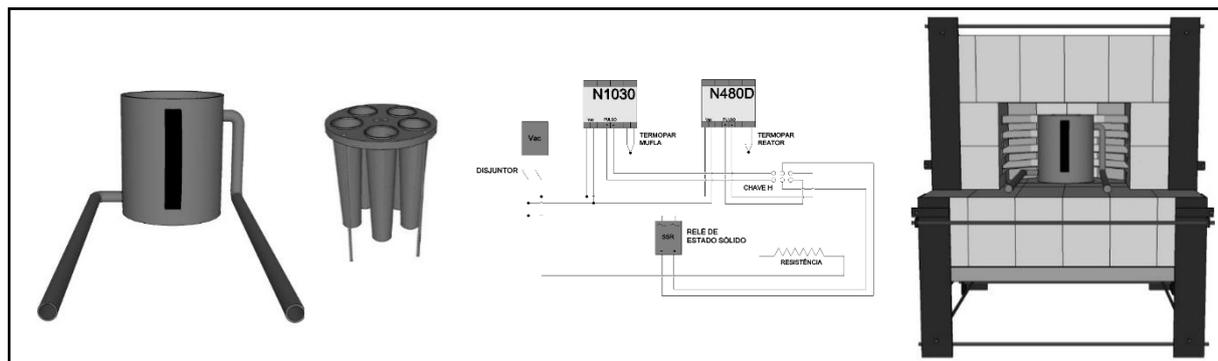


Figura 1 – Da esquerda para direita: reator de pirólise, suporte com cilindros para disposição da biomassa, diagrama elétrico e concepção final do forno (sem tampa).

A fase sólida produzida permanece no interior dos cilindros, enquanto os gases são conduzidos à parte superior do reator, onde através de mangueira chegam ao sistema de condensação, compreendido por um condensador de vidro alimentado por uma unidade de refrigeração operada com água. A fase líquida é coletada em balão de vidro acoplado ao condensador e a fase não condensável é descartada para o exterior do laboratório através de mangueira. A solução técnica para o sistema de condensação ainda não está totalmente estabelecida, sendo que o interesse nos primeiros ensaios de pirólise concentrou-se na obtenção da fase sólida, para aplicação em tecnologias ambientais.

Os ensaios termoquímicos foram realizados com a biomassa residual oriunda da colheita do eucalipto (*Eucalyptus saligna*), em condições de pirólise lenta, com o objetivo de verificar a eficiência da planta de pirólise desenvolvida, e posteriormente analisar as possíveis otimizações a serem aplicadas no sistema. Ensaios foram realizados empregando o resíduo da biomassa assim como suas diferentes partes (cascas, folhas e galhos) separadamente, com granulometria aproximada de 1-5 mm e com umidade inicial de 10%. Os seguintes parâmetros operacionais foram definidos: temperatura de 400 °C, taxa de aquecimento de 20 °C/min, vazão do gás de arraste (N₂) de 1L/min e tempo de residência do sólido de 5 minutos. As condições foram estabelecidas com base em ensaios termogravimétricos realizados previamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os equipamentos desenvolvidos a partir da metodologia apresentada. O investimento para a confecção da planta de pirólise foi de aproximadamente R\$ 5100, salientando que existem custos não contabilizados neste valor, como mão-de-obra e alguns materiais reaproveitados. Esse valor inclui o custo da oficina mecânica da Universidade, cilindro de N₂, tijolos refratários, sistema de controle de temperatura, resistência elétrica e material de consumo. O custo do reator desenvolvido quando comparado a um dos orçamentos solicitados, apresentou uma redução de aproximadamente 75%.

Com relação aos ensaios de pirólise, os seguintes rendimentos gravimétricos foram alcançados: 34,29%; 38,96%; 33,86% e 30,06% para o resíduo, cascas, folhas e galhos, respectivamente. A análise termogravimétrica forneceu os seguintes valores: 35,54%; 26,07%; 41,43% e 36,08% para o resíduo, cascas, folhas e galhos, respectivamente. Pode-se observar uma boa concordância entre os resultados obtidos através dos ensaios de pirólise e os obtidos pela análise

termogravimétrica, principalmente, quando se comparam os valores para o resíduo, evidenciando a eficiência da planta desenvolvida. Resultado similar foi obtido por Chandrasekaran *et al.*, (2018). A proporção das fases produzidas depende dos parâmetros empregados e das características da biomassa, e dessa forma, otimizações no processo podem ser realizadas visando aumentar o rendimento da fase sólida, objeto atual do projeto.



Figura 2 - Equipamentos desenvolvidos com a metodologia apresentada.

4. CONCLUSÕES

Uma planta de pirólise laboratorial para processamento termoquímico de diferentes biomassas foi construída, de forma artesanal e com recursos disponíveis no laboratório da Universidade. Uma redução de aproximadamente 75% no valor estabelecido por empresas de equipamentos científicos foi alcançada. Ensaios termoquímicos com o resíduo da colheita do eucalipto, e suas diferentes partes, foram realizados sob condições de pirólise lenta, objetivando a produção da fase sólida. O rendimento alcançado foi comparado com o valor obtido pela análise termogravimétrica, sendo obtida uma boa correspondência e evidenciando a eficiência da planta desenvolvida.

5. REFERÊNCIAS

CAMPUZANO, F.; BROWN, R. C.; MARTINEZ, J. D. **Auger reactors for pyrolysis of biomass and wastes**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 102, p. 372-409, 2019.

CHANDRASEKARAN, A.; RAMACHANDRAN, S.; SUBBIAH, S. **Modeling, experimental validation and optimization of Prosopis juliflora fuelwood pyrolysis in fixed-bed tubular reactor**. *Bioresorce Technology*, v. 264, p. 66-77, 2018.

CZAJCZYNSKA, D.; ANGUILANO, L.; GHAZAL, H.; KRZYZYNSKA, R.; REYNOLDS, A. J.; SPENCER, N.; JOUHARA, H. **Potential of Pyrolysis Processes in the Waste Management Sector**. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 3, p. 171-197, 2017.

LEWANDOWSKI, W. M.; JANUSZEWICZ, K.; KOSAKOWSKI, W. **Efficiency and proportions of waste tyre pyrolysis products depending on the reactor type - A review**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 140, p. 25-53, 2019.

SORIA-VERDUGO, A.; RUBIO-RUBIO, M.; GOOS, E.; RIEDEL, U. **On the characteristic heating and pyrolysis time of thermally small biomass particles in a bubbling fluidized bed reactor**. *Renewable Energy*, v. 160, p. 312-322, 2020.