



POR MAURO BERNI

Pesquisador das áreas de meio ambiente e energia do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), da Universidade de Campinas (Unicamp-SP)  
E-mail: mberni@unicamp.br

## PRODUTOS DE BASE BIOLÓGICA DERIVADOS DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL – PARTE II

O planejamento para o aproveitamento de biomassa e seus resíduos através de biorrefinarias é a principal estratégia para a bioeconomia, possibilitando a difusão de conceitos de desenvolvimento sustentável com a criação de novos modelos industriais “verdes” com a internalização de demandas sociais e ambientais.

Os principais benefícios da definição de caminhos de conversão em biorrefinarias são: i) facilitar a compreensão da origem e produção de diferentes produtos de base biológica comercializáveis e energia, ii) permitir a distinção entre diferentes tipos de biorrefinarias, iii) fornecer informações mais específicas e reconhecíveis para diferentes partes interessadas, e iv) facilitar o estudo de sistemas de biorrefinarias (primeira geração) atuais e (segunda geração) emergentes.

A biomassa e seus resíduos são um dos mais importantes recursos renováveis utilizados como alternativa para a produção de diferentes produtos de alto valor agregado e bioenergia. A tendência crescente no uso de biomassa e de seus resíduos – doravante denominada apenas de biomassa – é atribuída aos danos ambientais causados pelo uso excessivo de combustíveis fósseis. Diferentes linhas de processamento foram desenvolvidas para o processamento da biomassa.

As biorrefinarias têm sido apontadas como alternativas promissoras para atualizar todos os componentes da biomassa para diferentes setores produtivos. Essas instalações são fundamentais para promover o desenvolvimento sustentável no âmbito da bioeconomia, em diferentes regiões, uma vez que a biomassa é um recurso renovável disponível em todo o mundo (Solarte-Toro e Alzate, 2023).

As biorrefinarias foram pesquisadas e projetadas há muitos anos. Poucas biorrefinarias foram implementadas como processos *greenfield* ou *brownfield*. Além disso, o portfólio de produtos fornecidos pelas instalações existentes pode ser aumentado, uma vez que a maioria das plantas de processamento

de biomassa é direcionada para produzir bioenergia, como por exemplo biogás, biodiesel e bioetanol.

Todavia, tem-se ainda um leque de oportunidades a serem aproveitadas por meio de produtos de alto valor agregado, casos por exemplo de ácido levulínico, bioplásticos, energia térmica e energia elétrica (Solarte-Toro, J. C. *et al.*, 2022). Neste contexto, de acordo com Singh, N. *et al.* (2022) e Solarte-Toro e Alzate (2023), novas linhas de processamento e estratégias para aumentar a utilização de biomassa em biorrefinarias deve ser um objetivo a perseguir com pesquisas na direção de elevar o nível de maturidade tecnológica (Technology Readiness Level, TRL).

O TRL é um indicador definido pela NASA para indicar a maturidade de determinada tecnologia. Ao atingir o nível 9, a tecnologia está desenvolvida para a dimensão comercial, ou seja, quanto maior o indicador, mais madura a tecnologia (NASA, 2023; Mankis, 2023), a saber:

TRL 1: Ideia da pesquisa que está sendo iniciada e esses primeiros indícios de viabilidade estão sendo traduzidos em pesquisa e desenvolvimento futuros.

TRL 2: Os princípios básicos foram definidos e há resultados com aplicações práticas que apontam para a confirmação da ideia inicial.

TRL 3: Em geral, estudos analíticos e/ou laboratoriais são necessários nesse nível para ver se uma tecnologia é viável e está pronta para prosseguir para o processo de desenvolvimento. Nesse caso, muitas vezes, é construído um modelo de prova de conceito.

TRL 4: Coloca-se em prática a prova de conceito, que consiste em sua aplicação em ambiente similar ao real, podendo constituir testes em escala de laboratório.

TRL 5: A tecnologia deve passar por testes mais rigorosos do que a tecnologia que está apenas na TRL 4, ou seja, validação em ambiente relevante de componentes ou arranjos

experimentais, com configurações físicas finais. Capacidade de produzir protótipo do componente do produto.

TRL 6: A tecnologia constitui um protótipo totalmente funcional ou modelo representacional, sendo demonstrado em ambiente operacional (ambiente relevante no caso das principais tecnologias facilitadoras).

TRL 7: O protótipo está demonstrado e validado em ambiente operacional (ambiente relevante no caso das principais tecnologias facilitadoras).

TRL 8: A tecnologia foi testada e qualificada para ambiente real, estando pronta para ser implementada em um sistema ou tecnologia já existente.

TRL 9: A tecnologia está comprovada em ambiente operacional (fabricação competitiva no caso das principais tecnologias facilitadoras), uma vez que já foi testada, validada e comprovada em todas as condições, com seu uso a todo seu alcance e quantidade. Produção estabelecida.

Como se vê a implementação adequada de biorrefinarias industriais requer tecnologias maduras, começando com tarefas de P&D, seguidas de tarefas de planta-piloto, demonstrações e estratégias de implantação. Atualmente, diferentes conceitos de biorrefinaria estão em desenvolvimento, apresentando vários estágios de desenvolvimento do TRL. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos, de acordo com a matéria-prima utilizada e o TRL atribuído.

A implementação de biorrefinarias no setor de celulose e papel, vai ao encontro dos conceitos da bioeconomia, ESG e economia circular e demonstra a incorporação de inovação aos processos produtivos e serviços, o que garantirá a competitividade e perenidade nos mercados a longo prazo com produtos de base biológica. Ao mesmo tempo que fornece bioenergia e bioprodutos, as biorrefinarias criam receitas adicionais para as plantas de celulose e papel. A integração de plataformas tecnológicas nas biorrefinarias propicia melhores resultados na conversão do carbono, embora mais P&DI sejam necessárias

para melhorar a compreensão dos ditos processos integrados. A implementação destas plataformas tecnológicas, exigirão investimentos substanciais e, portanto, uma sistemática abordagem com avaliações técnico-econômicas é necessária para garantir o melhor retorno financeiro possível ao setor. ■

## Referências

IEA Bioenergy, Task42, *Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts Developing a practical approach for characterization*, IEA Bioenergy, 2019, 55 p.

Mankis, J. C. *Technology Readiness Levels*. A White Paper. April 6, 1995. Advanced Concepts Office. Office of Space Access and Technology, Disponível em: [http://www.artemisinnovation.com/images/TRL\\_White\\_Paper\\_2004-Edited.pdf](http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf). Acesso em: jul. 2023.

NASA, Technical Readiness Level (TRL), Disponível em: [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level), Acesso em: jul. 2023.

Solarte-Toro, J. C., Alzate, A. C. *Sustainability of Biorefineries: Challenges and Perspectives*, *Energies*, 16(9), 3786. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16093786>. Acesso em: jul. 2023.

Solarte-Toro, J.C. *et al.*, *Review of the Impact of Socio-Economic Conditions on the Development and Implementation of Biorefineries*. *Fuel*, 328, 12516, 2022.

Singh, N. *et al.*, *Global Status of Lignocellulosic Biorefinery: Challenges and Perspectives*. *Bioresour. Technol.*, 344, 126415, 2022.

**Tabela 1.** Biorrefinaria, Matéria-Prima e TRL

Tipo Biorrefinaria	Matéria-Prima	TRL
Convencional	Bagaço cana, Madeira	9
Lignocelulósica	Resíduos Agrícolas e Florestais	6-8
Marinha	Biomassa Aquática	5-6
Oleoquímica	Biomassas Oleoginosas	7-9

Fonte: IEA Bioenergy, 2019