

# Eficiência energética

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo  
Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura*



## Introdução

A eficiência energética é tema central da meta 7.3 do ODS 7: Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética. Dessa forma, tecnologias que consigam reduzir o gasto energético, direta ou indiretamente, para realizar o mesmo objetivo, se enquadram como contribuição ao seu alcance.

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das formas utilizadas para avaliar esse ganho em termos de sustentabilidade dos processos, e é um dos temas desenvolvidos pela Embrapa. Exemplos desse tipo de tecnologia em que se reduz o gasto energético desenvolvidos na Empresa são: Concentração de suco de tangerina por osmose inversa; Concentração de suco de melancia por osmose inversa; Concentração de suco de melão por osmose inversa; Processo para a concentração de antocianinas do suco de açaí por nanofiltração; Concentração de suco de abacaxi

por osmose inversa acoplada à evaporação osmótica;  
Concentração de suco de acerola por osmose inversa acoplada à  
evaporação osmótica; Processo de microfiltração do suco de  
melão; Concentração de suco de uva por osmose inversa.

## Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida

A produção de energia renovável e sua disponibilização deve ser implementada de forma eficiente, ou seja, sua aplicação deve gerar maior benefício para uma mesma quantidade de energia utilizada. Para se ter esse tipo de desenvolvimento em um primeiro lugar, é necessário ter formas de avaliar a utilização da energia dentro das diversas cadeias produtivas. Uma ferramenta disponível para esse uso é a ACV, que será o foco do presente capítulo. A ACV é a ferramenta mais indicada em avaliações ambientais de processos e produtos (Baumann; Tillman, 2004).

Os principais impactos relacionados com energia são acidificação, eutrofização, mudanças climáticas e escassez hídrica (Turconi et al., 2013). Embora as metas internacionais e as políticas nacionais tenham um foco nas mudanças climáticas (Empresa de Pesquisa Energética, 2015), existem diversos outros danos ao meio ambiente causados pelas atividades de produção de energia. Exemplificando: a) o consumo de água na produção termoelétrica, assim como sua evaporação em reservatórios de hidroelétricas, pode acarretar a escassez hídrica; b) as emissões de óxidos de nitrogênio e enxofre liberados por termoelétricas contribuem para acidificação do solo; c) a produção agrícola de espécies com valor energético e a inundação de áreas com cobertura vegetal emitem nutrientes com potencial de causar a

eutrofização.

Assim, para melhor compreender e reduzir a ocorrência desses impactos, garantindo produção e consumo de energia limpa no Brasil, é importante o uso de ferramentas de avaliação ambiental para escolha e aperfeiçoamento de processos de produção que consomem energia, aplicadas em empresas consumidoras de energia. Dentre as ferramentas disponíveis, destaca-se a ACV, que dispõe de procedimento normatizado pela ISO 14040 e ISO 14044 (International Organization for Standardization, 2006a, 2006b).

Estudos de ACV quantificam os potenciais impactos ambientais, considerando a cadeia de produção, o consumo e pós-consumo de processos e produtos, estejam em desenvolvimento ou em uso. Esses estudos são relativos a uma unidade produzida, consumida ou descartada de produto, permitindo comparações entre processos e produtos similares, a identificação de pontos críticos nos processos que integram o ciclo de vida de um produto e a avaliação de cenários futuros. De acordo com Lelek et al. (2016), a avaliação de sistemas de energia nacionais utilizando a abordagem da ACV possibilita a identificação dos efeitos ambientais e consequentes pontos críticos do sistema elétrico.

A ACV da produção de energia no Brasil, considerando cenários atuais e futuros para a matriz energética brasileira, foi realizada por Martínez et al. (2015) e Moore et al. (2017). Já a ACV do consumo de energia é dependente do processo usuário, envolvendo diversas cadeias produtivas. Assim, a eficiência e menor impacto ambiental no consumo de energia dependem tanto de escolhas de fontes energéticas como dos processos produtivos empregados.

Estudos de ACV realizados pela Embrapa e seus parceiros estão voltados para garantia da eficiência energética em processos produtivos. Esses estudos vêm apoiando a tomada de decisão na produção agrícola e agroindustrial, na definição de políticas públicas sustentáveis e no processo de inovação tecnológica.

Várias fontes de energia renováveis – como cana-de-açúcar, milho, soja, eucalipto, sebo bovino, resíduos agrícolas e agroindustriais – e seus produtos derivados – como etanol de primeira e segunda geração, biodiesel, bioquerosene e biometano – vêm sendo analisados no Brasil (Folegatti-Matsuura et al., 2011, 2017; Seabra, 2011; Nogueira et al., 2014; Chagas et al., 2016; Junqueira et al., 2016; Cavalett et al., 2017; Simioni et al., 2017). Esses estudos orientam o setor produtivo na escolha de fontes de biomassa e processos produtivos menos poluentes.

Junto com o governo, alguns estudos desenvolvidos pela Embrapa e seus parceiros estão subsidiando políticas públicas – como é o caso da Política do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), para o financiamento de usinas *flex*, do Programa RenovaBio (Brasil, 2017) e da Força Tarefa para Combustíveis Alternativos da Organização da Aviação Civil Internacional (AFTF/Icao, na sigla em inglês) (Plano..., 2013).

No primeiro desses estudos, o BNDES buscava conhecer o desempenho ambiental da produção integrada de etanol de cana-de-açúcar e milho em usinas *flex* e confirmar se este novo biocombustível atenderia ao padrão de “biocombustível avançado” determinado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, na sigla em inglês). Segundo a EPA, é classificado como “biocombustível avançado” o biocombustível cujas emissões de gases de efeito estufa (GEE) equivalem a no máximo 50% das emissões do combustível fóssil. Em todos os cenários tecnológicos

estudados, o balanço energético do etanol foi extremamente favorável (variando de 5,5 a 6,9) e a redução de emissões de GEE foi superior a 65% (em relação às emissões da gasolina). As informações geradas nesses estudos orientaram a política de financiamento do banco para empreendimentos dessa natureza (Milanez et al., 2014).

Outro estudo apoia a nova Política Nacional para Biocombustíveis – RenovaBio (Lei nº 13.576/2017). Nesta iniciativa, por demanda do Ministério de Minas e Energia, a Embrapa coordena o grupo técnico que está elaborando o referencial metodológico e a ferramenta para o cálculo da intensidade de carbono de biocombustíveis (RenovaCalc). A diferença entre a intensidade de carbono do biocombustível e do combustível fóssil equivalente gera uma nota de eficiência energético-ambiental, que dará acesso a créditos de descarbonização (CBio), comercializados em bolsa de valores. Um esquema de certificação também está sendo desenvolvido para apoiar o programa (Brasil, 2017).

O terceiro estudo mencionado anteriormente objetiva definir uma metodologia para cálculo de emissões de GEE do bioquerosene de aviação obtido a partir de diferentes rotas tecnológicas (compreendendo diferentes matérias-primas e processos industriais), incluindo aquelas com potencial para produção no Brasil. Esse trabalho integra os esforços do Comitê de Proteção Ambiental na Aviação (Caep, na sigla em inglês), da Icao, para redução de emissões de GEE do setor (Plano..., 2013).

No que se refere ao processo de inovação tecnológica, estudos de ACV de bioprodutos e seus processos inovadores de produção vêm sendo realizados com o intuito de melhorar seu desempenho ambiental, incluindo o energético (Figueirêdo et al., 2012; Nascimento et al., 2016a;

Freire et al., 2017). Podem ser mencionados produtos resultantes do aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais, segundo o modelo de biorrefinaria, como nanopartículas aplicadas a embalagens.

Esses estudos foram conduzidos ao longo do processo de desenvolvimento tecnológico para que ao final do segundo, quando a inovação for ofertada à sociedade, os bioprodutos tenham impacto menor que produtos similares já disponíveis. Como exemplo, têm-se: celulose bacteriana a partir de melaço de soja; colágeno e gelatina a partir de resíduos de tilápia; amido, amido termoplástico, pectina, lignina, fenóis, celulose e nanocelulose a partir de casca e caroço de manga; ácido caproico e lignina a partir do bagaço de cana; emulsões para liberação controlada de fármacos a partir de diversos resíduos; aerogéis e hidrogéis a partir de diversas fibras vegetais (Figueiredo et al., 2010, 2012; Nascimento et al., 2014, 2016a, 2016b; Freire et al., 2015, 2017).

## Considerações finais

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta importante no que se refere à avaliação de ganhos em sustentabilidade, sendo a eficiência energética uma dessas componentes. Esta análise tem recebido atenção e relevância nos últimos anos e tem sido incorporada em várias políticas e programas (públicos ou privados). Um exemplo recente foi sua utilização dentro do Programa RenovaBio, pois será utilizada diretamente no cálculo dos créditos de descarbonização (CBio), em que a metodologia conseguirá diferenciar fábricas ou processos mais eficientes, passíveis de recebimento de maior crédito.

A Embrapa, por sua posição de destaque para as cadeias

produtivas do agronegócio, tem um papel importante na indicação de caminhos mais sustentáveis para cada elo da cadeia produtiva. Essa posição de destaque e influência deve ser cultivada cada vez mais, e para isso é necessário que essa ferramenta se mostre cada vez mais robusta e confiável, e que os processos resultantes sejam amplamente divulgados para sociedade.

## Referências

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. The hitch hiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application. [S.l.]: Professional Publishing House, 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>>. Acesso em: 23 nov 2017.

CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; JUNQUEIRA, T. L.; WATANABE, M. D. B.; BONOMI, A. Environmental impacts of technology learning curve for cellulosic ethanol in Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 106, p. 31-39, Nov. 2017. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.11.025.

CHAGAS, M. F.; CVALETT, O.; KLEIN, B. C.; MACIEL FILHO, R.; BONOMI, A. Life cycle assessment of technologies for greenhouse gas emissions reduction in sugarcane biorefineries. **Chemical Engineering Transactions**, v. 50, p. 421-426, 2016. DOI: 10.3303/CET1650071.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2024**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; RODRIGUES, G. S.; CALDEIRA-PIRES, A.; ROSA, M. de F.; ARAGÃO, F. A. S. de; VIEIRA, V. de P. P. B.; MOTA, F. S. B. Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations – part 1: Ambitec-Life Cycle, a methodological approach for considering life cycle thinking. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 14, p. 1366-1375, Sept. 2010. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.04.012.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; ROSA, M. de F.; UGAYA, C. M. L.; SOUZA FILHO, M. de S. M. de; BRAID, A. C. C. da S.; MELO, L. F. L. de. Life cycle assessment of cellulose nanowhiskers. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 130-139, Nov. 2012. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.05.033.

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; DIAS, F. R. T.; PICOLI, J. F.; LUCAS, K. R. G.; CASTRO, C. de; HIRAKURI, M. H. Life-cycle assessment of the soybean-sunflower production system in the Brazilian Cerrado. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 4, p. 492-501, Apr. 2017. DOI: 10.1007/s11367-016-1089-6.

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; SILVA, G. A. da; KULAY, L. A.; LAVIOLA, B. G. Life cycle inventory of physic nut biodiesel: comparison between the manual and mechanized agricultural production systems practiced in Brazil. In: TOWARDS life cycle sustainability management. Dordrecht: Springer, 2011. v. 1, p. 425-436. DOI: 10.1007/978-94-007-1899-9\_41.

FREIRE, A. L. F.; ARAÚJO JÚNIOR, C. P. de; ROSA, M. de F.; ALMEIDA NETO, J. A. de; FIGUEIRÊDO, M. C. B. de. Environmental assessment of bioproducts in development stage: the case of fiberboards made from coconut residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 230-241, June 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.100.

FREIRE, A. L. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; ROSA, M. de F.; ARAUJO JUNIOR, C. P. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados: uma revisão de literatura. **Espacios**, v. 36, n. 10, p. 1-12, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: environmental management, life cycle assessment, principles and framework. Geneva, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14044**: environmental management, life cycle assessment, requirements and guidelines. Geneva, 2006b.

JUNQUEIRA, T. L.; CAVALETT, O.; BONOMI, A. The virtual sugarcane Biorefinery-A simulation tool to support public policies formulation in bioenergy. **Industrial Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 62-67, Feb. 2016. DOI: 10.1089/ind.2015.0015.

LELEK, L.; KULCZYCKA, J.; LEWANDOWSKA, A.; ZAREBSKA, J. Life cycle assessment of energy generation in Poland. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 1, p. 1-14, Jan. 2016. DOI: 10.1007/s11367-015-0979-3.

MARTÍNEZ, S. H.; KOBERLE, A.; ROCHEDO, P.; SCHAEFFER, R.; LUCENA, A.; SZKLO, A.; ASHINA, S.; VAN VUUREN, D. P. Possible energy futures for Brazil and Latin America in conservative and stringent mitigation pathways up to 2050. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 98, p. 186-210, Sept. 2015. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.05.006.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; XAVIER, C. E. O.; KULAY, L. A.; DONKE, A. C. G.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; RAMOS, N. P.; MORANDI, M. A. B.; BONOMI, A.; CAPITANI, D. H. D.; CHAGAS, M. F.; CAVALETT, O.; GOUVEIA, V. L. R. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, v. 41, p. 147-208, 2014.

MOORE, C. C. S.; REGO, E. E.; KULAY, L. The Brazilian electricity supply for 2030: a projection based on economic, environmental and technical criteria. **Environment and Natural Resources Research**, v. 7, n. 4, p. 17-29, 2017. DOI: 10.5539/enrr.v7n4p17.

NASCIMENTO, D. M. do; ALMEIDA, J. S.; VALE, M. do S.;

LEITÃO, R. C.; MUNIZ, C. R.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. de F. A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part I: proposition of technological pathways. **Industrial Crops and Products**, v. 93, p. 66-75, Dec. 2016a. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.12.078.

NASCIMENTO, D. M. do; DIAS, A. F.; ARAÚJO JUNIOR, C. P. de; ROSA, M. de F.; MORAIS, J. P. S.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. de. A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part II: Environmental assessment of technological pathways. **Industrial Crops and Products**, v. 93, p. 58-65, Dec. 2016b. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.02.063.

NASCIMENTO, D. M.; ALMEIDA, J. S.; DIAS, A. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; FEITOSA, J. P. A.; ROSA, M. de F. A novel green approach for the preparation of cellulose nanowhiskers from white coir. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, p. 456-463, Sept. 2014. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.04.053.

NOGUEIRA, A. R.; DONKE, A. C. G.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; MATAI, P. H. L. S.; KULAY, L. Use of environmental and thermodynamic indicators to assess the performance of an integrated process for ethanol production. **Environmental and Natural Resources Research**, v. 4, n. 4, p. 59-74, 2014. DOI: 10.5539/enrr.v4n4p59.

PLANO de ação para a redução das emissões de gases de efeito estufa da aviação civil brasileira. Brasília, DF: Agência Nacional de Aviação Civil, 2013.

SEABRA, J. E. A. Comparative analysis for power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 421-428, Jan. 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.10.019.

SIMIONI, F. J.; MOREIRA, J. M. M. Á. P.; FACHINELLO, A. L.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. da S. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, 2017. DOI:

10.5902/1980509827758.

TURCONI, R.; BOLDRIN, A.; ASTRUP, T. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: overview, comparability and limitations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 555-565, Dec. 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.013.

---