

Capítulo 4

Processos de produção de energia

Carlos Reisser Júnior

Itânia Pinheiro Soares

Ricardo Luis Radis Steinmetz

Sílvia Belém Gonçalves

Introdução

As fontes renováveis de energia são aquelas em que sua existência e disponibilidade é contínua. São exemplos dessas fontes a energia solar/fotovoltaica, eólica, geotérmica, das marés e da biomassa. No caso pode-se ter essa energia na forma de energia elétrica, ou na forma de biocombustíveis.

A obtenção de energia eólica se dá pelo emprego de aerogeradores, enquanto a fotovoltaica é obtida pelo emprego de materiais que convertem a energia do fóton em eletricidade; e a conversão da biomassa em energia se dá pelo emprego de processos industriais, nos quais são encadeadas várias operações que vão desde o condicionamento da matéria-prima até a obtenção dos produtos finais.

Neste capítulo serão apresentados vários processos de conversão de biomassa, cultivada ou residual, em energia desenvolvidos pela Embrapa, bem como aplicações de geração de energia fotovoltaica e eólica implementadas pela Embrapa, considerados como contribuições para alcançar a meta 7.1 do ODS 7: Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.

Energia a partir do biogás

O biogás é proveniente da digestão anaeróbia da matéria orgânica, presente na biomassa. É um produto obtido a partir da biodigestão de resíduos agroindustriais, podendo ser utilizado na geração de calor, energia elétrica ou mesmo como combustível veicular.

Dentre os constituintes do biogás, há o metano: gás combustível que pode ser usado para aproveitamento térmico, geração de energia elétrica ou mesmo como combustível para veículos automotores. No uso térmico, o biogás é o principal substituto do gás liquefeito de petróleo, do carvão e da lenha, em especial nas

áreas rurais e pequenas comunidades. Nestes locais, biodigestores de pequena escala, que usam como matéria-prima os dejetos de animais, viabilizam o uso do biogás no preparo dos alimentos, no aquecimento de água para higienização, além de permitir o processamento de alimentos da agricultura familiar e evitar problemas de saúde ocasionados pela aspiração de fumaça/fuligem derivada da queima de carvão ou lenha. No tocante à escala industrial, o aproveitamento de resíduos permite o uso do biogás em caldeiras dentro da própria agroindústria, reduzindo custos de produção (tratamento dos resíduos e substituição por outros combustíveis de maior valor), o que reflete na mitigação do custo de elaboração do produto final.

Além do uso térmico, a geração de energia elétrica a partir do biogás já é realidade no Brasil. Com o advento das resoluções normativas Aneel nº 414/2010, nº 482/2012 e nº 687/2015 (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012, 2015, 2016), tem sido possível o acesso à microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia. Isso permite converter o biogás em energia elétrica por meio de um grupo gerador conectado à rede de distribuição. Essa possibilidade fortalece a segurança energética em áreas rurais, permitindo maior disponibilidade de energia às regiões longínquas, além de ampliar a competitividade dos processos agroindustriais pela redução de custos com energia elétrica.

Uma alternativa importante consiste na possibilidade de uso do biometano (biogás purificado) em substituição ao gás natural. A recente Resolução nº 08/2015 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015) regulamentou o uso do biometano para injeção na rede de gás natural e também seu uso como combustível veicular. Indústrias que vão desde a metalurgia, cerâmica, têxtil, fertilizantes até processamento de alimentos utilizam o gás natural, que é proveniente de fontes externas, causando dependências diretas de outros países. A possibilidade de uso do biometano, apesar de apresentar custos maiores, permite ampliar a autonomia energética desses setores da indústria.

Como fonte de matéria-prima (biomassa) para geração do biogás, destacam-se o setor sucroalcooleiro (vinhaça) e o agropecuário (dejetos de animais). A Embrapa tem colaborado diretamente para a geração de conhecimento e implementação de tecnologias para transformação de biomassa em biogás (Cestonaro et al., 2016; Steinmetz et al., 2016). Os desafios consistem em conhecer a disponibilidade das biomassas no Brasil, em adequar o processo de digestão às condições regionais e socioambientais, além de buscar viabilizar soluções de logística e destinação do digestato (ex., reúso de água, fertilização do solo) (Miele et al., 2015;

Bilotta et al., 2017). Destacam-se ações da [Rede BiogásFert](#), criada em parceria com a Itaipu Binacional, com a finalidade de oferecer para a sociedade soluções tecnológicas para a produção e uso integrados de biogás e biofertilizantes orgânicos e organominerais a partir de dejetos animais nos diferentes sistemas de produção agropecuários. A Rede BiogásFert conta com parceria de diversas universidades, órgãos de extensão rural e centros de inovação como o [CIBiogás](#) (Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás). Outras pesquisas de pequeno porte também estão em andamento na Embrapa, envolvendo diversos tipos de biomassas/resíduos (como [pseudocaule de bananeira](#), [glicerol](#), [casca de coco-verde](#), [bagaço de dendê](#)) (Leitão et al., 2009, 2011, 2012a, 2012b, 2013; Viana et al., 2012a, 2012b; Costa et al., 2014a, 2014b), diferentes tipos de biorreatores, vários métodos de pré-tratamento da biomassa para aumento de eficiência de conversão em biogás (Costa et al., 2013, 2014a, 2014b; Silva et al., 2014), etc. Há vertentes de pesquisa em biodigestão com foco na obtenção de hidrogênio (outro gás combustível) (Viana et al., 2014; Vasconcelos et al., 2016) e compostos como o [butanol](#) e ácidos orgânicos (Guilherme et al., 2016), ou mesmo da conversão do próprio metano em outros produtos, como o hidrogênio ([processo de reforma a vapor](#)).

Energia a partir do biodiesel

Os biocombustíveis têm representado papel importantíssimo na matriz energética do País. A oferta de energia proveniente da biomassa já é quase o dobro da energia proveniente de derivados do petróleo (8,0% da primeira contra 4,8% da segunda) (Balanço..., 2016). No caso do biodiesel, em 2016 foram produzidos 3,8 milhões de metros cúbicos do biocombustível no País (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017).

Desde a inserção do biodiesel na matriz energética nacional, em 2005, várias pesquisas vêm sendo realizadas, seja na disponibilização de [matérias-primas](#), na eficiência do processo de produção, buscando também catalisadores que possibilitem a menor geração de efluentes, seja na qualidade do produto que se estende desde o armazenamento até o consumidor final.

A Embrapa Agroenergia tem buscado em suas pesquisas aprimorar o controle de qualidade do produto e seu processo de produção, como no [processo de refino de óleo de polpa de macaúba](#) e no [processo de obtenção de óleo bruto de polpa de macaúba com alta qualidade](#), seja por rota química ou [enzimática](#), a partir de matérias-primas de alta acidez, como óleo de palma. Pela rota química, têm-se

investigados, além da transesterificação, os processos de hidroxidação para dar origem a hidrocarbonetos de cadeia semelhante ao biodiesel.

Trabalhando em parceria com outros centros de pesquisa e agência reguladora no desenvolvimento de métodos para garantia da qualidade do biodiesel, a Embrapa está contribuindo para o acesso confiável à energia. Por sua vez, as pesquisas relacionadas com melhoria dos processos buscam a redução de impactos negativos na produção, em prol da sustentabilidade, além do aumento da eficiência, contribuindo assim para o alcance da meta 7.3.

Etanol de primeira e segunda geração

O bioetanol é comprovadamente um substituto renovável à gasolina proveniente do petróleo. A sua produção mundial no ano 2016 foi de 97 bilhões de litros, sendo que 57% foram produzidos a partir de milho e 27% da cana-de-açúcar, as duas principais matérias-primas para esta commodity (Renewable Fuels Association, 2017). Este bioetanol é comumente conhecido como etanol de primeira geração. No Brasil, a produção de bioetanol dá-se principalmente a partir da cana-de-açúcar, principal matéria-prima na fabricação de açúcar (sacarose). Contudo, ao contrário de que se difunde a respeito da competição de energia versus alimento, boa parte do etanol produzido da cana-de-açúcar utiliza como fonte de carbono, um coproduto, o melaço não cristalizável, do qual não se consegue produzir açúcar cristal e que, portanto, não pode ser comercializado a preços competitivos.

Além do bioetanol produzido a partir de açúcares simples, como a sacarose, hoje o mundo busca tecnologias para a produção desse combustível a partir de materiais lignocelulósicos, o chamado etanol de segunda geração. Há de se destacar que existem algumas plantas industriais em operação no mundo, exemplos são as usinas da DuPont, a espanhola Abengoa e Poet-DSM, instaladas nos Estados Unidos. Contudo, a competitividade econômica desse tipo de etanol ainda deixa um pouco a desejar. A Embrapa vem desenvolvendo pesquisa para a produção de etanol de primeira geração a partir de arroz, sorgo e caldo de cana-de-açúcar (Pacheco et al., 2014; Almeida et al., 2017), e tem atuado também em pesquisas para a produção de etanol de segunda geração, principalmente, a partir de bagaço de cana-de-açúcar. Pesquisas voltadas ao desenvolvimento de novas enzimas, como as seguintes: [Processo de hidrólise de celulose catalisada por celulases imobilizadas](#); [Fungos filamentosos produtores de complexos enzimáticos eficientes para hidrólise de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado por explosão a vapor](#);

[Fungo filamentoso melhorado geneticamente para a produção de celulases e hemicelulases](#); [Fungo filamentoso geneticamente modificado para o aumento de produção de enzimas degradadoras de polissacarídeos](#); [Linhagem de Komagataella phaffii \(Pichia pastoris\) produtora de ácido xilônico](#); [novos microrganismos fermentadores](#); bem como melhorias na eficiência de processo de pré-tratamento dos materiais lignocelulósicos como: [Processo organosolv aplicado à biomassa lignocelulósica](#); [Processo de pré-tratamento de biomassas lignocelulósicas por auto-hidrólise \(tratamento hidrotermal\)](#). Ao passo que contribuímos para a produção de biocombustíveis a preços justos e em maiores quantidades, nos tornamos cada vez menos dependentes do petróleo. Com isso colaboramos para que o País tenha acesso a mais fontes de energia limpas, renováveis e seguras, uma vez que a produção e utilização do bioetanol é uma cadeia cíclica.

Energia solar e eólica

A exploração do solo e da água tem dado sustentação econômica ao meio rural brasileiro. Outros recursos, como a mão de obra que está sendo substituída pela mecanização, têm tornado o nosso país uma potência na área de produção agropecuária. A maior demanda por energia aumenta os custos de produção, o que pode determinar a necessidade de exploração de outros recursos não utilizados da propriedade para a sua viabilização.

A Resolução Normativa nº 482 da Aneel, de 2012 (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012), criou a possibilidade de que consumidores de energia elétrica conectados na rede possam ser geradores de energia, e essa energia gerada possa ser comercializada em forma de créditos com a distribuidora. Portanto, outras fontes de energia do meio rural, como a hídrica, a biomassa, o vento e a radiação solar, podem ser mais bem e mais facilmente aproveitadas como geração de energia elétrica na propriedade.

A energia solar, que é a principal fonte de energia no meio rural, tanto é capaz de gerar energia térmica assim como energia elétrica diretamente. Dependendo do equipamento, essa fonte inesgotável pode complementar a renda da propriedade rural, que possui as condições necessárias para isso, pois espaço e disponibilidade de radiação solar são abundantes. Os painéis fotovoltaicos, que são os principais equipamentos para transformação da energia solar em energia elétrica, possuem células de materiais semicondutores que, quando iluminados, geram uma diferença de potencial liberando elétrons que ficam disponíveis como energia elétrica. Os

painéis que aproveitam a energia térmica solar são equipamentos que, aquecendo líquidos, como a água, servem de fonte energética para várias utilidades.

A energia eólica, que é a energia cinética das massas de ar em deslocamento, é dependente das diferenças de pressão criadas basicamente pela diferença no balanço de radiação e influenciada pelo movimento da terra e o atrito com a superfície terrestre. É uma fonte inesgotável de energia, proporcional ao quadrado da velocidade do vento. Há bastante tempo já é aproveitada para geração de eletricidade e movimento de água.

Com a evolução das tecnologias e das normas legislativas, a Embrapa vê a possibilidade de aumento na geração de renda da propriedade com o aproveitamento desses recursos na propriedade. Historicamente, a pesquisa agropecuária monitora as variáveis agrometeorológicas para uso em suas pesquisas. Por esse motivo, a Embrapa possui um acervo de dados meteorológicos capaz de avaliar as condições de geração de eletricidade no meio rural. Além desse acervo, possui grande quantidade de pesquisadores e laboratórios especializados em agrometeorologia, bem como uma rede de parcerias em todos os estados do País.

Com as condições necessárias para avaliar o potencial energético no meio rural, a Empresa se vê na condição de avaliar o rendimento dos equipamentos inseridos dentro da propriedade, visando verificar a viabilidade técnica e econômica da tecnologia existente, para recomendar a forma correta de utilização.

Para ser um instrumento de formação de políticas públicas e uma orientadora de uso de técnicas viáveis para a geração de renda na propriedade rural, a Embrapa tem aprovado projetos para esclarecer os produtores sobre uma nova forma de produção. Resultados têm mostrado a viabilidade de uso de técnicas de geração elétrica. Apesar de restrições quanto à quantidade gerada, mudanças podem favorecer o produtor para que essas soluções tenham maior importância, principalmente para o produtor familiar (Figura 1). Também se verificou que, somente nas propriedades com áreas menores do que 50 ha, é possível gerar, com pequenas instalações, duas vezes mais do que a maior termoelétrica existente no estado do Rio Grande do Sul.

Fazendo parcerias com as instituições de ensino e pesquisa, por meio da conjunção de conhecimentos, a Embrapa tem conduzido trabalhos que podem melhorar as condições de vida do produtor rural, como o [irrigador solar automático com garrafas usadas](#) ou o [coletor solar para desinfestação de substratos para produção de mudas sadias](#), tornando a geração de energia elétrica uma fonte de renda e, esta geração, o novo produto agrícola brasileiro.



Foto: Paulo Lanzetta

Figura 1. Unidade de geração de energia elétrica fotovoltaica (Embrapa Clima Temperado).

Considerações finais

A Embrapa atua em busca de novos processos para implementação de tecnologias de geração de energia que possam ser utilizadas pelo meio rurais brasileiro, no caso da energia fotovoltaica, eólica e na produção de biogás. Outra frente se dá pelo desenvolvimento dos processos de obtenção de biogás, biodiesel e etanol de primeira e segunda geração.

O grande desafio que persiste é adaptarmos essas tecnologias e processos à realidade do nosso país, em que muitas vezes esses processos não conseguem ser transferidos pela capacidade de investimento e de entendimentos dos seus limites. Isso obviamente cria oportunidades à Embrapa para auxiliar na criação de mecanismos para transdução desses conceitos a diferentes situações.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.** Direitos e deveres dos consumidores e distribuidoras. Atualizada até a Resolução Normativa nº 725 de 7 de junho de 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>

documents/656835/14876406/REN_414-Texto_Compacto-725-2016.pdf/3cc31bf8-4833-4d03-95d9-d93e902bef8c>. Acesso em: 20 dez. 2017. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015**. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=02/02/2015&jornal=1&pagina=100&totalArquivos=156>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Dados estatísticos**. 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ALMEIDA, I. C.; PACHECO, T. F.; MACHADO, F.; GONCALVES, S. B. Optimization of enzymatic hydrolysis process using starch rice as raw material. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS – SINAFERM, 21.; SIMPÓSIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSA – SHEB, 12., 2017, Aracaju, Sergipe. [Anais...]. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2017.

BALANÇO energético nacional 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2016+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAAs+-+Ingl%C3%AAAs+%28PDF%29/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BILLOTA, P.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A.; MORES, R. Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1247-1254, Jan. 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.033.

CESTONARO, A. A.; KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; SCUSSIATO, L. A.; TÁPPARO, D. C.; GASPARETO, T. C. Influence of solid-liquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system. **Journal of Environmental Management**, v. 168, p. 229-235, Mar. 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.12.014.

COSTA, A. G.; PINHEIRO, F. G. C.; PINHEIRO, G. C.; SANTOS, A. B. dos; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Geração de metano a partir de resíduos lignocelulósicos oriundos da produção do biocombustível: revisão. **Revista DAE**, v. 194, p. 36-51, jan./abr. 2014a. DOI: 10.4322/dae.2014.003.

COSTA, A. G.; PINHEIRO, G. C.; PINHEIRO, F. G. C.; SANTOS, A. B. dos; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Pretreatment strategies to improve anaerobic biodegradability and methane production potential of the palm oil mesocarp fibre. **Chemical Engineering Journal**, v. 230, p. 158-165, Aug. 2013. DOI: 10.1016/j.cej.2013.06.070.

COSTA, A. G.; PINHEIRO, G. C.; PINHEIRO, F. G. C.; SANTOS, A. B.; SANTAELLA, S.T.; LEITÃO, R. C. The use of thermochemical pretreatments to improve the anaerobic biodegradability and biochemical methane potential of the sugarcane bagasse. **Chemical Engineering Journal**, v. 248, p. 363-372, July 2014b. DOI: 10.1016/j.cej.2014.03.060.

GUILHERME, A. de A.; RABELO, M. C.; PINTO, G. A. S.; LEITÃO, R. C. Produção de butanol a partir de glicose via processo biológico anaeróbio. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016. 4 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 221).

LEITÃO, R. C.; ARAÚJO, A. M.; FREITAS NETO, M. A.; ROSA, M. F.; SANTAELLA, S. T. Anaerobic treatment of coconut husk liquor for biogas production. **Water Science and Technology**, v. 59, n. 9, p. 1841-1846, 2009. DOI: 10.2166/wst.2009.187.

LEITÃO, R. C.; COSTA, A. G.; CASSALES, A. R.; ALEXANDRE, L. C.; PINHEIRO, F. G. C.; PINHEIRO, G. C.; FREITAS, A. V.; SANTAELLA, S. T.; SANTOS, A. B.; ROSA, M. F. **Biodegradabilidade anaeróbia dos resíduos provenientes das cadeias produtivas dos biocombustíveis**: bagaço de cana-de-açúcar. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. 39 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 80).

LEITÃO, R. C.; COSTA, A. G.; CASSALES, A. R.; ALEXANDRE, L. C.; PINHEIRO, F. G. C.; PINHEIRO, G. C.; FREITAS, A. V.; SANTAELLA, S. T.; SANTOS, A. B.; ROSA, M. F. **Biodegradabilidade anaeróbia dos resíduos provenientes das cadeias produtivas dos biocombustíveis**: bagaço do dendê. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012a. 24 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 72).

LEITÃO, R. C.; FREITAS, A. V.; SOUZA, F. J. de; DANTAS, M. C.; BRÍGIDA, A. I. S.; PINTO, G. A. S.; SANTAELLA, S. T. **Produção de biogás a partir do líquido do pseudocaule da bananeira**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012b. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 187).

LEITÃO, R. C.; VIANA, M. B.; PINTO, G. A. S.; FREITAS, A. V.; SANTAELLA, S. T. **Produção de biogás a partir do glicerol oriundo do biodiesel**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 180).

MIELE, M.; SILVA, M. L. B. da; NICOLOSO, R. da S.; CORRÊA, J. C.; HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; SANDI, A. J. Tratamento dos efluentes de usinas de biogás. **Revista de Política Agrícola**, ano 24, n. 1, p. 31-45, 2015.

PACHECO, T. F.; MENDES, T. D.; GONCALVES, S. B.; PARRELLA R. A. da C.; MACHADO C. M. M. Avaliação da fermentação de caldo de sorgo sacarino empregando leveduras comerciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA - COBEQ, 20.; ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE O ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 15., 2014, Florianópolis - SC. [Anais...]. Florianópolis: UFSC, 2014. Não paginado.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Industry statistics**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454098996479-8715d404-e546>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

SILVA, A. P. F. de S.; COSTA, M. C.; LOPES, A. C.; ABDALA-NETO, E. F.; LEITÃO, R. C.; MOTA, C. R.; SANTOS, A. B. dos. Comparison of pretreatment methods for total lipids extraction from mixed microalgae. **Renewable Energy**, v. 63, p. 762-766, Mar. 2014. DOI: 10.1016/j.renene.2013.10.038.

STEINMETZ, R. L. R.; MEZZARI, M. P.; SILVA, M. L. B. da; KUNZ, A.; AMARAL, A. C. do; TÁPPARO, D. C.; SOARES, H. M. Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganisms inoculum for standardization of BMP assays. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 21-28, Nov. 2016. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.07.031.

VASCONCELOS, E. A. F.; LEITÃO, R. C.; SANTAELLA, S. T. Factors that affect bacterial ecology in hydrogen-producing anaerobic reactors. **BioEnergy Research**, v. 9, n. 4, p. 1260-1271, Dec. 2016. DOI: 10.1007/s12155-016-9753-z.

VIANA, M. B.; FREITAS, A. V.; LEITÃO, R. C.; PINTO, G. A. S.; SANTAELLA, S. T. Anaerobic digestion of crude glycerol: a review. **Environmental Technology**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2012a. DOI: 10.1080/09593330.2012.692723.

VIANA, M. B.; FREITAS, A. V.; LEITÃO, R. C.; SANTAELLA, S. T. Biodegradability and methane production potential of glycerol generated by biodiesel industry. **Water Science and Technology**, v. 66, p. 2217-2222, 2012b. DOI: 10.2166/wst.2012.455.

VIANA, Q. M.; VIANA, M. B.; VASCONCELOS, E. A. F.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Fermentative H₂ production from residual glycerol: a review. **Biotechnology Letters**, v. 36, n. 7, p. 1381-1390, July 2014. DOI: 10.1007/s10529-014-1507-4.