

8. Oferta de Biocombustíveis

Neste capítulo, são apresentadas as perspectivas de expansão da oferta de etanol, para o atendimento à demanda interna e à parcela do mercado internacional abastecida pelo Brasil, assim como as projeções de biomassa de cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica e de oferta de biodiesel, biogás e bioquerosene de aviação, no horizonte do PDE.

Assinala-se que as projeções da oferta de biocombustíveis elaboradas nesse ciclo de estudos consideram os sinais positivos advindos do estabelecimento da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), através da Lei nº 13.576, promulgada em dezembro de 2017 (BRASIL, 2017a). Esta importante política pública reconhece o papel estratégico dos biocombustíveis na matriz energética nacional, com foco na segurança do abastecimento de combustíveis e na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (EPE, 2018a). Cabe destacar as ações

estruturantes realizadas em 2018 e 2019 para a implementação do RenovaBio, que terão desdobramentos neste horizonte de estudo: o estabelecimento das metas nacionais de redução de emissões (CNPE, 2018b), a publicação da resolução que regulamenta a Certificação da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis (ANP, 2018b) e da que dispõe sobre a individualização das metas compulsórias anuais (ANP, 2019c). Os processos de credenciamento das firmas inspetoras e de certificação das unidades produtoras de biocombustíveis também foram iniciados (ANP, 2019b). A publicação da última resolução que tratará sobre a emissão, vencimento, distribuição, intermediação, custódia, negociação e demais aspectos relacionados aos Créditos de Descarbonização (CBIO), instrumento financeiro negociado em mercado organizado (B3 S.A.), ocorrerá até o fim de 2019 para que a Política esteja em pleno funcionamento em 2020.

8.1 Etanol

OFERTA DE ETANOL NO BRASIL

A produção nacional de etanol tem relação direta com as condições edafoclimáticas, com o cultivo adequado da cana-de-açúcar e com o mercado internacional de açúcar.

O panorama geral recente desse setor evidencia que o alto endividamento de parte de suas empresas tem dificultado não apenas os investimentos *greenfields* (novas usinas), mas também os direcionados a *brownfields* (expansão e/ou *retrofit* de usinas existentes).

Este elevado endividamento também trouxe reflexos negativos para a manutenção e o aprimoramento do ativo biológico (renovação de canavial, desenvolvimento e inserção de novas variedades, etc.), afetando os parâmetros de produtividade e rendimento da indústria.

Registra-se que esse nível de endividamento contribuiu para a queda dos recursos captados pelo setor sucroenergético junto ao BNDES, que, em 2018, corresponderam a cerca de 27% do observado em 2013 (BNDES, 2019a).

O setor sucroenergético brasileiro se aproveita de sua flexibilidade na produção de açúcar e etanol (reduzindo riscos) para se ajustar às flutuações de mercado e maximizar suas receitas ou minimizar as perdas. Entre o final de 2015 e o início de 2017, com a elevação dos preços internacionais do açúcar, migrou seu *mix* produtivo para esta *commodity*. No período de 2017 a 2019, a dinâmica do mercado de açúcar se inverteu e, conjuntamente com a elevação do preço da gasolina C ao consumidor, impulsionou a destinação do ATR para o etanol, que saiu de 54% para 65% do *mix* em 2018 (EPE, 2019a).

A política de paridade de preços internacionais da gasolina, anunciada pela Petrobras no final de 2016, em uma recente situação de alta dos preços do petróleo no mercado internacional, bem como a majoração das alíquotas dos tributos federais incidentes sobre a gasolina (BRASIL, 2017a), também contribuíram para melhorar a rentabilidade do negócio.

Observa-se que o setor está passando por um período de ajustes, no qual busca o equacionamento da sua situação financeira. Neste contexto, estão inseridas ações para melhoria dos fatores de produção, as quais propiciam redução dos custos e aumento de margem, elevando sua sustentabilidade financeira.

Sob a ótica das políticas públicas, o governo federal vem se utilizando de instrumentos regulatórios e também tem procurado sinalizar e prover os incentivos econômicos adequados para a retomada dos investimentos. Citam-se a manutenção das linhas de financiamento, a diferenciação tributária entre o etanol e a gasolina⁴⁹ e, mais recentemente, o estabelecimento da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

A projeção da oferta de etanol considera uma série de premissas, tais como: ciclo da cana (cinco cortes); expansão da capacidade produtiva; evolução dos fatores de produção (como produtividade agrícola (tc/ha), área e qualidade da cana (ATR/tc); produção de açúcar; índice de transformação industrial; o estágio tecnológico do etanol de segunda geração (lignocelulósico/E2G) e a produção de etanol de milho. Para maior detalhamento da metodologia utilizada para a projeção da oferta de etanol, sugere-se consultar o PDE 2024 (EPE, 2015) e a publicação Cenários de Oferta de Etanol e Demanda de Ciclo Otto 2018 - 2030 (EPE, 2018c).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019b) registrou, em

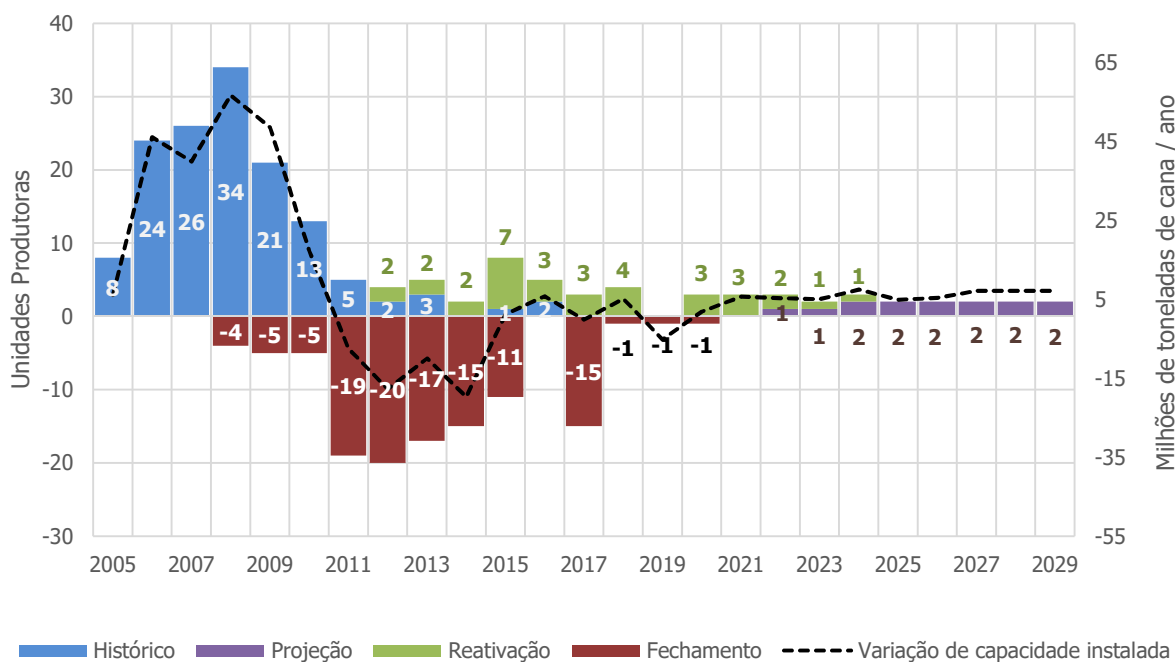
dezembro de 2018, 369 unidades produtoras de etanol e açúcar no Brasil, cuja capacidade instalada efetiva de moagem é de 750 Mtc (fator de capacidade de 90% da nominal). Considerando a moagem realizada em 2018 (609 Mtc), conclui-se que a ocupação da capacidade efetiva de processamento foi de 81% (EPE, 2019a).

Segundo ANP (2019a), as unidades autorizadas a produzir etanol tinham capacidades de produção de anidro e hidratado de 126 mil m³/dia e 233 mil m³/dia, respectivamente, em dezembro de 2018. Estimou-se uma capacidade de produção anual de anidro e hidratado de 23 bilhões de litros e 42 bilhões de litros, respectivamente (considerando-se uma média de 180 dias de safra). O ano de 2018 registrou o fechamento de 1 unidade e 4 retomaram suas atividades. Ainda existem 64 unidades operando em situação de recuperação judicial, o que representa 137 milhões de toneladas de cana em capacidade efetiva de moagem.

A projeção da capacidade de produção de etanol, a partir da cana-de-açúcar, é analisada em dois períodos distintos: de 2020 a 2022 e de 2023 a 2029. No primeiro período, os investimentos para expansão da capacidade são referentes a projetos já em construção (neste caso, uma unidade). Já no segundo período, dentre os cenários avaliados, foi escolhido para apresentação nesse PDE o que considera a implantação de 13 unidades com capacidade de moagem específica de 3,5 milhões de tc/ano/usina (UNICA, 2014). Também foi considerada a expansão da capacidade instalada de 16 unidades existentes, adicionando à capacidade produtiva nominal cerca de 9 Mtc, sendo necessário mais 31 Mtc em expansões adicionais (não mapeadas). Reativações e paralisações resultarão em um saldo positivo de 11,5 Mtc (nominal) entre 2019 e 2022. O Gráfico 8-1 apresenta o fluxo de unidades produtoras de cana (histórico, novas unidades, reativação e fechamento) e a variação da capacidade instalada.

⁴⁹ Em janeiro de 2017, houve o retorno da incidência do PIS e da Cofins sobre o etanol. Em julho daquele ano, aumentaram as alíquotas desses tributos, tanto para o etanol quanto para a gasolina, o que resultou em um incremento da diferenciação tributária entre esses combustíveis. Maiores informações sobre esse tema podem ser encontradas no artigo publicado na Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis (EPE, 2017).

Gráfico 8-1 - Fluxo de unidades produtoras de cana-de-açúcar e variação de capacidade instalada



Fonte: EPE com base em MAPA (2019b) e UNICA (2014)

Nas últimas safras, a idade média do canavial permaneceu elevada (em torno de 3,9 anos). Este fator, associado às condições climáticas, influenciou a produtividade da cana na safra 2018/19 (72,2 tc/ha) (CONAB, 2019). Nesta mesma safra, a qualidade da cana apresentou o melhor registro em oito anos (140,6 kg ATR/tc), devido a fatores associados ao clima e, principalmente, à redução da quantidade de impurezas totais (minerais e vegetais) presentes na cana colhida, 9,7% (2017) para 9,1% (2018).

A colheita mecanizada foi implantada, principalmente, para atingir as metas impostas pelas leis e acordos ambientais de redução das queimadas. Contudo, observa-se que houve um descompasso entre a mecanização da colheita e do plantio, além de outras operações ligadas ao cultivo da cana. Ressalta-se que tecnologias e sistemáticas de produção capazes de solucionar estes problemas e aumentar o rendimento já estão sendo utilizadas por alguns produtores, o que poderá elevar este indicador. Estes temas são objeto de contínua avaliação por especialistas em centros de pesquisa e por gerentes agrícolas. Considerou-se, então, que parte do setor buscará a implementação

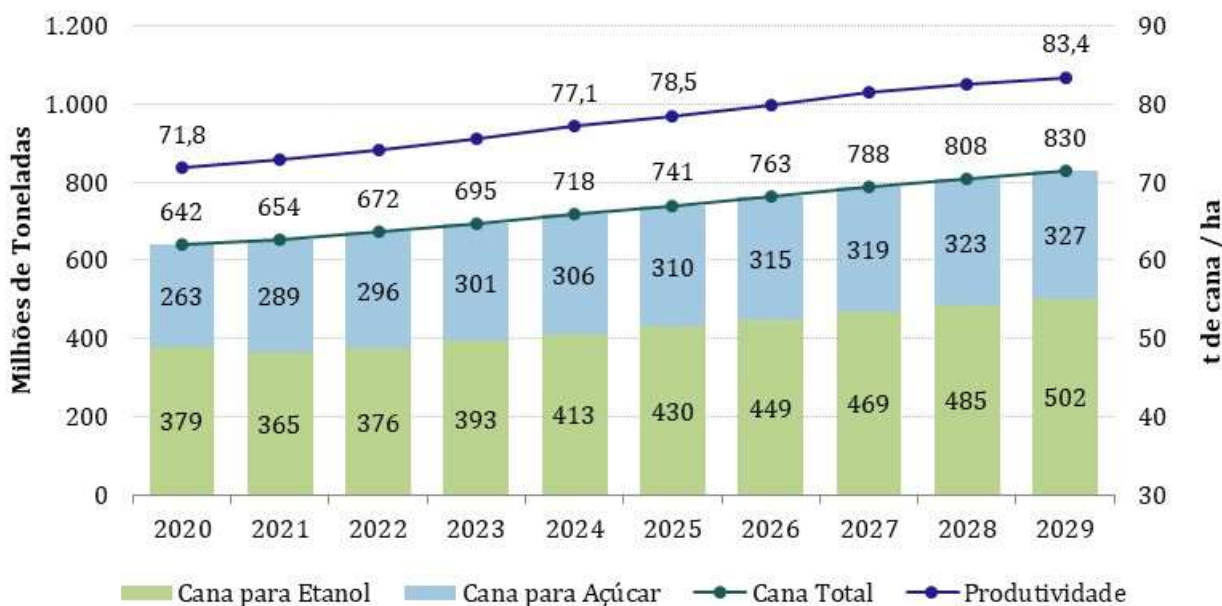
de melhores práticas, através do manejo varietal e agrônomico, de forma a reduzir seus custos de produção, elevando a sustentabilidade econômica.

Nesse ciclo de estudos, a cana-energia (CE) representará, em 2029, uma pequena parcela da área total de produção de cana (162 mil ha). No horizonte decenal, estima-se que a área de colheita passará de 8,4 milhões de hectares em 2019, para 9,9 milhões de hectares em 2029. A produtividade crescerá 1,2% a.a., atingindo 83,4 tc/ha em 2029, enquanto que o rendimento estará no patamar de 140 kg de ATR/tc, em 2029.

A partir da área e da produtividade, estima-se que a cana colhida cresça a uma taxa de 2,9% a.a., atingindo 830 milhões de toneladas em 2029, conforme Gráfico 8-2. Nesse contexto, o percentual de cana destinada ao etanol varia de 61%, em 2019, para 60%, em 2029, aumento que se deve à maior demanda pelo biocombustível.

Para o horizonte decenal, estima-se que os investimentos para a formação do canavial sejam de aproximadamente 29 bilhões de reais, considerando-se a relação entre cana planta (área nova + renovada) e cana total de 17%.

Gráfico 8-2 - Produtividade, cana colhida e destinação para etanol e açúcar



Nota: Produtividade em Ano Safra
 Fonte: EPE com base em CONAB (2019) e MAPA (2019b)

O Brasil possui duas plantas comerciais de etanol de segunda geração (Granbio e Raízen) e uma experimental (Centro de Tecnologia Canavieira - CTC), com capacidade de produção nominal de 60, 40 e 3 milhões de litros, por ano, respectivamente (GRANBIO, 2019) (NOVACANA, 2018). As unidades comerciais enfrentam problemas técnicos, como na etapa de pré-tratamento e filtragem da lignina, que estão sendo resolvidos e, portanto, ainda operam abaixo da capacidade nominal.

Nas projeções, julgou-se mais econômica e competitiva a integração da produção de etanol lignocelulósico com a convencional. As usinas que já possuem cogeração e tiverem interesse em produzir etanol lignocelulósico deverão avaliar a disponibilidade e diversidade de matéria-prima (recolhimento de palhas e pontas e a possibilidade de cana-energia), bem como a eficiência do processo produtivo (troca de caldeiras e turbinas e eletrificação de equipamentos).

A produção de etanol 2G utilizará pequena parcela do bagaço e da palha produzidos, e deverá ser significativa somente no final do período, atingindo cerca de 722 milhões de litros em 2029

(fator de conversão de 300 litros de etanol por tonelada de bagaço seco).

A divisão do ATR total entre o açúcar e o etanol é feita considerando a maior rentabilidade da commodity e a grande participação do Brasil no seu comércio mundial. Dessa forma, retira-se do ATR total a quantidade necessária para atender às suas respectivas demandas, obtendo-se, como resultado, a parcela destinada ao etanol.

O índice de transformação industrial (base 2015) do hidratado variará, no período decenal, de 1,658 para 1,650 kg ATR/litro e o do anidro, de 1,747 para 1,733 kg ATR/litro, ambos por eficiência do processo de transformação do ATR em etanol, pela fermentação de alto teor alcoólico. Já o fator de conversão do açúcar permanecerá constante, em 1,047 kg ATR/kg (CEOXPO, 2016).

A projeção da produção brasileira de açúcar é composta por duas partes: consumo interno e exportação. O consumo interno considera a evolução do consumo per capita brasileiro (kg/hab./ano) e está relacionado aos aspectos de renda, envelhecimento da população e mudanças

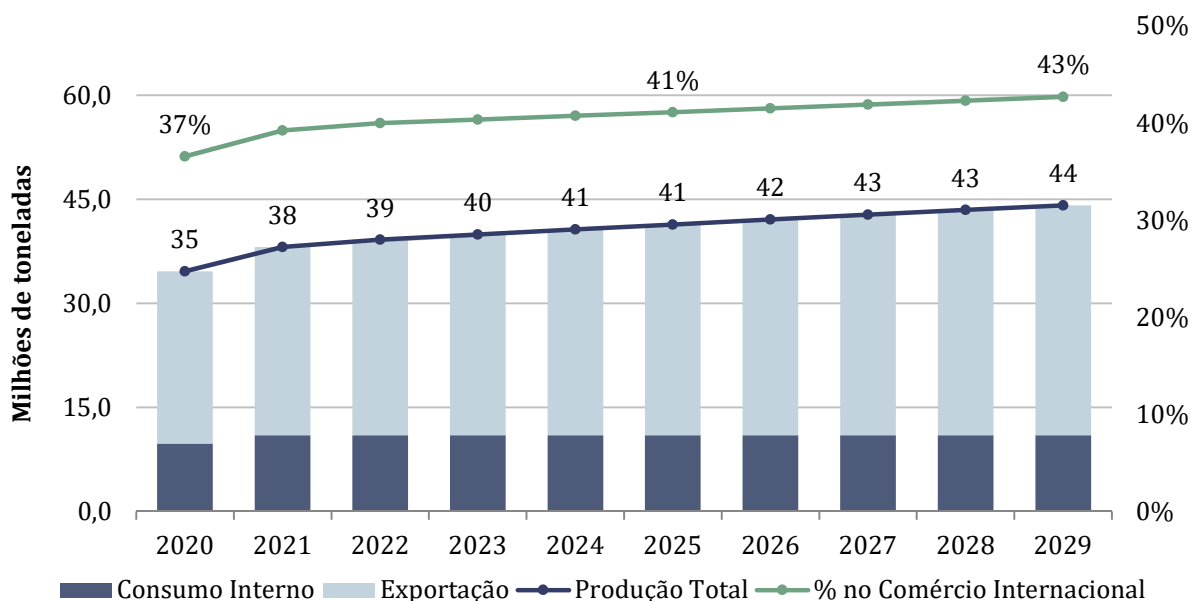
de hábitos alimentares (ISO, 2017; MAPA, 2016, 2019).

Na parcela dedicada ao mercado externo, o Brasil mantém a sua posição de destaque, sendo responsável por, em média, 40% do fluxo do comércio internacional, com base em: aumento de oferta para atender ao crescimento da demanda nos países importadores, a exemplo da África e Ásia

(OCDE/FAO, 2006, 2012, 2016); crescimento da produção em países como Índia e Tailândia (DATAGRO, 2019) e fim das cotas de produção de açúcar, a partir de 2017, pela UE (DATAGRO, 2015).

A projeção da produção de açúcar, distribuída nas parcelas referentes aos mercados interno e externo, é apresentada no Gráfico 8-3 e alcança 44 milhões de toneladas em 2029.

Gráfico 8-3 - Projeção da produção brasileira de açúcar



Fonte: EPE com base em FAO (2006, 2012, 2016), ISO (2017) e MAPA (2016, 2019b)

O uso do milho para a produção de etanol permite aproveitar ocasiões de baixa do preço do grão, visto que os custos logísticos do escoamento da região Centro-Oeste impactam a competitividade do produto no mercado internacional, o que induz os investimentos em novas unidades produtoras. Além disso, são gerados como coprodutos o óleo de milho, destinado ao consumo humano, e o DDGS (*distiller's dried grains with solubles*), para nutrição animal, o que adiciona mais dois ativos no *pool* de receitas das usinas (IMEA, 2017; MILANEZ *et al.*, 2014). Atualmente, existem sete unidades do tipo *flex* (associadas às unidades de etanol de cana) e uma unidade *full* (milho como único insumo), cuja capacidade agregada anual foi de cerca de 900 mil m³, em 2018. Para 2019, este volume deverá chegar a 1.900 mil m³ com a implantação de duas unidades e uma expansão.

No horizonte decenal, estima-se a implantação de 4 unidades *Flex* e 9 do tipo *Full*, a capacidade instalada chegará a 4,5 milhões de m³ (IMEA, 2017). Dessa forma, projeta-se que a produção de etanol de milho alcance cerca de 4 bilhões de litros em 2029.

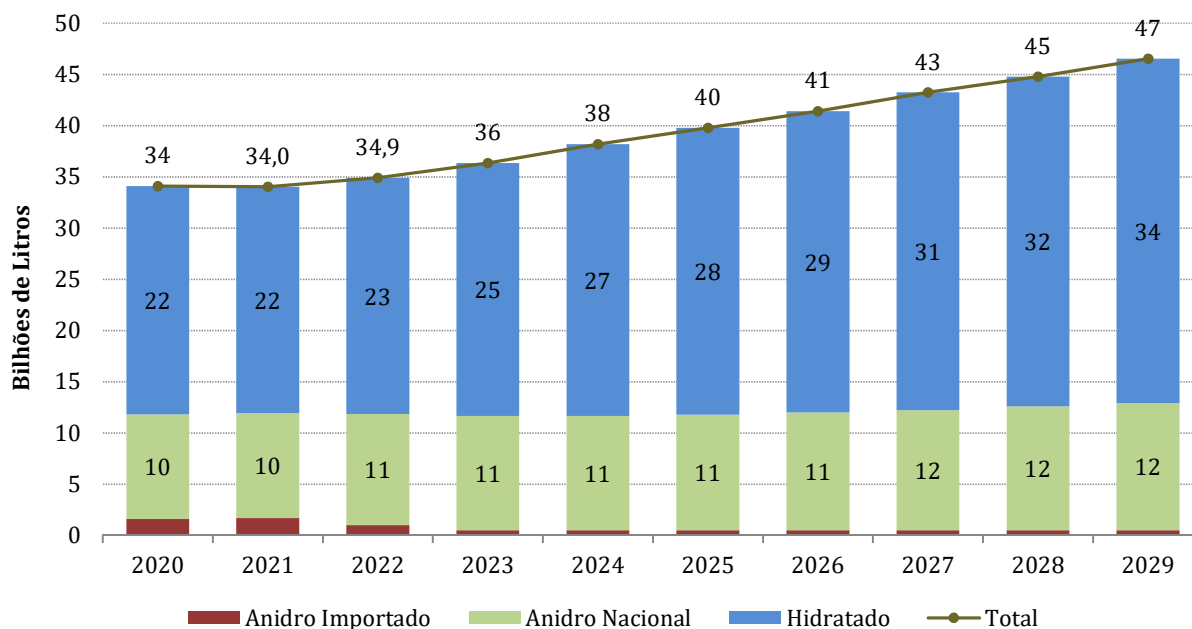
Quanto às importações de etanol, serão necessárias aquisições pontuais de anidro no mercado externo para equilíbrio comercial, chegando a 1,7 bilhão de litros em 2019, diminuindo gradualmente para 500 milhões de litros em 2023 e permanecendo constante até o fim do período.

Como resultado da produção nacional e das importações, a oferta total de etanol crescerá a uma taxa de 2,4% a.a., alcançando 47 bilhões de litros em 2029, conforme apresenta o Gráfico 8-4. Para o etanol hidratado, essa taxa é de 2,7% a.a., chegando

a 34 bilhões de litros em 2029, enquanto que o anidro (nacional e importado) se mantém no

mesmo patamar de 2017, com 13 bilhões de litros ao final do período.

Gráfico 8-4 - Projeção da oferta total de etanol (produção brasileira e importação)



Fonte: EPE com base em EPE (2018a) e MAPA (2019b)

INVESTIMENTO - CAPACIDADE PRODUTIVA

Para a avaliação dos investimentos necessários em unidades sucroenergéticas de primeira geração (*greenfields*), considerou-se que estas seriam mistas ou destilarias, com perfil tecnológico otimizado e tamanho médio de 3,5 milhões de toneladas de capacidade nominal de moagem de cana. Estima-se que, para este perfil, o investimento médio seja de R\$ 360/tc, conforme Tabela 8-1. Para a expansão de unidades existentes, adotou-se um investimento médio de R\$ 260/tc.

Com isso, os investimentos em capacidade industrial deverão ser da ordem de R\$ 17 bilhões, referentes às novas unidades propostas, e de R\$ 10 bilhões, para as expansões levantadas, totalizando

R\$ 27 bilhões no período decenal (CTBE, 2018; UNICA, 2014).

A estimativa dos investimentos em novas plantas de etanol lignocelulósico tem como base os valores das unidades comerciais em operação no Brasil, estimados em R\$ 5,6/litro. O montante totaliza R\$ 4,2 bilhões entre 2010 e 2029. Ressalta-se que esse valor poderá ser menor, em função da curva de aprendizagem do setor.

Para o etanol de milho, estima-se que o CAPEX para a implantação de uma usina *flex* será de R\$ 1,60/litro, enquanto que para uma usina *full*, o valor é de R\$ 1,80/litro (CTBE, 2018; IMEA, 2017; UNEM, 2018). Com isso, o investimento estimado é de cerca de R\$ 4,7 bilhões.

Tabela 8-1 - Investimento médio para construção de novas unidades e expansão das existentes (cana-de-açúcar)

CAPEX	R\$ (dez. 2017) / tc
Expansão de unidades existentes (<i>Brownfield</i>)	256,0
Novas unidades (<i>Greenfield</i>)	359,8
Industrial (inclui cogeração otimizada)	287,6
Maquinário Agrícola (inclui caminhões)	67,9
Arrendamento (região Centro-Oeste)	4,3

Nota: Para as usinas de cana convencional, o CAPEX foi dado por tonelada de cana, uma vez que pode haver a destinação de parte da produção para o açúcar (diferentemente do apresentado nas unidades de E2G e Etanol de milho).

Fonte: EPE com base em CTBE (2018) e UNICA (2014)

DEMANDA TOTAL DE ETANOL

A demanda total de etanol é constituída pelas parcelas nacional (combustível e outros usos) e internacional (a ser atendida pelo Brasil).

DEMANDA DO MERCADO INTERNO

A demanda de etanol combustível (anidro e hidratado) parte de 33,9 bilhões de litros em 2019, cresce a 2,5% a.a. e atinge 43 bilhões de litros em 2029. Esse aumento da demanda combustível justifica-se pela maior competitividade do hidratado frente à gasolina, em parte por conta dos sinais positivos provenientes do RenovaBio, em parte por conta da melhoria dos fatores de produção realizada pelo setor. Estima-se que o uso não combustível (bebidas, cosméticos, produtos farmacêuticos, compostos oxigenados e álcoolquímicos) permanecerá praticamente no mesmo patamar, saindo de 1,09 bilhão de litros em 2019, atingindo 1,17 bilhão de litros em 2029.

DEMANDA INTERNACIONAL

Brasil e Estados Unidos concentraram, em 2018, 85% da produção mundial de etanol. O mercado internacional apresenta baixos volumes transacionados e poucos países participantes. Em todo o mundo, observa-se o apoio às políticas de

incentivo à eficiência energética e/ou promoção de fontes energéticas mais avançadas e tendência a modestos volumes comercializados. Apesar desses fatores, estima-se que os biocombustíveis continuarão importantes para a segurança do abastecimento, diversificação da matriz energética e redução da emissão de GEE.

Em 2018, pelo segundo ano consecutivo o Brasil apresentou um saldo negativo na balança comercial de etanol, de 0,1 bilhão de litros (com importações totalizando 1,8 bilhão de litros) (EPE, 2019a). Nesse contexto, foram alterados os critérios de taxaço para o etanol importado, através da aprovação da Resolução CAMEX nº 72, em 29/8/2017 (CAMEX, 2017). Esta dispõe que a isenção do Imposto de Importação sobre o biocombustível está limitada a uma cota de 150 milhões de litros por trimestre, a qual não poderá ultrapassar 1,2 bilhão de litros, em 24 meses.⁵⁰ Ainda assim, não foi suficiente para reverter a tendência geral das importações (MDIC, 2019).

Apresenta-se, a seguir, uma perspectiva da produção e uso de etanol com ênfase nos EUA e União Europeia, de forma a embasar a avaliação do potencial de exportação brasileira do produto.

⁵⁰ Em 31 de agosto de 2019, foi aprovada a Portaria nº 547, que mantém a isenção sobre o imposto de importação de etanol por mais um ano a partir da data de promulgação e ainda aumenta os limites volumétricos trimestrais para os quais a isenção se aplica, de 150 para 187,5 bilhões de litros (BRASIL, 2019).

ESTADOS UNIDOS

A lei *Energy Independence and Security Act* de 2007 (EISA) dita a política energética americana e, através do Padrão de Combustíveis Renováveis (*Renewable Fuel Standard – RFS*), estabelece a adição de biocombustíveis⁵¹ ao combustível automotivo, em percentuais crescentes até 2022 (EUA, 2007).

Incentivado pela EISA, o país tem apresentado recordes consecutivos na produção de etanol de milho (61 bilhões de litros em 2018), cujo principal destino é o atendimento à demanda interna de 54 bilhões de litros, cuja média dos últimos anos tem se mantido estável, em torno dos 50 bilhões de litros, o equivalente a 10% do consumo anual de gasolina. Este fato é reflexo da política energética americana, a qual estabelece o mandatório de 10% de etanol⁵² adicionado à gasolina (E10) (EIA, 2019).

Os volumes de etanol misturados à gasolina são suficientes para o cumprimento da parcela de biocombustível convencional (etanol advindo do milho) estabelecida pela RFS (EUA, 2007). No entanto, a dificuldade para a produção comercial do etanol celulósico permanece. Assim como em anos anteriores, a EPA se viu forçada a reduzir as metas da RFS para esta parcela (EPA, 2018), passando para 1,1 bilhão de litros em 2018, quando originalmente era de 20,8 bilhões de litros e 1,6 bilhão de litros em 2019 (de 32,2 bilhões de litros).⁵³

UNIÃO EUROPEIA

O bloco mantém a Diretiva 2009/28/CE como principal instrumento de promoção à utilização de fontes renováveis, com as metas indicativas de participação do consumo final automotivo e da matriz energética total, de 10% e 20%, respectivamente, para 2020 (UE, 2009). Permanecem também as metas de 20% de mitigação de GEE (em relação aos níveis de 1990)

e de aumento da eficiência energética - “Triplo 20” ou *Climate and Energy Package* (UE, 2008).

Em 13 de novembro de 2018, o Parlamento Europeu aprovou uma série de mudanças nos planos de ação climática e energética para a União Europeia. Para 2020 prevalecem as atuais metas do Triplo 20: 20% de redução nas emissões de GEE, 20% de participação de fontes renováveis no consumo energético (com 10% no consumo automotivo) e 20% de aumento na eficiência energética, todos tendo como referência o ano de 1990. Em 2030, as metas serão aumentadas para 40%, 32% e 32,5%, respectivamente (EC, 2018).

Os planos atuais focam em fontes avançadas de energia, como os biocombustíveis de segunda geração. O bloco limitará a participação dos biocombustíveis tradicionais (etanol de cana e milho e biodiesel de oleaginosas), a um máximo de 7% de participação na demanda energética até 2020, gradualmente diminuídos de modo que, a partir de 2030, sua participação não será mais contabilizada no cumprimento da meta.

Além dos mercados dos EUA, Coreia do Sul, Japão e União Europeia permanecerão como principais importadores de etanol do Brasil.

Para a projeção do volume de etanol a ser exportado pelo Brasil, foram realizadas análises de mercado, que consideraram, entre outras, as restrições na produção brasileira deste biocombustível e o atendimento ao mercado interno. Para os EUA, adicionalmente, tomou-se como referência as estimativas de importação do produto pelo país, elaboradas pela EIA, e as novas diretrizes da EPA. Dessa forma, as exportações brasileiras partem de 1,7 bilhão de litros em 2019 e alcançam 2,0 bilhões de litros em 2029.

⁵¹ Em função da redução de GEE no ciclo de vida dos biocombustíveis, esse programa estabeleceu a seguinte classificação: renováveis (etanol e biobutanol de milho), avançado (etanol de cana-de-açúcar), diesel de biomassa (biodiesel) e celulósico (etanol e biodiesel celulósico).

⁵² Misturas com 15% de etanol (E15) também são permitidas, dependendo da disponibilidade nos postos e da preferência do consumidor.

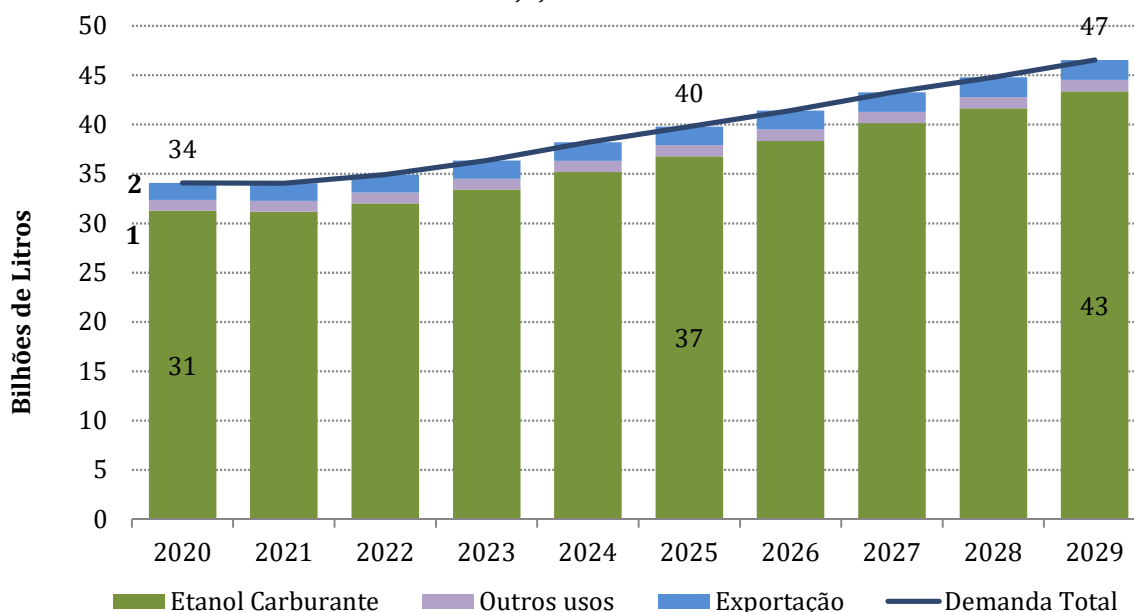
⁵³ A EPA também diminuiu os volumes totais de biocombustíveis avançados, para 2018 e 2019, de 41,6 para 16,2 bilhões de litros e de 49,2 para 18,6, respectivamente (EPA, 2018).

DEMANDA TOTAL

O Gráfico 8-5 consolida as demandas nacional (carburante e outros usos) e internacional

de etanol. A demanda total de etanol tem uma taxa de crescimento de 2,4% a.a., alcançando 47 bilhões de litros em 2029, sendo o grande incremento advindo da demanda de hidratado carburante.

Gráfico 8-5 - Projeção da demanda total de etanol



Fonte: EPE com base em EPE (2019b)

LOGÍSTICA

O modo rodoviário continua representando a maior parte do transporte de etanol no Brasil, apesar de possuir maiores custos energéticos e ambientais do que os outros (ferroviário, dutoviário e hidroviário). Com a expansão projetada do mercado de etanol nos próximos dez anos, além do aumento da capacidade de armazenamento, faz-se necessário investir na diversificação dos modos utilizados na distribuição, para a eficiência do sistema de transporte.

Dentre os investimentos no modo dutoviário, está o Projeto da Logum Logística S.A, que prevê a construção de dutos próprios e a utilização de existentes, com extensão de 1.054 km. O valor total estimado para o projeto é de R\$ 5,2 bilhões, dos quais R\$ 1,2 bilhão já foram aplicados nos trechos construídos e atualmente em operação (LOGUM, 2019b).

A capacidade de armazenagem estática do projeto é de 790 milhões de litros e a capacidade de movimentação anual é de 6 bilhões de litros.

Os trechos dos dutos que já se encontram em operação são:

- Próprios: Ribeirão Preto (SP) - Paulínia e Uberaba (MG) - Ribeirão Preto (SP);
- Subcontratados: Paulínia (SP) - Barueri (SP); Paulínia (SP) - Rio de Janeiro (RJ) e Guararema (SP) - Guarulhos (SP).

A capacidade de armazenamento dos tanques (volume útil) nos terminais operacionais do sistema é de 619 milhões de litros (LOGUM, 2019b).

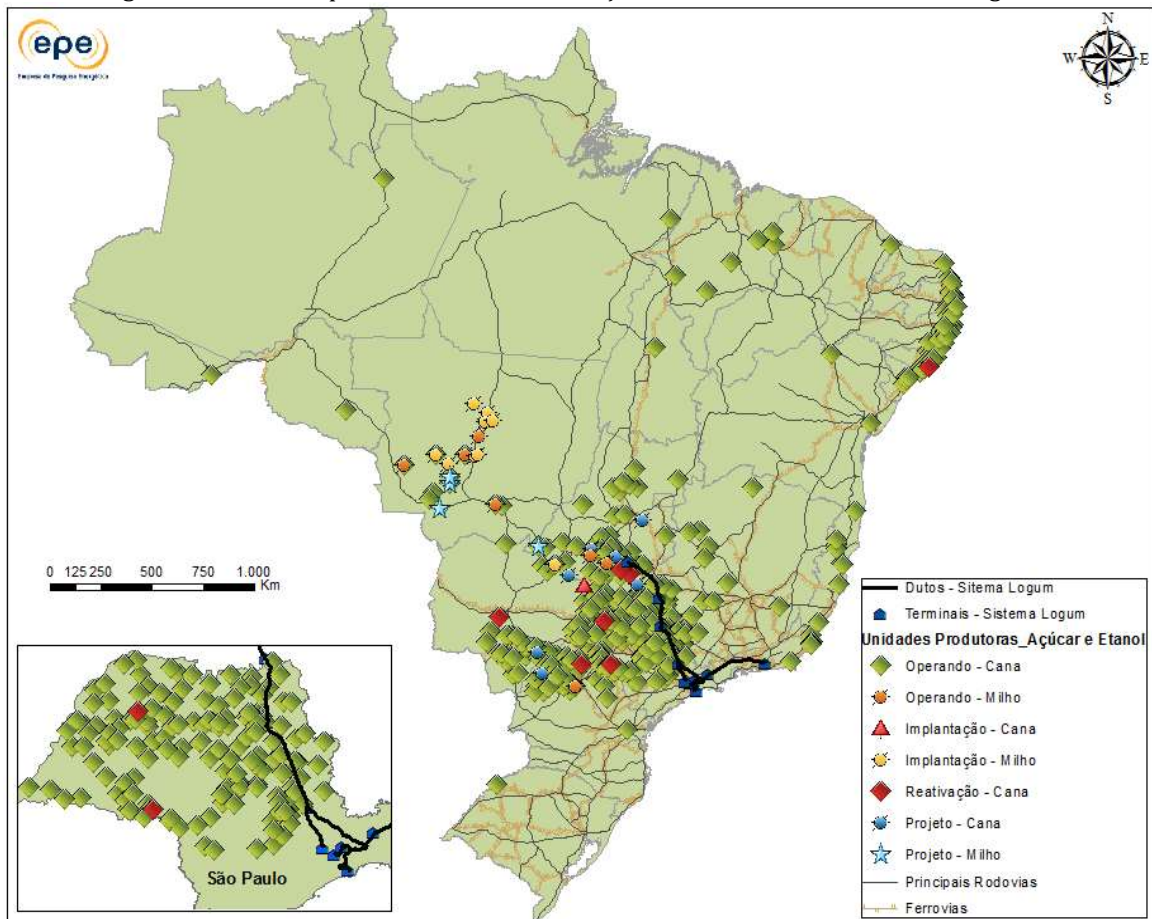
Em 2018, a movimentação em todo o complexo, incluindo o trecho sob contrato (operado pela Transpetro), foi de 2,4 bilhões de litros, 11% superior a.a. anterior (LOGUM, 2019a). Neste ano, a Logum obteve um financiamento de R\$

1,8 bilhão de reais do BNDES, com o qual pretende ampliar a malha com 128 km adicionais de dutos: um trecho até São José dos Campos (SP), com 36 km, e outro até São Caetano do Sul (SP), com 92 km, passando por Guarulhos (SP); além da implantação de um terminal de armazenamento nesta última cidade. Com a conclusão dos novos investimentos, prevista para 2021, projeta-se o aumento da capacidade de movimentação para mais de 8 bilhões de litros/ano. Em uma segunda etapa de expansão, ainda em estudo, planeja-se estender o sistema até a Baixada Santista, chegando a Cubatão

e ao Porto de Santos, assim como um novo terminal no sul de Goiás, se aproximando da região produtora de etanol de milho. (BNDES, 2019b) (REUTERS, 2019) (LOGUM, 2019a)

Esse conjunto de medidas concorrerá para melhorar a capacidade logística do País, tornando os produtos brasileiros mais competitivos no mercado nacional e internacional. A Figura 8-1 resume a localização das usinas sucroalcooleiras brasileiras, bem como a infraestrutura logística existente e a ser construída.

Figura 8-1 - Plantas produtoras de etanol e açúcar no Brasil e infraestrutura logística



Fonte: EPE com base em LOGUM (2019a), MAPA (2019b), UDOP (2019) e UNICA (2014).

BOX 8.1 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA OFERTA DE ETANOL

Buscando antecipar possíveis ameaças ao abastecimento nacional de combustíveis para os veículos leves, foi realizada uma análise de sensibilidade para a oferta de etanol e demanda do ciclo Otto, considerando um cenário menos favorável para o setor sucroenergético, com relação tanto às políticas públicas (diferenciação tributária entre a gasolina e o etanol, por exemplo), quanto às ações das empresas para a redução de custos de produção e à reestruturação financeira dos grupos endividados.

Dessa forma, o *RenovaBio* não conseguiria êxito pleno em seus objetivos, o etanol hidratado perderia competitividade frente à gasolina C e a atratividade econômica do setor sucroenergético não seria suficiente para induzir investimentos relevantes. Neste sentido, considerou-se que não haverá nenhum projeto de unidade *greenfield* no médio prazo, apenas em plantas *flex* e *full* de milho, e que a produtividade agrícola será de 75,2 tc/ha, inferior ao apresentado no cenário de referência ao fim do período.

Como resultado, a estimativa de cana processada em 2029 seria de 689 milhões de toneladas (135 milhões de toneladas inferior ao apresentado no Gráfico 8-2), o que redundaria em uma oferta total de etanol de cerca de 35 bilhões de litros, 12 bilhões de litros inferior à do cenário de referência.

Considerando o propósito de assegurar o abastecimento energético nacional, esta análise tomou como base a demanda ciclo Otto de referência deste PDE. Nesse caso, constatou-se que os volumes de gasolina A e de etanol anidro alcançariam, respectivamente, 38,9 bilhões de litros (aumento de 7 bilhões de litros) e 14,4 bilhões de litros (aumento de 2,6 bilhão de litros). Esse aumento é consequência do menor volume de etanol hidratado disponibilizado pelos produtores para o mercado carburante, aproximadamente 17,5 bilhões de litros (um valor 13,8 bilhões de litros inferior ao cenário de referência).

8.2 Bioeletricidade da cana-de-açúcar

O aproveitamento energético da biomassa residual gerada no processamento industrial da cana-de-açúcar, tanto na produção de calor quanto na de eletricidade, destina-se ao autoconsumo e à produção de excedentes de energia elétrica, exportados para o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Iniciativas governamentais de fomento à renovação e modernização das instalações de cogeração aumentaram a eficiência de conversão da energia da biomassa e, conseqüentemente, a geração de excedentes e sua distribuição, contribuindo para a diversificação do setor e o aumento de sua receita. Dados do Banco de Informação da Geração (ANEEL, 2019) registram que a capacidade de geração a biomassa de cana atingiu 11,4 GW em julho de 2019, um aumento superior a 28% nos últimos cinco anos.

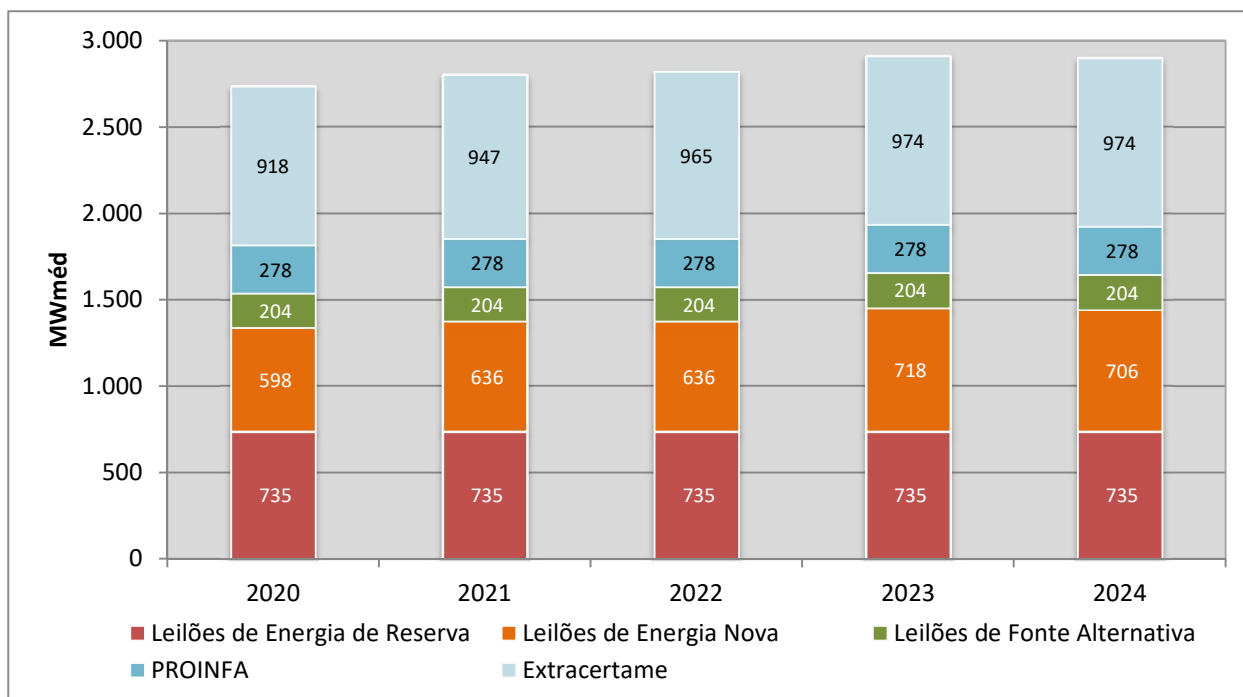
A extração do caldo da cana-de-açúcar gera como resíduo o bagaço, e a produção de etanol e açúcar dá origem a uma quantidade significativa de torta de filtro e, no caso do biocombustível, de vinhaça. Além destes, a colheita da cana também gera biomassa residual composta por palhas e pontas. Estima-se que, dentro do horizonte decenal, os principais estados produtores terão colheita mecanizada na totalidade de seus canaviais, produzindo uma quantidade significativa dessa biomassa passível de aproveitamento energético. Projeta-se também uma maior inserção do biogás, oriundo da biodigestão da vinhaça e da torta de filtro, como será apresentado na próxima seção.

Dentre as 369 usinas sucroenergéticas em operação, cerca de 200 unidades comercializam energia e aproximadamente 40% destas o fazem através de leilões de energia. Até julho de 2019,

foram realizados 56 certames, ocorrendo vendas de energia das usinas sucroalcooleiras em 27 deles (CCEE, 2019). A energia total contratada destas unidades no mercado regulado (ACR) atingirá aproximadamente 1,9 GWmédio ao fim de 2024, valor que poderá ser ampliado com a realização de futuros leilões. Ainda existe um montante extra certame de 970 MWmédios que pode ser comercializado pelas usinas de biomassa de cana

no ACL em 2024. Incluso no montante contratado no ACR, há a energia dos empreendimentos do PROINFA, de 278 MWmédios, valor que deverá manter-se até 2026 (20 anos de contrato após o início da operação comercial em 2006) (ELETROBRAS, 2019). O Gráfico 8-6 apresenta a quantidade de energia já contratada no ambiente regulado e aquela passível de comercialização no mercado livre, em acordos bilaterais.

Gráfico 8-6 - Energia contratada e extra certame das usinas vencedoras nos Leilões de Energia



Nota: A energia comercializada através de contratos anteriores ao novo modelo do setor elétrico, estabelecido em 2004, não foi considerada.

Fonte: EPE com base em CCEE (2019) e ELETROBRAS (2019)

A partir da projeção de oferta de biomassa de cana-de-açúcar, foram realizados dois estudos para estimativa da oferta de bioeletricidade: (1) o cálculo do potencial técnico e (2) a construção da curva de exportação de bioeletricidade baseada no comportamento histórico do setor.

Para realizar a projeção da oferta de bioeletricidade, foi estimada a oferta de biomassa residual da cana que será processada para atender à produção decenal de etanol e açúcar. Sobre essa quantidade, aplica-se o fator médio de exportação de energia para o SIN correspondente a cada um dos estudos, cuja metodologia de cálculo é detalhada no PDE 2024 (EPE, 2015).

O Gráfico 8-7 apresenta a energia contratada no ACR e as projeções de exportação de eletricidade para os dois estudos: com fator de exportação das usinas vencedoras de leilões de energia (potencial técnico) e com fator de exportação baseado no histórico.

Observa-se que para o ano de 2029, o potencial técnico atinge 6,7 GWmédios, quase 5 GWmédios maior que o atualmente contratado no ACR. Além disso, elaborou-se uma estimativa do potencial de aproveitamento das palhas e pontas, considerando que esta biomassa estará disponível apenas para as usinas da região Centro-Sul (cerca de 90% da cana do Brasil), dado que, neste horizonte, a maior parte da região Nordeste ainda não estará utilizando a colheita mecanizada.

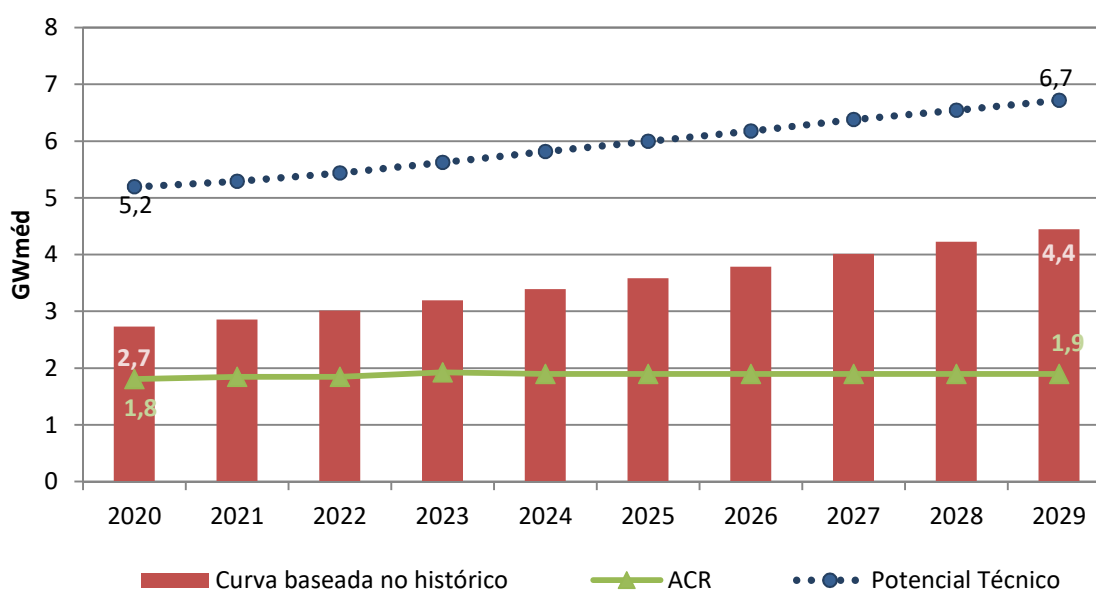
Foram utilizados dois fatores de exportação de energia distintos, encontrados na literatura: 500 e 787,5 kWh/tonelada de palhas e pontas, segundo COGEN (2009) e EQUIPAV (2009), respectivamente. Os resultados indicam que o potencial técnico de exportação de energia a partir da biomassa de palhas e pontas seria de 7,3 GWmédios e 11,5 GWmédios, respectivamente, ao fim do período decenal.

Nesse mesmo sentido, está a utilização de outros resíduos, como a vinhaça e a torta de filtro.

Ainda pouco empregados para geração de energia nas usinas sucroenergéticas, estes insumos dão origem ao biogás, resultado de sua fermentação. Conforme será apresentado na próxima seção, o potencial técnico de produção de biogás e de exportação de energia elétrica a partir dessa fonte é bastante significativo.

Dessa forma, a contribuição da biomassa de cana-de-açúcar para o cenário energético nacional poderá se tornar ainda mais relevante, caso seu potencial técnico seja plenamente aproveitado.

Gráfico 8-7 - Energia contratada no ACR e potencial de exportação de eletricidade gerada por bagaço



Nota: PROINFA incluso no ACR
 Fonte: EPE com base em CCEE (2019)

8.3 Biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) teve início em 2005 e, até julho de 2019, foram produzidos aproximadamente 38 bilhões de litros pela indústria nacional (ANP, 2019b).

O percentual mandatório vigente no Brasil passou de 8% para 10% a partir de 1º de março de 2018, de acordo com a Resolução nº 23 do CNPE, de 09 de novembro de 2017.

Note-se que a Lei nº 13.263 (BRASIL, 2016) estabelece a possibilidade da elevação da mistura

obrigatória de biodiesel ao óleo diesel B em até 15% (B15), após a realização de testes específicos, incluindo aproximadamente cinquenta testes a serem realizados por mais de vinte empresas distintas, distribuídos em mais de quinze municípios diferentes da Federação (MME, 2017).

Os resultados dos primeiros ensaios, cuja validação refere-se ao uso de B10, foram publicados em 30 de abril de 2018 pelo MME. Segundo o relatório, as empresas que executaram os testes tiveram seus resultados aprovados na aplicação com os diferentes sistemas, motores,

equipamentos e veículos, não havendo qualquer problema reportado durante seus ensaios (MME, 2018a).

A Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018 (CNPE, 2018b), autorizava a elevação do percentual de biodiesel na mistura, de 1% a.a. a partir de 1º de junho de 2019, até o patamar de 15% em 2023, desde que obedecidas as condicionantes de aprovação de testes nos motores para esse teor. Os testes para utilização de B15 foram finalizados em janeiro de 2019, e o relatório final foi publicado em março deste ano (MME, 2019). Os resultados obtidos indicaram incertezas relativas aos parâmetros de especificação da estabilidade oxidativa do biocombustível, que estavam sendo revisados pela ANP.

A Resolução nº 798 de 01 de agosto de 2019 (ANP, 2019f) alterou as especificações do biodiesel. A comercialização referente ao B11 ocorreu no leilão 68 para entrega em setembro e outubro de 2019. Observa-se que, de acordo com a atual legislação, a adição de biodiesel em qualquer proporção, até B15, poderá ser utilizado por qualquer distribuidora que queira revender essa mistura.

Tal como previsto em lei, existe também a possibilidade do uso voluntário deste biocombustível, em percentual superior ao obrigatório, para casos específicos, tais como (CNPE, 2015 e MME, 2018c):

- Até 20% em frotas cativas ou consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento;
- Até 30% no transporte ferroviário;
- Até 30% no uso agrícola e industrial;
- Até 100% no uso experimental, específico ou em demais aplicações.

Nesse estudo, assumiu-se como premissa de projeção que a adição de biodiesel ao diesel ocorrerá segundo a possibilidade prevista em lei. Além disso, para os demais percentuais adotados nas projeções deste documento, a elevação na mistura segue o calendário inicial, previsto na Resolução supracitada, visando atingir 15% em

2023, percentual a ser mantido até o final da série decenal analisada (2029).

Os leilões de biodiesel promovidos pela ANP visam à aquisição do produto pelos adquirentes (refinarias, distribuidores e importadores de óleo diesel A) para atendimento ao percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel B e para fins de uso voluntário, cujo volume deve ser entregue pelas unidades produtoras. Participam como vendedoras, as empresas licenciadas e cadastradas para os certames. As regras estabelecidas para os leilões têm sido constantemente aprimoradas pela ANP, em consonância com os agentes do setor.

Os antigos leilões para formação de estoque de segurança foram inicialmente modificados pela Portaria MME nº 116 (MME, 2013) que incluiu a modalidade de leilão com opção de compra, possibilitando a transferência de responsabilidade sobre o estoque regulador e estratégico para as usinas de biodiesel. Essa modalidade tem sido aplicada desde julho de 2013. Isso permitiu a racionalização de custos, sem a movimentação física de biodiesel para estocagem.

Nos últimos anos, observou-se a paralisação das atividades de várias empresas, principalmente as de pequeno porte, que tiveram dificuldades em ofertar biodiesel a preços competitivos nos leilões. Nota-se que as companhias verticalizadas se mantêm economicamente mais estáveis que as pequenas, não verticalizadas. Contudo, há um movimento no sentido de tornar obrigatória a aquisição de biodiesel produzido pelos pequenos produtores, o que possibilitaria a sua manutenção no mercado. Entre as mudanças previstas no novo regimento (Portaria MME nº 311/2018) está a criação de uma cota entre 5% e 10% do total de biodiesel a ser adquirido pelas distribuidoras para as usinas de menor porte habilitadas em cada certame. As demais mudanças previstas nesta portaria incluem a possibilidade de que os leilões tenham períodos de entregas diferentes dos atuais dois meses, que os preços do biodiesel sejam corrigidos de acordo com um indexador definido pela ANP e, ainda, que a habilitação seja simplificada (MME, 2018b).

Vale destacar que até setembro de 2019 foram realizados um total de 68 leilões para comercialização de biodiesel. Nos leilões 65 a 68 realizados em 2019 houve a comercialização de 3,7 milhões de litros de biodiesel para o chamado mercado autorizativo (ANP, 2019g).

O mercado de biodiesel autorizativo continua incipiente, considerando o potencial existente em projetos localizados. Brasília (DF) tem sido a cidade para onde é dirigido a maior parte do biodiesel comercializado no mercado autorizativo devido a programas e/ou acordos voltados às mudanças climáticas e à melhoria da qualidade do ar, a fim de minimizar as emissões de GEE e outros poluente locais.⁵⁴

Outro nicho de mercado que pode ser um indutor do uso de biodiesel autorizativo é o abastecimento de unidades de geração de energia elétrica do Sistema Isolado no Norte do país, onde o combustível produzido localmente, com matéria-prima da região, pode ter preços mais atrativos que o diesel fóssil, que requer logística especial de entrega em pontos remotos.

O óleo de soja deve figurar como o insumo mais importante para a produção de biodiesel, no próximo decênio, mantendo sua posição de liderança, desde a implantação do PNPB, das matérias primas utilizadas com esta finalidade. No entanto, ao longo dos anos, outras matérias primas vêm emergindo neste mercado, tais como o sebo bovino, a palma e os óleos residuais.

Embora hoje o Brasil seja o segundo maior produtor mundial da soja, há boas perspectivas para que o país alcance, já em 2020, uma posição de liderança na produção mundial dessa importante oleaginosa (USDA, 2018), o que poderá garantir o volume de óleo disponível para atendimento aos aumentos dos percentuais mandatórios de biodiesel.

O sebo bovino é a segunda matéria-prima mais utilizada para a obtenção de biodiesel no

Brasil. Destaca-se ainda crescimento de outros insumos, tais como outros materiais graxos,⁵⁵ e, em menor proporção, o óleo de fritura.

Em relação ao custo de produção do biodiesel, a matéria-prima corresponde a 80% do total (IEA, 2004). Portanto, o preço do óleo tem importância fundamental sobre a produção. Para os próximos dez anos, estima-se que este preço acompanhará os valores das *commodities* em geral.

Existem boas perspectivas para que culturas como palma aumentem sua parcela no mix de matéria-prima para a produção de biodiesel, ultrapassando até a parcela ocupada no mercado pela gordura animal. Em face da necessidade de atendimento aos aumentos previstos de mandatórios, verifica-se a necessidade de diversificação do *mix*, o que depende muito da adesão dos agentes de mercado aos programas governamentais.

O Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil (Propalma) é um dos incentivos governamentais a novos insumos, que tem por objetivo ordenar a expansão da cultura da palma (dendê), garantir a competitividade do setor com investimentos em pesquisa e aumentar a renda de agricultores familiares. Além disso, instituiu o Zoneamento Agroecológico, indicando como áreas aptas à expansão produtiva da palma somente terras onde há ocupação do homem, exercendo diversas atividades (áreas antropizadas) (BRASIL, 2013). Uma vez implantado este programa, seus resultados positivos deverão surtir efeito também para atendimento a outras demandas, já que o Brasil é importador desse óleo para outros fins (alimentício e cosmético). A Embrapa tem resultados promissores com o cultivo da palma, inclusive para adaptação em outros ambientes geoclimáticos, além da tradicional Amazônia legal (EMBRAPA, 2010).

Ressalta-se que, dentre as demais culturas produtoras de óleo elencadas inicialmente no

⁵⁴ A maior parte do volume de 8,2 milhões de litros negociado no leilão 59 em fevereiro de 2018, visava a frota de ônibus do Rio de Janeiro, para a qual houve um indicativo de uso de B20 que foi contestado judicialmente, o que fez com que apenas 3,4 milhões de litros fossem retirados pelos compradores.

⁵⁵ Refere-se à mistura de matérias-primas tradicionais em tanque e reprocessamento de subprodutos gerados na produção de biodiesel.

PNPB (algodão, mamona e girassol entre outras), apenas o algodão tem pequena representatividade na cesta de matérias-primas consumidas para produção de biodiesel e não há perspectivas para que as demais ocupem lugar de destaque dentro do horizonte do PDE 2029.

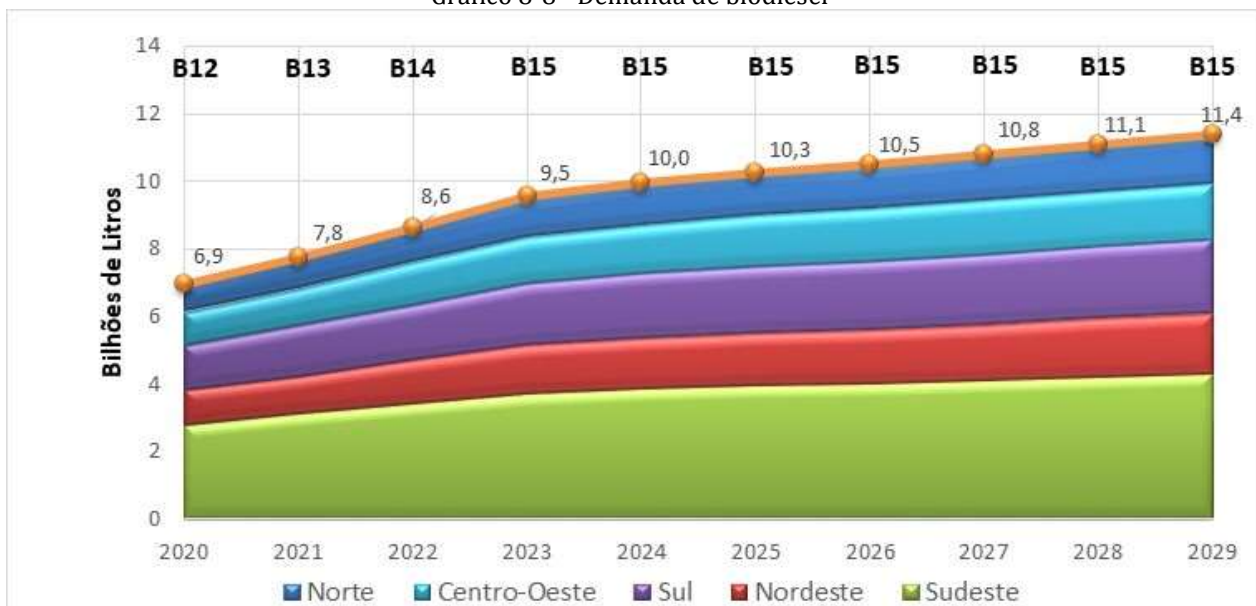
Sob o aspecto econômico, houve uma aproximação entre os preços médios de venda⁵⁶ entre o biodiesel e o diesel fóssil, que ocorreu em 2017 e se perpetuou por 2018, quando comparados na porta de seus respectivos produtores (ex-usina versus ex-refinaria). Cabe observar, contudo, que para a avaliação adequada dos preços é preciso levar em conta o local de referência da comparação. Ou seja, a avaliação de competitividade requer a adição do frete e outros custos incorridos (tributos, etc.) até a base de distribuição onde ocorrerá a mistura. Observa-se que a venda e exportação da glicerina/glicerol, em especial para os mercados asiáticos, contribuem para aumentar a atratividade do biodiesel.

As projeções de demanda de biodiesel deste estudo foram obtidas com base na previsão do

consumo regional de óleo diesel B apresentada no Capítulo II e nas demais considerações já descritas. Este resultado está apresentado no Gráfico 8-8, segregado por regiões geofísicas. Já a capacidade de processamento de biodiesel, a projeção do consumo obrigatório e os balanços regionais e nacional para 2020 e 2029 são apresentados na Tabela 8-2.

Para estimar a capacidade instalada em 2029, acredita-se que a distribuição regional das plantas seja mantida, de forma que o mercado continue com uma capacidade de produção cerca de 20% acima da demanda projetada para cada região. Ressalta-se que, em outubro de 2019, a ANP divulgou a autorização para a construção e a ampliação de 2,2 bilhões de litros. As regiões Sul e Centro-Oeste devem continuar a manter sua liderança na produção deste biocombustível, embora a demanda esteja mais concentrada na Região Sudeste. Com estímulo à produção de novas culturas, adaptadas às condições edafoclimáticas das Regiões Norte e Nordeste, estas também podem vir a apresentar grande potencial de crescimento na produção de biodiesel.

Gráfico 8-8 - Demanda de biodiesel



Fonte: EPE com base em ANP (2019b)

⁵⁶ Diesel na refinaria e biodiesel no produtor.

Tabela 8-2 - Capacidade de processamento de biodiesel e consumo obrigatório em 2019 e 2029

Região	2019			2029		
	Capacidade Instalada	Consumo Obrigatório	Balanço	Capacidade Instalada	Consumo Obrigatório	Balanço
milhões de litros						
Norte	350	652	(302)	678	1.472	(794)
Nordeste	614	878	(264)	861	1.817	(956)
Sul	3.403	1.121	2.282	4.664	2.170	2.494
Sudeste	850	2.367	(1.517)	1.251	4.278	(3.027)
Centro-Oeste	3.815	847	2.968	6.224	1.661	4.563
Brasil	9.032	5.865	3.167	13.678	11.398	2.280

Nota: (1) Consumo estimado para 2019, com base em outubro/2019.

(2) Considerando uma sobrecapacidade de 20% em 2029.

Fonte: EPE com base em ANP (2019e).

De acordo com a capacidade instalada atualmente, só é possível atender a demanda projetada até o ano de 2022. A partir de então, no horizonte decenal, há um déficit na capacidade de produção, que deve ser suprido a partir de investimentos em plantas de processamento de biodiesel. Este déficit não deve comprometer o PNPB, na medida em que o setor de biodiesel tem se mostrado eficiente no atendimento ao mercado.

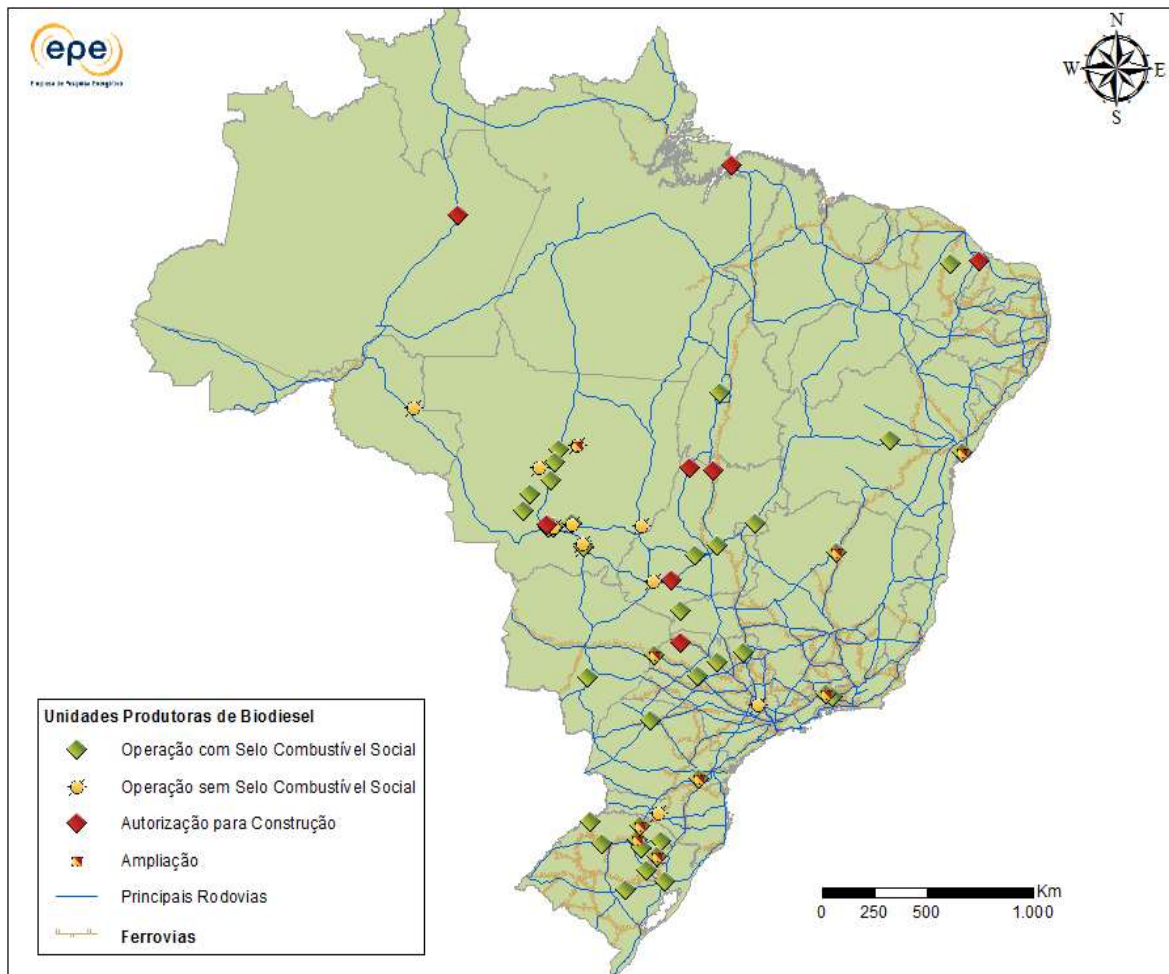
Os investimentos para a ampliação da capacidade instalada em cerca de 4,6 bilhões de litros até 2029 visando suprir a demanda nesse ano, devem perfazer um total aproximado de 2 bilhões de reais, considerando uma sobrecapacidade de 20%. As regiões Norte, Nordeste e Sudeste não serão autossuficientes em 2020, condição que perdura até 2029, caso não haja um esforço das entidades públicas e do setor privado que possam minimizar essa situação. Ressalta-se que o balanço nacional é superavitário

e os excedentes regionais podem ser deslocados para as regiões deficitárias.

INFRAESTRUTURA DE ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

A atual infraestrutura de escoamento de biodiesel é apresentada na Figura 8-2, além da localização das usinas de produção já autorizadas pela ANP, distinguindo as que possuem ou não o Selo Combustível Social. Praticamente todas as usinas produtoras de biodiesel e bases das distribuidoras de combustíveis são atendidas por estradas federais. O transporte entre elas é feito basicamente pelo modo rodoviário. No médio prazo, o transporte de biodiesel tende a permanecer neste modo, por questões de escala. Consumos maiores que os previstos na legislação atual poderão implicar em uma revisão da logística de transporte, utilizando o modal ferroviário como alternativa para algumas regiões.

Figura 8-2 - Usinas de biodiesel e infraestrutura atual de escoamento



Fonte: EPE com base em ANP (2019).

8.4 Outros biocombustíveis

Considerando o panorama promissor para o aproveitamento energético da biomassa no Brasil, esta seção aborda outros biocombustíveis que podem contribuir para aumentar a diversidade

da matriz energética nacional e valorizar as vantagens competitivas do Brasil na geração de energia com recursos naturais.

BIOGÁS/BIOMETANO

São diversas as tecnologias que permitem o aproveitamento energético dos produtos da cana. Embora a mais tradicional ocorra através da queima do bagaço e da palha nas caldeiras, este escopo está sendo ampliado com a produção de biogás, utilizando-se a vinhaça e/ou a torta de filtro, através da biodigestão.

O biogás é obtido através do processo de digestão anaeróbica, definida como a conversão de material orgânico, através de bactérias, em metano, dióxido de carbono, alguns gases inertes e compostos sulfurosos, em um ambiente com ausência de oxigênio. Diferentes substratos podem ser utilizados para sua produção e a quantidade de

biogás obtida depende principalmente da tecnologia empregada na digestão e do substrato. Observa-se que este processo ocorre naturalmente em plantações de arroz e aterros sanitários, por exemplo.

O metano é o principal componente volumétrico do biogás (55%-70%), seguido pelo dióxido de carbono (30%-45%) (TOLMASQUIM, 2016). O biogás possui poder calorífico entre 4.500 e 6.000 kcal/m³, podendo ser consumido diretamente, ou tratado para separação e aproveitamento do biometano, cujo conteúdo energético é semelhante ao do gás natural (9.256 kcal/m³) (EPE, 2018b). Essa fonte renovável pode ter várias aplicações, como geração elétrica, uso veicular e injeção nas malhas de gás natural. Cabe mencionar a oportunidade criada no contexto do Novo Mercado de Gás. A produção e uso do biogás pode servir para aumentar a oferta de gás natural, bem como para diminuir sua pegada de carbono, evidenciando uma sinergia positiva entre o combustível fóssil e o renovável.

No Brasil, o maior potencial de biogás encontra-se no setor agropecuário (resíduos agrícolas e pecuária confinada), o que inclui tanto as palhas e pontas, quanto a vinhaça e a torta de filtro do setor sucroenergético. Adiciona-se, ainda, um montante considerável que pode ser obtido através dos resíduos sólidos urbanos e esgoto. Não obstante esse considerável potencial, sua presença na matriz energética nacional ainda é modesta.

As projeções da produção de etanol e açúcar apresentadas neste capítulo indicam elevada quantidade de resíduos deste setor que pode ser destinada à produção de biogás. Dessa forma, considerando que toda a vinhaça e a torta de filtro resultantes será destinada para a biodigestão, o potencial de biogás alcança 7,2 bilhões de Nm³ em 2029, representando 3,9 bilhões de Nm³ de biometano.

O potencial técnico de exportação de energia elétrica a partir do biogás obtido de vinhaça e torta de filtro foi elaborado com base nos

dados da Usina Bonfim, vencedora do leilão de energia A-5 de 2016. As estimativas para este ciclo de estudos apontam para cerca de 2,2 GWmédios em 2029. Considerando apenas as usinas com capacidade de moagem acima de 3 milhões de toneladas e pertencentes ao quartil mais eficiente do setor sucroenergético (Itaú BBA, 2017), em uma abordagem mais conservadora, o potencial técnico ao final do período decenal alcançaria aproximadamente 400 MWmédios.

Atualmente, grande parte da vinhaça é usada para fertirrigação de áreas próximas às usinas. Em virtude do longo período de uso desse resíduo, há fadiga do solo pelo excesso de sais minerais, o que impulsiona um novo aproveitamento deste resíduo. É oportuno ressaltar que sua prévia biodigestão tende a melhorar o processo de fertirrigação, pois reduz o teor de sólidos em suspensão e a viscosidade do fluido. De maneira geral, não há redução no teor de sais minerais do efluente ao fim do processo, mantendo, portanto, a característica de recomposição nutricional no solo da irrigação.

BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO

A aviação é responsável pela emissão anual de aproximadamente 2% do total de GEE (IPCC, 2014). Nesse contexto, as empresas aéreas firmaram um acordo que definiu um crescimento neutro de carbono na indústria da aviação a partir de 2020, denominado CORSIA - *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (ICAO, 2018). Para isso, estabeleceu-se o uso de instrumentos de compensação de emissões, promoção de eficiência energética e a utilização de combustíveis alternativos que sejam *drop-in*, em particular o biocombustível obtido através de processos certificados na ASTM (*American Society for Testing and Materials International*), denominado bioquerosene de aviação - BioQAV. A Tabela 8-3 apresenta as rotas de produção já certificadas.

Há inúmeros desafios econômicos para que o BioQAV possa ser utilizado na aviação. Entretanto, é importante ressaltar que, dadas as condições edafoclimáticas favoráveis, diversas matérias-primas encontradas na flora brasileira podem ser utilizadas para sua produção, como o babaçu, a cana-de-açúcar, a macaúba, a palma, o eucalipto e a soja.

No Brasil, existem iniciativas para incentivar o desenvolvimento industrial e aprofundar o conhecimento da comunidade técnico-científica sobre o BioQAV. Registra-se o Projeto de Lei nº 9.321/2017, que visa a criação do “Programa Nacional do Bioquerosene” para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção a partir de tecnologia limpa (BRASIL, 2017b). Registra-se, ainda, a Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para Aviação (RBQAV) e as Plataformas Mineira e da Zona da Mata de Bioquerosene e Renováveis, que têm trabalhado no fomento à pesquisa deste biocombustível.

A EPE colaborou com a Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ) em projeto para a criação de um modelo de referência para o uso de combustíveis sintéticos sustentáveis no Brasil. Um dos seus principais objetivos foi examinar o *status quo* da cadeia de valor do combustível para aviação no Brasil e determinar o custo real de mercado vendido pelos distribuidores. O projeto indicou que combustíveis sintéticos de aviação podem ter competitividade econômica prevista para após 2030 em regiões remotas do País - para maiores informações, consultar o Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis (EPE, 2018b).

No escopo das projeções deste PDE, estima-se que haverá a entrada do BioQAV na matriz energética brasileira, a partir do ano de 2027, alcançando uma participação no mercado de 103 mil m³ no ano de 2029, correspondendo a aproximadamente 1% da demanda total de combustível de aviação, com linhas aéreas específicas adotando rotas tecnológicas certificadas.

Tabela 8-3 - Rotas tecnológicas aprovadas para a produção de Querosene de Aviação Alternativo

Nome da Rota	Matéria –Prima	Principal produto	Mistura máxima	Empresas produtoras
HEFA-SPK	gorduras, óleos e graxas	Iso- e N-parafinas	50%	UOP, Neste e Syntroleum
FT-SPK	resíduos agrícolas e florestais, madeira, e resíduos sólidos	Iso- e N-parafinas	50%	SASOL, Shell e Syntroleum,
FT-SPK/A	resíduos agrícolas e florestais, madeira, e resíduos sólidos	Iso-, N-parafinas e aromáticos	50%	SASOL, Shell e Syntroleum,
ATJ-SPK	matérias-primas renováveis (cana-de-açúcar, milho ou resíduos florestais)	Iso- e N-parafinas	50%	GEVO, Cobalt e Lanzatech
SIP	açúcares	Parafinas	10%	Amyris

Fonte: ASTM (2015) e (2018)

PONTOS PRINCIPAIS DO CAPÍTULO

- > *Os biocombustíveis continuarão a ter participação relevante na matriz energética brasileira no próximo período decenal. O estabelecimento da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) corrobora os desdobramentos positivos e o fortalecimento do setor, projetados para o próximo decênio.*
- > *Com investimentos em renovação do canavial, tratamentos culturais adequados e o ajuste entre a mecanização da colheita e do plantio da cana-de-açúcar, estima-se que ocorrerá uma recuperação dos indicadores de produção dessa cultura (produtividade agrícola e rendimento industrial em ATR/tc).*
- > *Além disso, espera-se a redução de custos de produção e o aumento da competitividade do etanol frente à gasolina. Tais fatos, associados à necessidade de incremento da capacidade de moagem, motivarão investimentos em unidades greenfields e na expansão de algumas unidades existentes.*
- > *Considera-se, também, a introdução da cana-energia em pequenos percentuais, e que a produção de etanol 2G será significativa somente no final do período. Estima-se que a produção de etanol de milho atingirá cerca de 4 bilhões de litros em 2029.*
- > *A oferta total de etanol alcança 47 bilhões de litros em 2029, sendo 34 bilhões de litros relativos ao etanol hidratado.*
- > *O setor sucroenergético já possui papel de destaque na produção de etanol e vem aumentando sua contribuição na matriz elétrica com a bioeletricidade.*
- > *Espera-se uma expansão do período de geração de bioeletricidade, incorporando palhas e pontas e, em alguns casos, biomassas diferentes da cana. Estima-se que o potencial técnico para comercialização, a partir da biomassa, seja de 6,7 GW médios em 2029.*
- > *Uma significativa vantagem para as indústrias do setor sucroenergético associada à bioeletricidade é a garantia de aporte financeiro constante propiciado pela comercialização de energia, em contraposição à sazonalidade da produção de cana.*
- > *Para o biodiesel, espera-se que o óleo de soja permaneça como a principal matéria-prima no decênio. A demanda por este biocombustível manter-se-á nos limites do mandatório definido por lei.*
- > *O setor de biodiesel tem se mostrado muito dinâmico, portanto, não deverão ocorrer gargalos em relação à capacidade instalada de produção.*
- > *Em termos estratégicos, é importante para o PNPB, o desenvolvimento de culturas alternativas à soja. Dentre os óleos vegetais, o de palma apresenta o maior volume de produção no mercado internacional, além de preços mais competitivos.*
- > *O biogás oriundo da biodigestão da vinhaça e da torta de filtro terá uma maior inserção na matriz energética. Estima-se que seu potencial de produção seja de 7,1 bilhões de Nm³ em 2029, podendo ser destinado à geração elétrica, substituição ao diesel e misturado ao gás natural fóssil, nas malhas de gasodutos.*
- > *No Brasil, existem iniciativas para criar políticas públicas e aprofundar o conhecimento sobre o bioquerosene de aviação, de forma a viabilizar economicamente esse biocombustível. Espera-se que, em 2029, a participação de mercado do BioQAV seja igual a 1% (103 mil m³) da demanda total de combustível de aviação, com linhas aéreas específicas adotando rotas tecnológicas certificadas.*